

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY A STROJŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Přeprava vyhořelého jaderného paliva

Stanislav Frasyňuk 2021/22

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Stanislav FRASYŇUK**
Osobní číslo: **E18B0057P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Téma práce: **Přeprava vyhořelého jaderného paliva**
Zadávající katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte přehled legislativních požadavků na přepravu vyhořelého jaderného paliva v ČR a EU.
2. Proveďte rešerši používaných licencovaných přepravních kontejnerů pro transport VJP ve světě.
3. Popište koncept Teplátor a uveďte jeho technické parametry.
4. Navrhněte kompletní systém přepravy vyhořelých palivových souborů WVER-440 z JE Dukovany do vytipované lokality.
5. Zhodnoťte proveditelnost návrhu a stanovte očekávané náklady.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Mašata**
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2022**





Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan

Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 8. října 2021

Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje návrh pro přepravu vyhořelého jaderného paliva z JE Dukovany do vytipované lokality TEPLATORu, jako alternativní využití vyhořelého jaderného paliva oproti podzemnímu uskladnění. Výsledkem této práce je vytipovaná lokace umístění TEPLATORu, včetně odhadu náročnosti převozu a uložení na daném místě. Dále jsou zde obsaženy legislativní podmínky a taky možné kontejnery pro převoz a uskladnění paliva na území ČR.

Klíčová slova

vyhořelé jaderné palivo, přeprava, uskladnění, obalový soubor, TEPLATOR

Abstract

This Bachelor thesis describes a possible destination of spent nuclear fuel from Dukovany Nuclear Power Plant in TEPLATOR usage. TEPLATOR is an alternative use for the spent nuclear fuel instead of permanent storage. The main outcome of this thesis is a proposed location for TEPLATOR, including expected expenses for transport and storage at this location. Additionally, it contains necessary legislature and types of casks for transport and storage in the Czech Republic.

Key words

spent nuclear fuel, transport, storage, cask, TEPLATOR

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 24.5.2022

Stanislav Frasyňuk

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Davidovi Mašatovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále Ing. Pavlu Krčálovi, vedoucímu oddělení TTČ na JE Dukovany, za konzultaci.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
ÚVOD.....	10
1 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY.....	11
1.1 ATOMOVÝ ZÁKON.....	11
1.2 EURATOM.....	13
1.3 ZÁKON Č. 412/2005 SB.....	14
1.4 SEZNAM DALŠÍCH PRÁVNÍCH PŘEDPISŮ.....	14
2 PŘEHLED POUŽÍVANÝCH OBALOVÝCH SOUBORŮ PRO PŘEPRAVU.....	16
2.1 TYPY POUŽÍVANÉ V ČR.....	16
2.2 TYPY POUŽÍVANÉ VE SVĚTĚ.....	19
3 TEPLATOR.....	25
3.1 KONCEPT.....	25
3.2 TECHNICKÉ PARAMETRY.....	26
3.3 MOŽNOSTI UMÍSTĚNÍ V ČR.....	27
3.4 PRAHA.....	28
3.5 OSTRAVA + OKOLÍ.....	30
4 PŘEPRAVA Z JE DUKOVANY.....	32
4.1 ZPŮSOBY PŘEPRAVY.....	32
4.2 OBJEM PŘEPRAVY.....	33
4.3 NÁROČNOST PŘEPRAVY.....	34
4.4 PROVEDITELNOST NÁVRHU.....	36
5 ZÁVĚR.....	37
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	39

Seznam symbolů a zkratek

BWR.....	Boiling Water Reactor – Varný reaktor
CASTOR.....	<i>cask for storage and transport of radioactive material</i>
EURATOM.....	Evropské společenství pro atomovou energii
GNS.....	Gesellschaft für Nuklear-Service
IAEA.....	International Atomic Energy Agency
JE.....	Jaderná elektrárna
OS.....	Obalový soubor
PWR.....	Pressurized Water Reactor – Tlakovodní reaktor
RBMK.....	Реактор большой мощности канальный – vodou chlazený reaktor s grafitovým moderátorem
RO.....	Radioaktivní odpad
SÚJB.....	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRAO.....	Správa úložišť radioaktivních odpadů
VJP.....	Vyhořelé jaderné palivo

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem přepravy VJP z JE Dukovany, důraz je kladen na způsob přepravy a místo uložení.

Při provozu elektrárny jsou vždy tvořeny RO, které je nutno bezpečně uložit. Momentálně se na území ČR provozují následující lokality pro ukládání RO: Richard, Bratrství a Dukovany, k tomu ještě provoz meziskladů VJP na obou JE. Na území Evropy se nachází přes 60 tisíc tun VJP, z toho 80 procent v chladících bazénech. Toto je jen přechodná fáze před uložením v suchém místě nebo před zpracováním na nové palivo. Bohužel přepracovávat nejde veškeré použité palivo a v současnosti pouze několik zemí, například Francie, provozuje tento cyklus, proto je pro nás nutné mít místo na uložení.

Z legislativního a ekonomického hlediska připadá v úvahu uskladnění pouze na vlastním území. Omezená kapacita skladování VJP přímo v areálech obou jaderných elektráren je důvodem, proč bude zapotřebí do budoucna vytvořit větší a permanentní úložné místo. SÚRAO proto navrhlo několik lokalit na území ČR pro hlubinné uložení. Zatím se ale nevybralo konkrétní místo a tedy nic není postaveno.

Další využití paliva se může objevit v konceptu TEPLATOR, který vyhořelé palivo nechá dodatečně produkovat teplo přes výměníky tepla a dodávat spotřebitelům v závislosti na aktuální poptávce. Díky své kompaktnosti v porovnání s jadernou elektrárnou a nízkoemisnímu provozu by se mohly rozšířit po celé republice a zásobovat tak velké odběratele tepla, tedy převážně větší města a průmyslové oblasti. VJP tedy nemusí ihned skončit jako nepoužitelný odpad v úložném místě.

Vyhořelého paliva bude jen přibývat a tím pádem je téma této práce velice aktuální do blízké budoucnosti, obzvlášť díky ekologičtější výrobě tepla v porovnání s dosavadními fosilními zdroji, které navíc brzy skončí. Budu se zaměřovat na přepravu po území ČR do lokalit s nejlepší ekonomičností a pravděpodobností využití konceptu TEPLATOR. [1][2]

1 Legislativní požadavky

Veškeré manipulace s radionuklidovým zdrojem jsou stanoveny v zákonu č. 263/2016 Sb., Atomový zákon. Tento zákon je dále doplněn ustanovením EURATOMu na území Evropy a dalšími právními předpisy ČR. Dodržování těchto předpisů a ustanovení v ČR kontroluje SÚJB. Při vytváření návrhu přepravy je tedy zapotřebí dodržet veškeré bezpečnostní zásady pro minimalizaci případných negativních následků.

1.1 Atomový zákon

§ 108 Koncepce nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem

Ministerstvo průmyslu a obchodu zpracovává koncepci o nakládání s VJP, pravidelně ji ověřuje a aktualizuje dle potřeby, minimálně jednou za 10 let. Tuto koncepci ministerstvo předává na Evropskou komisi. S RO a VJP se nakládá tak, aby současným a budoucím generacím nezpůsobila nepřiměřené zátěže z technického, ekonomického a společenského hlediska.

§ 109 a § 110 Podmínky nakládání s radioaktivním odpadem / s vyhořelým jaderným palivem

Při nakládání s radioaktivním odpadem musí být brány v úvahu všechny jeho fyzikální, chemické a biologické vlastnosti, které by mohly bezpečné nakládání s ním ovlivnit. Původce vyhořelého jaderného paliva je povinen nakládat s ním tak, aby nebyla ztížena možnost jeho další přepravy a dalšího nakládání s ním. Do doby, než se VJP označí za RO, se k němu vztahují požadavky jako na RO.

§ 111 Povinnosti původce radioaktivního odpadu a držitele povolení k nakládání s radioaktivním odpadem

Držitel povolení k nakládání s radioaktivním odpadem má povinnost vypracovat strategii nakládání, omezit množství vznikajícího odpadu a nést veškeré právní a monitorovací náklady od doby nabytí do jeho uložení. Po celou dobu vlastnictví se vede průvodní list a evidence radioaktivního odpadu, ke kterému má přístup Správa. Množství a aktivita RO se udržuje na co nejnižší úrovni a práce s ním se provádí jen na pracovištích, která splňují technické požadavky pro bezpečnost.

§ 113 Správa, její činnost a hospodaření

Správa je zřízena Ministerstvem průmyslu a obchodu pro zajištění činnosti spojených s ukládáním radioaktivního odpadu. Správa je financována ze státního rozpočtu z prostředků Jaderného účtu. Na jaderný účet přispívají původci VJP a RO, kteří nesou veškeré náklady spojené s nakládáním a uložením RO, resp. VJP. Jaderný účet je veden u České Národní banky a je spravován Ministerstvem financí.

Mezi činnost Správy patří například: veškeré akce spojené s úložišti RO, monitorování vlivu úložiště, nakládání s RO z místních i zahraničních zdrojů, kontrola držitelů povolení, zajištění bezpečného vykonávání činností při hospodaření s jaderným materiálem, poskytování příspěvků obcím s jaderným úložištěm.

§ 118 až § 135 Poplatky pro původce radioaktivního odpadu.

Zde rozlišujeme pravidelné a jednorázové: Pravidelné se dále rozdělují podle toho, zda se jedná o energetické nebo výzkumné jaderné zařízení. Sazba je určena dle vyrobené elektrické energie, měřeno na svorkách generátoru – 55 Kč / MWh, nebo v množství vyrobené tepelné energie – 30 Kč / MWh. U jednorázových se pak cena počítá pro uložení standardní ukládací jednotky až 200 000 Kč / m³ radioaktivního odpadu, případně až 300 000 Kč / m³ když nesplňuje limity a podmínky schválené SÚJB. Tento jednorázový poplatek neplatí pro subjekty s pravidelným poplatkem. Veškeré poplatky se odvádí na Jaderný účet.

§ 141 Povinnosti přepravce při přepravě radioaktivní nebo štěpné látky

Přepravce je povinen předávat radioaktivní nebo štěpnou látku jen oprávněné osobě s povolením za podmínek uvedených v prováděcím právním předpisu, který stanovuje obsah dokumentace a náležitě podmínky k dané přepravě. K těmto podmínkám také patří zajistit zabezpečení látky, fyzická ochrana a zamezení zneužití informací o přepravě. Samozřejmostí je dokumentace o přepravě kde jsou uvedeny důležité informace o přepravovaném materiálu z hlediska bezpečnosti.

Před samotnou cestou se musí informovat o dopravě Úřad (SÚJB), dotčené správní orgány, Hasičský záchranný sbor a osoby spojené s přepravou. Zásilka a dopravní prostředek musí být označena příslušnými údaji, UN číslem, bezpečnostními značkami a oranžovými tabulkami. Při použití obalového soubory zvolit ten, který splňuje požadavky pro danou zásilku. [3]

1.2 EURATOM

Směrnice Rady 2011/70/Euratom, kterou se stanoví rámec Společenství pro odpovědné a bezpečné nakládání s vyhořelým palivem a radioaktivním odpadem

Tato směrnice vznikla za účelem přijetí vhodných opatření členskými státy pro zabezpečení VJP a RO před nebezpečnými ionizujícími vlivy na pracovníky a obyvatelstvo. Vztahuje se jen na vyhořelé palivo nebo odpad pocházející z civilní činnosti, nikoliv na odpad z těžebního průmyslu, který může být radioaktivní.

Každý stát má odpovědnost za nakládání s VJP a RO, jež v tomto státě vznikly, včetně v případě zaslání do jiného členského státu za účelem přepracování. Pro účel uskladnění v jiném státě je zapotřebí vytvořit dohodu mezi těmito státy za dohledu Evropské komise, která ověří schopnost přijímacího státu přijmout a zabezpečit na dané úrovni přijímaný odpad. Odpad z výzkumných reaktorů a nepoužité uzavřené zdroje se vrací tomu státu, který je dodává a tím pádem není potřeba vytvářet dodatečnou dohodu.

Členské státy si sami stanovují a udržují vnitrostátní legislativní, regulační a organizační rámec. Zároveň si vytvoří Dozorný orgán, který je nezávislý od jiných subjektů a organizací v oblasti jaderné energie a radioaktivních materiálů. Stát také uděluje povolení provozovateli, který má na starost bezpečnost, vývoj, provoz a vyřazení zdroje. Tato povolení nejsou přenosná a dozorný orgán pravidelně kontroluje správnost činnosti držitele povolení.

Členské státy mají povinnost udržovat dostatečnou dostupnost finančních zdrojů pro nakládání s vyhořelým palivem a odpadem, což platí i pro držitele povolení. Dále musí být obsažena transparentnost pro pracovníky a veřejnost v mezích bezpečnosti, které stanoví státní předpisy.

Stát si vytváří svůj vnitrostátní program, do kterého patří: celkové cíle, jasně daný harmonogram, inventář a jeho budoucí odhad, koncepce a plány, činnost výzkumu a vývoje, posouzení nákladů a financování a případné dohody mezi státy. Tento program se předkládá Evropské komisi v rámci zprávy o dodržení této směrnice každé tři roky, poprvé od roku 2015. Tím má Evropská unie přehled o pokroku a inventáři veškerého VJP a RO na svém území.

V případě České republiky jsou tyto požadavky splněny skrze následující subjekty: SÚJB – správní a dozorčí orgán pro jadernou bezpečnost, SÚRAO – pro nakládání s radioaktivním odpadem, ČEZ – vlastník civilních jaderných elektráren a přispěvatel do Jaderného účtu. [4]

1.3 Zákon č. 412/2005 Sb., o ochraně utajovaných informací a o bezpečnostní způsobilosti

Jaderné palivo, ať už vyhořelé nebo ne, se může stát cílem atentátu nebo teroristického útoku, čímž způsobí újmu zájmu České republiky. Z tohoto důvodu se jedná o utajovanou informaci, která je dostupná jen pro osoby s příslušnou úrovní přístupu. Tato rozdělení jsou vymezena v části druhé a třetí tohoto zákona. Přístup fyzické osoby k této informaci kontroluje osoba za ní zodpovědná s příslušnou úrovní přístupu. Pokud taková osoba není, oznámení jde přímo přes Národní bezpečnostní úřad, který vydává přístup. [5]

Povolení SÚJB pro přepravu radioaktivních materiálů se řídí § 9 odst. 4 zákona č. 263/2016 Sb. a § 4 vyhlášky č. 379/2016 Sb. Rozhodnutí o povolení přepravy vydá SÚJB pouze pokud již byla vydána rozhodnutí o: a) typovém schválení OS, b) schválení plánu fyzické ochrany jedná-li se o materiál kategorie I. až III., c) schválení havarijního řádu

1.4 Seznam dalších právních předpisů, které souvisí s přepravou a jadernými zdroji:

Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

Vyhláška č. 408/2016 Sb., o požadavcích na systém řízení

Vyhláška č. 379/2016 Sb., o schválení typu některých výrobků v oblasti mírového využívání jaderné energie a ionizujícího záření a přepravě radioaktivních látek nebo štěpných látek

Vyhláška č. 377/2016 Sb., o požadavcích na bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem a o vyřazování z provozu jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie

Vyhláška č. 361/2016 Sb., o zabezpečení jaderného zařízení a jaderného materiálu

Vyhláška č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiacní mimořádné události

Zákon č. 111/1994 Sb., o silniční dopravě, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška č. 478/2000 Sb., kterou se provádí zákon o silniční dopravě

Vyhláška č. 64/1987 Sb., o Evropské dohodě o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí (ADR), ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 226/1994 Sb., o drahách, ve znění pozdějších předpisů

Nařízení vlády České republiky č. 1/2000 Sb., o přepravním řádu pro veřejnou drážní nákladní dopravu

Vyhláška č. 8/1985 Sb., o Úmluvě o mezinárodní železniční přepravě (COTIF), ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 114/1995 Sb., o vnitrozemské plavbě, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška č. 222/1995 Sb., o vodních cestách, plavebním provozu v přístavech, společné havárii a dopravě nebezpečných věcí

Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví, ve znění pozdějších předpisů,

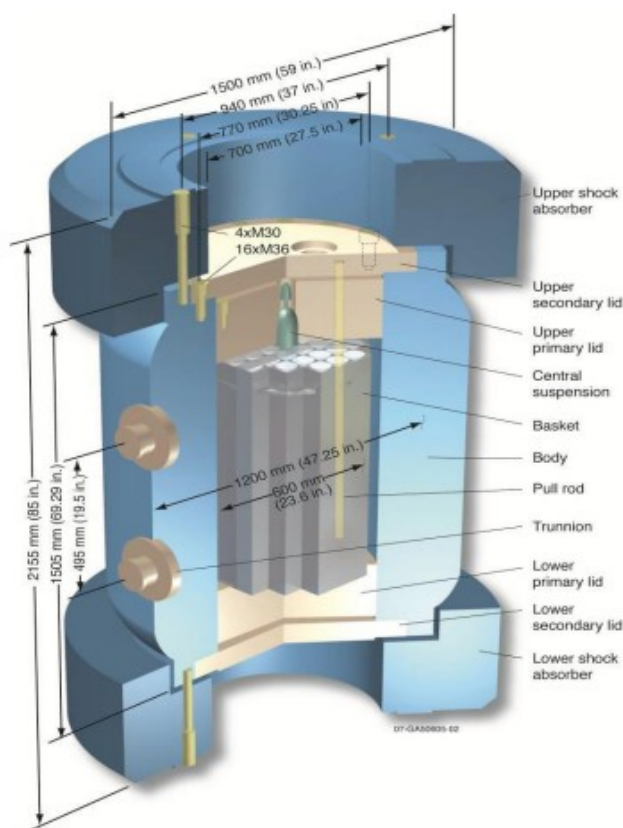
Vyhláška č. 108/1997 Sb., kterou se provádí zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů [6]

2 Přehled používaných obalových souborů pro přepravu

2.1 Typy používané v ČR

2.1.1 Škoda VPVR/M

Jedná se o OS určený pro transport i uložení VJP z výzkumných reaktorů pocházejících z Ruska. ÚJV Řež provozuje jeden takový reaktor – LVR-15, typu VVR-S, proto zde zmiňuji tento OS. Tělo je z lité oceli a vnitřní části z nerezové oceli. Kapacita OS je 36 palivových tyčí, které lze vkládat shora nebo zdola přes dvojité poklopy přímo z úložného bazénu pomocí speciálního jeřábu. Eliminuje se tím potřeba řady manipulací a zvýší se radiační ochrana. Pro ÚJV Řež bylo vyrobeno 6 kusů VPVR/M a pro IAEA 10 kusů VPVR/M. Váha OS je 11 tun, s tlumiči 12,3 tun. Kromě silničního, železničního a lodního transportu je možnost převozu i letecky, kdy se VPVR vloží do EAC (energy absorption container). [7] [8]



Obr. 2.1 Řez obalu Škoda VPVR/M [7]

2.1.2 CASTOR / ŠKODA

Pro české jaderné elektrárny se ve ŠKODA JS vyráběly pod licencí GNS obalové soubory CASTOR 1000/19 a CASTOR 440/84 M, pro VVER-1000 a VVER-440 respektive. Od roku 2018 ŠKODA JS dodává do JE Temelín ŠKODA 1000/19 a od roku 2021 pro JE Dukovany ŠKODA 440/84. Pro JE Temelín je aktuálně kontrakt na výrobu a dodání 56 kusů ŠKODA 1000/19 do roku 2035 a pro JE Dukovany 34 kusů ŠKODA 440/84 do roku 2032. Oba modely jsou vlastní design ŠKODA JS a díky tomu nespadá pod licenci GNS.



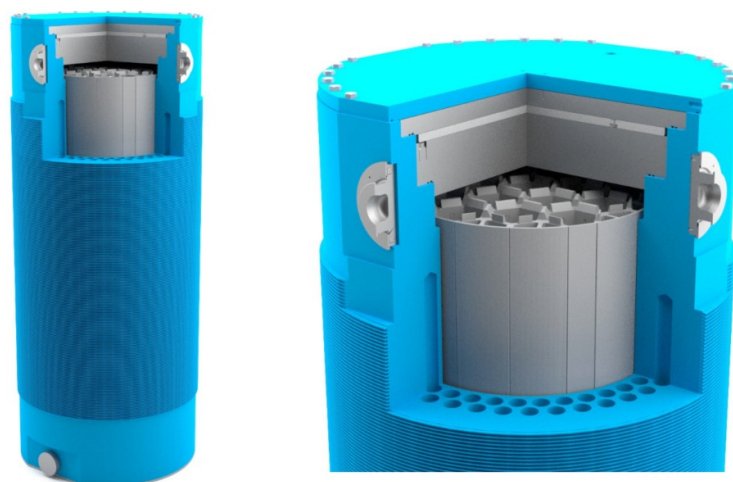
Obr. 2.2 CASTOR 1000/19 [9]

Pro oba zmíněné modely platí následující informace: jednodílné tělo z kujné litiny, koš pro palivové články a dvou poklopy systém uzavření z nerezové oceli, které jsou přišroubovány k tělu a monitorovány na netěsnosti. Povrch má žebrování pro odvod tepla a vnitřek má polyethylenové moderátory neutronů. Na krajích OS jsou úchyty pro manipulaci jeřábem a při transportu lze OS doplnit o tlumiče otřesu. Oba lze použít pro dlouhodobé uskladnění. Rozdíly jsou uvedeny v tabulce 1.

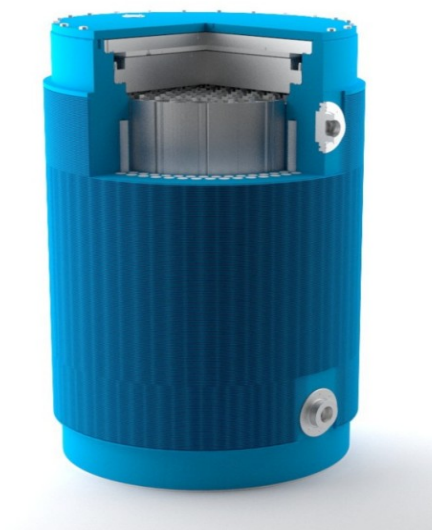
Tab. 1: Porovnání používaných OS v ČR [8]

Model ŠKODA	Výška	Průměr	Váha (prázdný)	Váha (plný)	Kapacita	Tepelný výkon	Splňuje regulace
1000/19	5,5 metru	2,3 metru	104 tun	119 tun	19 článků	30 kW	IAEA B(U)
440/84	4,2 metru	2,6 metru	99 tun	117 tun	84 článků	30 kW	IAEA B(U)F

Regulace IAEA pro typ B(U) nebo B(U)F označuje úroveň ochrany, kterou OS splňuje. Daný soubor by měl vydržet silné nárazy při transportu bez úniku jaderných látek a oproti základnímu typu A má vyšší požadavky na teplo. Povrchová teplota obalu nesmí překročit 50 °C, ve výjimečných případech 85 °C, aby nedošlo k poškození okolních předmětů transportu. Obal má schopnost ukládat aktivní štěpné látky, které ale musí zůstat v podkritické úrovni po celou dobu uložení a transportu, včetně možných nehod a poškození. Největší důraz se klade na zabránění vniknutí vody do poškozeného obalu, neboť to může ovlivnit množení neutronů aktivního materiálu. [10]



Obr. 2.3 ŠKODA 1000/19 [8]



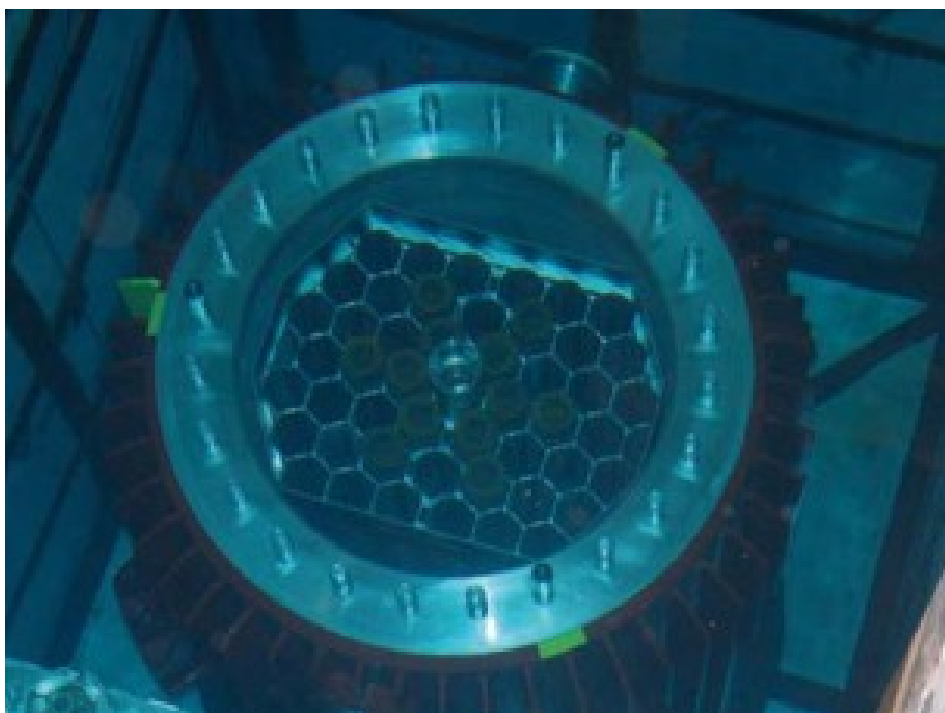
Obr. 2.4 ŠKODA 440/84 [8]

2.2 Typy používané ve světě

2.2.1 Slovensko

VJP ze slovenských jaderných elektráren se od roku 1987 pravidelně ukládá do bazénů v koších KZ-48 nebo T13, dříve také do T12. Tyto koše, určené pro VJP z VVER-440, jsou před transportem vkládány do obalového souboru C-30 „mokrou“ metodou – veškeré manipulace se provádí v bazénech, kde demineralizovaná voda slouží jako radiační ochrana a pro odvod generovaného tepla. Do plně naloženého OS se napumpuje dusík, čímž vznikne ochrana proti vzniku výbušné směsi. Tepelná kapacita košů je 24 kW při 48 palivových článcích a plně naložený C-30 má hmotnost přibližně 80 tun. [11]

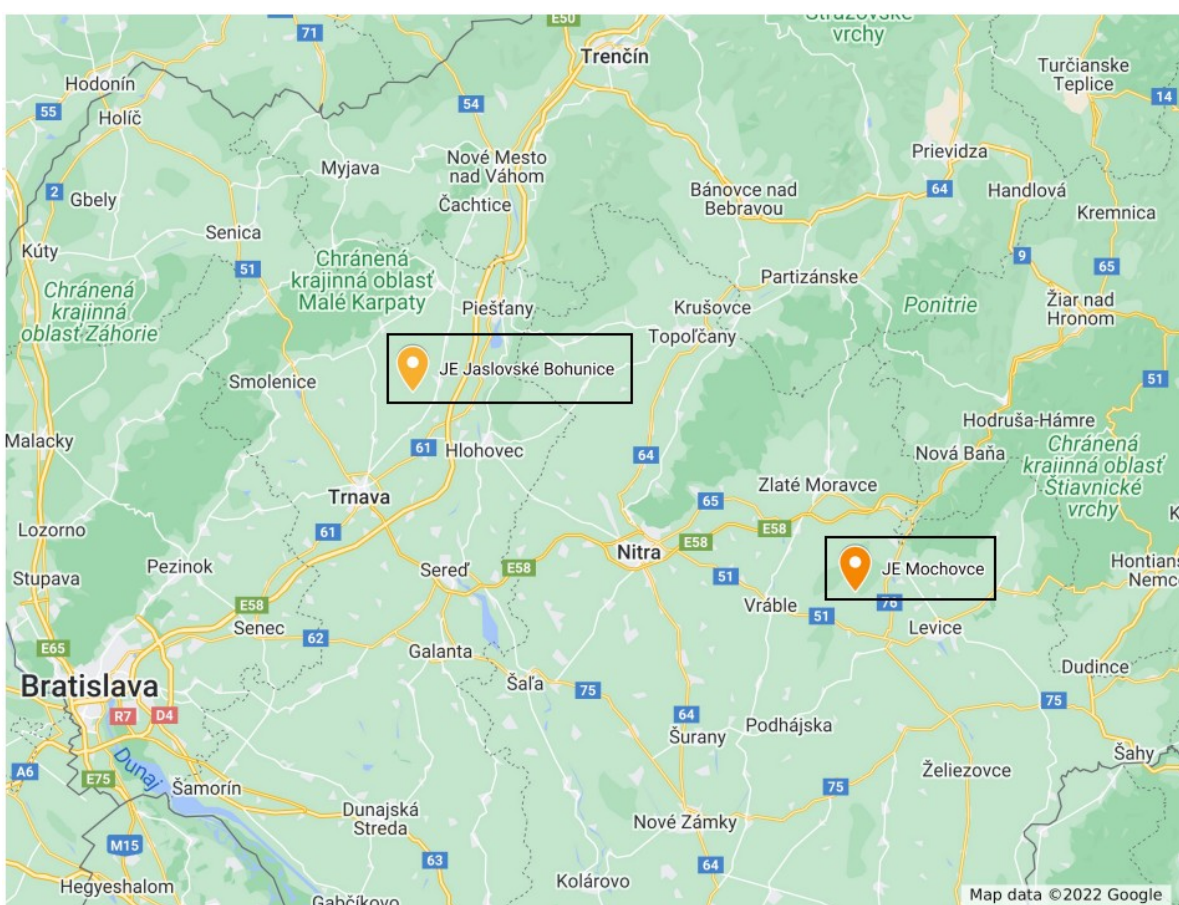
Úložné bazény se nacházejí v dočasném úložišti VJP u JE Jaslovské Bohunice, s celkovou kapacitou okolo 14 000 palivových článků a maximálním tepelným výkonem 2 MW. Do budoucna se plánuje zvýšení počtu chladících bazénů v současném meziskladu, případně výstavba meziskladu u JE Mochovce a permanentní úložiště v podzemí, kde budou obalové soubory v suchém prostředí a zabetonované. [12]



Obr. 2.5 Pohled shora na obalový soubor C-30 s košem KZ-48 uvnitř bazénu [12]

Přes železnici se OS C-30 dopraví na speciálním vagónu (Uaais/Hx 9-713.0) bezpečně do dočasného úložiště v JE Jaslovské Bohunice. Nejkratší železniční trasa vede přes několik železničních úseků, mezi významnější průjezdné body patří Šurany – Nitra – Hlohovec – Leopoldov a měří přibližně 125 km. Alternativní možností by mohla být trasa přes Šurany – Šaľa – Galanta – Sereď – Leopoldov.

Dle tiskových zpráv se přeprava VJP z JE Mochovce do JE Jaslovské Bohunice provádí průměrně jednou ročně, obvykle v kapacitě kolem 140 palivových článků, tj. 3 plně naložené OS. Mnohem častěji, ale s menší kapacitou, se provádí převoz VJP z bloků JE Jaslovské Bohunice do mokrého meziskladu u JE Jaslovské Bohunice. Každoročně se také provádí zásobování čerstvým palivem přes železnici nebo letecky. [13]



Obr. 2.6 Umístění slovenských jaderných elektráren [14]

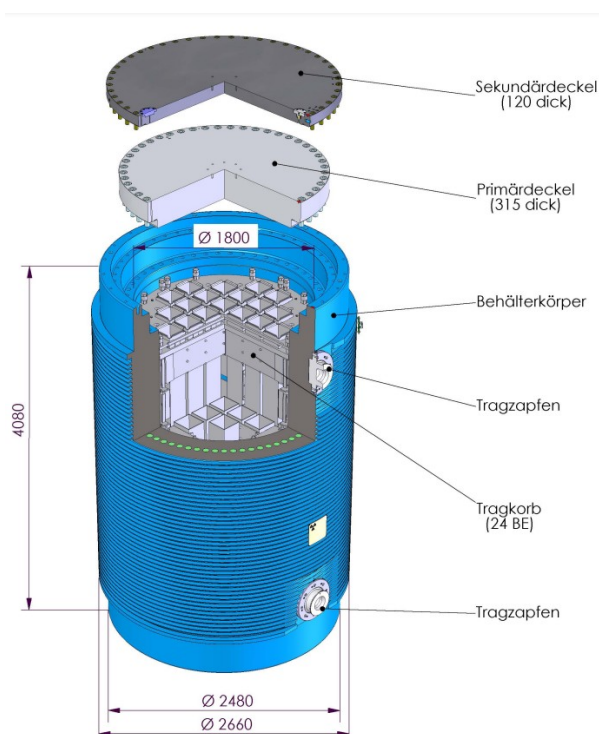
2.2.2 Německo

CASTOR®

Německý výrobce GNS vlastní licenci na tvorbu CASTOR OS, které dováží do celého světa. Jsou to obaly s dvojitým využitím, tedy jak transportní, tak skladovací. Palivové tyče jsou uvnitř koše, který odvádí teplo, a to vše je uzavřeno dvojitým obalem. Jsou navrženy tak, aby vydržely silné nárazy při transportu nebo dokonce i požár.

Existuje několik druhů, každý pro jiný druh reaktoru. Model V/19 pro PWR, V/52 pro BWR, HAW28M pro vysoce aktivní odpad ze znovuzpracování VJP, MTR3 pro výzkumné reaktory, 440/84 mvK pro PWR, 440/84 M pro VVER-440 a 1000/19 pro VVER-1000. Pro nás jsou nejdůležitější poslední dva zmíněné modely, zmíněno již v bodě 2.1.2, které vyráběla i ŠKODA JS pro české jaderné elektrárny.

CASTOR 440/84 mvK má kapacitu 24 palivových článků a konstrukční prvky má téměř totožné jako ŠKODA 440/84. Výška 4 metry, průměr 2.5 metru a váha 96 tun bez palivových článků, 107 tun s články. [9]



Obr. 2.7 CASTOR 440/84 mvK [9]

CONSTOR®

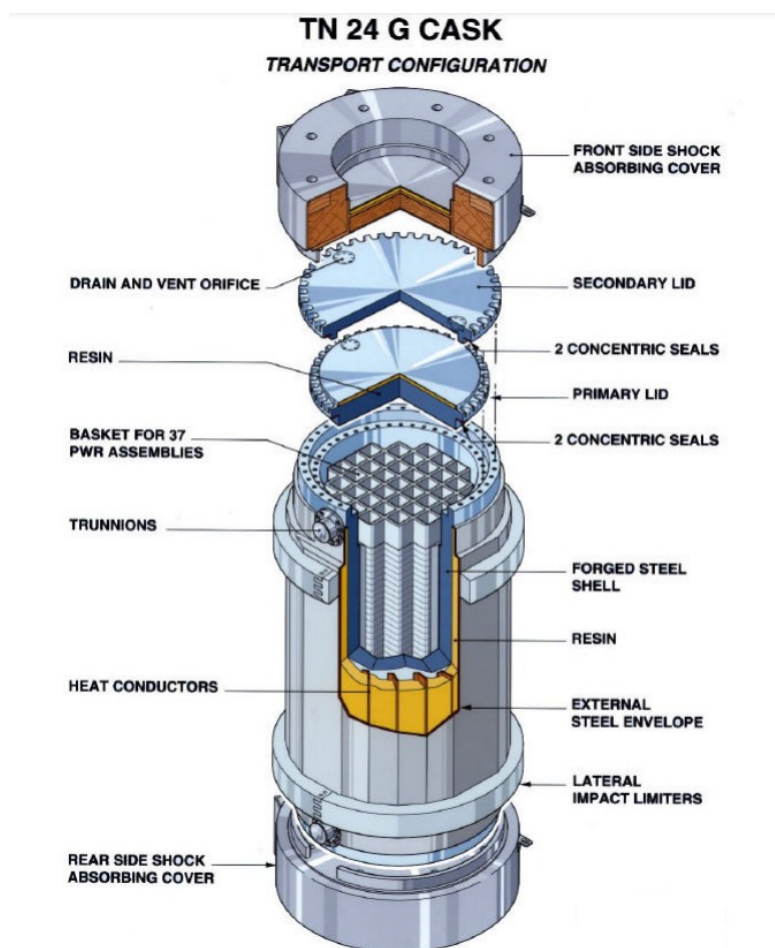
Jedná se opět o obaly s dvojitým využitím, ale je jinak konstrukčně řešen než CASTOR. Má cylindrický tvar s vnitřní a vnější vložkou, které jsou navařené na masivní železný kruh. Dutina mezi těmito vložkami je vyplněna speciálním betonem vyvinutým GNS (CONSTORIT). Nachází se zde tři poklopy, kde primární je přišroubován a zbylé dva jsou navařeny pro případ permanentního uzavření. Oproti CASTOR není potřeba pravidelné měření úniku. Jsou převážně určeny pro dočasné uskladnění VJP a pro transport. Tento OS má taky několik velikostních modelů v závislosti na použití, například CONSTOR® 440/84 v Bulharsku (VVER-440, již uzavřené bloky) nebo CONSTOR® RBMK-1500 v Litvě (taktéž již uzavřený provoz). [9]



Obr. 2.8 Řez obalu CONSTOR [9]

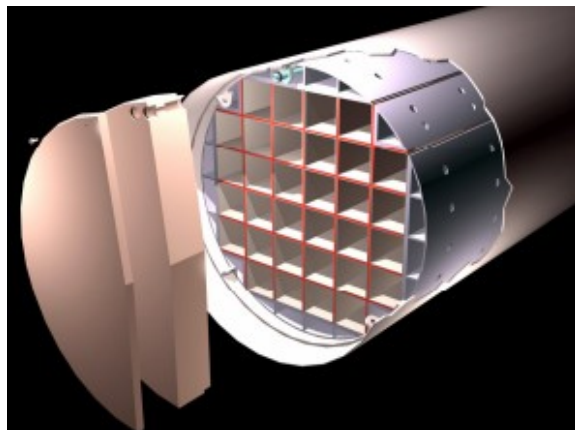
2.2.3 Francie - TN

Transnucléaire je francouzský výrobce obalových souborů, který spadá pod Orano (dříve Areva Group), mezinárodní společnost zaměřená na jadernou energetiku s hlavním sídlem ve Francii. Firma vyrábí mnoho kovových TN modelů pro PWR nebo BWR palivové soubory. Modely PWR jsou používány ve francouzských jaderných elektrárnách, ale dováží se taky do USA, Japonska, Belgie nebo Švýcarska. Lze je použít jak pro transport, tak pro uskladnění. Jsou vyrobené z několika ocelových vrstev pro gamma a neutronové stínění a aktivně monitorovány na únik. Na obrázku 2.9. je podrobnější popis jednoho z vyráběných OS. Stejně jako u CASTOR jsou na těchto souborech prováděny zátěžové zkoušky – spadnutí, zatopení, požár nebo zemětřesení. Francie má k dispozici továrnu na přepracování v La Hague, do které se VJP převáží v obalových souborech TN. [15]



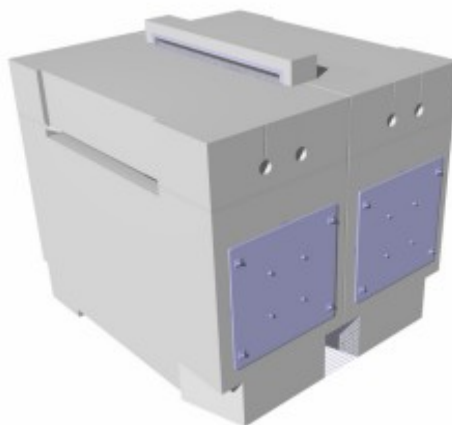
Obr. 2.9 Řez obalu TN 24 G [15]

2.2.4 USA - NUHOMS®



Obr. 2.10 Kanystr NUHOMS 32PTH [16]

NUTECH HORIZONTAL MODular Storage je řada obalových kanystrů pro manipulaci s VJP. V případě transportu na úložné místo se celý kanystr vloží do transportního souboru NUHOMS OS197, čímž se zvýší ochrana při transportu. Ten zajišťuje neutronové a gamma stínění v kostře z nerezové oceli. Pro dlouhodobější uskladnění existuje systém vkládání transportních kanystrů do betonových objektů, označených jako HSM-H, pro účinnější stínění a odvádění tepla. Tyto objekty mají zabudovaný ventilační systém a jsou instalované na místo jako předvyrobené moduly pomocí jeřábu a pěti pracovníků. K monitorování slouží videozáznam a teplotní čidla, takže není nutné každodenní kontrolování na místě. Skupina HSM tvoří ISFSI – „nezávislá instalace skladiště vyhořelého paliva“, které jsou rozmístěné na území USA. Hlavní výhodou těchto instalací je možnost uložení bez použití jeřábu a umístění v blízkosti zastavěných oblastí. [16]



Obr. 2.11 Horizontální úložný modul NUHOMS HSM-H [16]

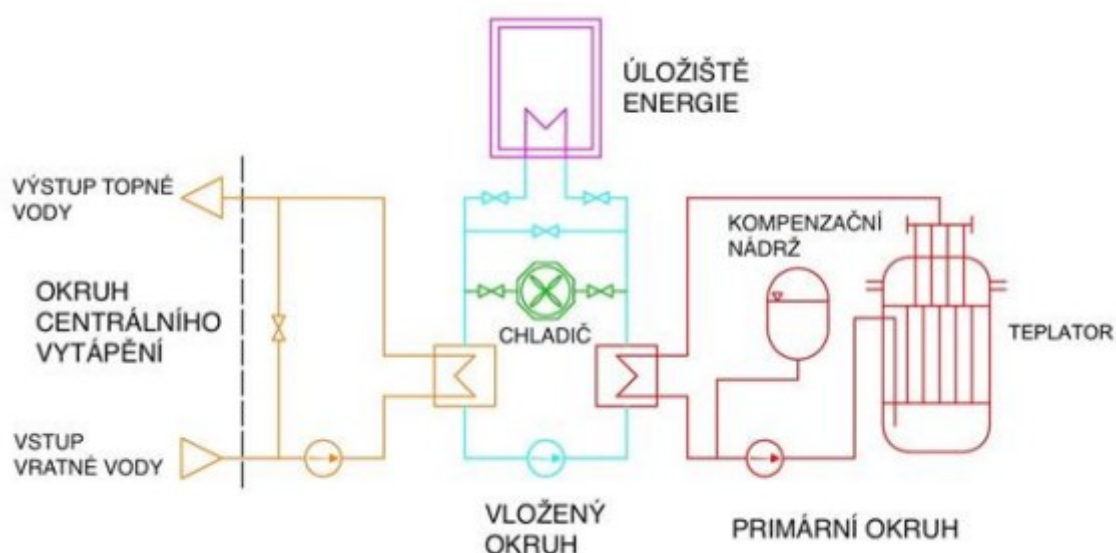
3 TEPLATOR

3.1 Koncept

TEPLATOR je relativně nový koncept pro výrobu tepla, případně chladu, za použití VJP z komerčních jaderných elektráren. Jedná se o druhotné využití jaderného paliva před permanentním uskladněním VJP v úložištích. Využije se tedy palivo, které již není vhodné k výrobě elektřiny, bez nutnosti přepracování.

V nejbližších letech dojde k nahrazování fosilních zdrojů elektřiny a tepla z důvodu produkce velkého objemu emisí. TEPLATOR by tuto mezeru ve výrobě tepla mohl naplnit. V současné době se nachází velká zásoba VJP na území ČR, která se do doby vytvoření permanentního úložiště bude jen zvyšovat. Nedostatek paliva pro TEPLATOR tedy nehrozí a navíc bude při této variantě relativně levné – pouze s náklady na převoz a manipulaci.

Aktuálně je ve fázi vývoje TEPLATOR DEMO, do budoucna se plánuje i verze TEPLATOR FULL nebo HT, které budou mít větší instalovaný výkon. Na konceptu TEPLATOR spolupracuje výzkumný ústav CIIRC ČVUT s elektrotechnickou fakultou ZČU v Plzni.

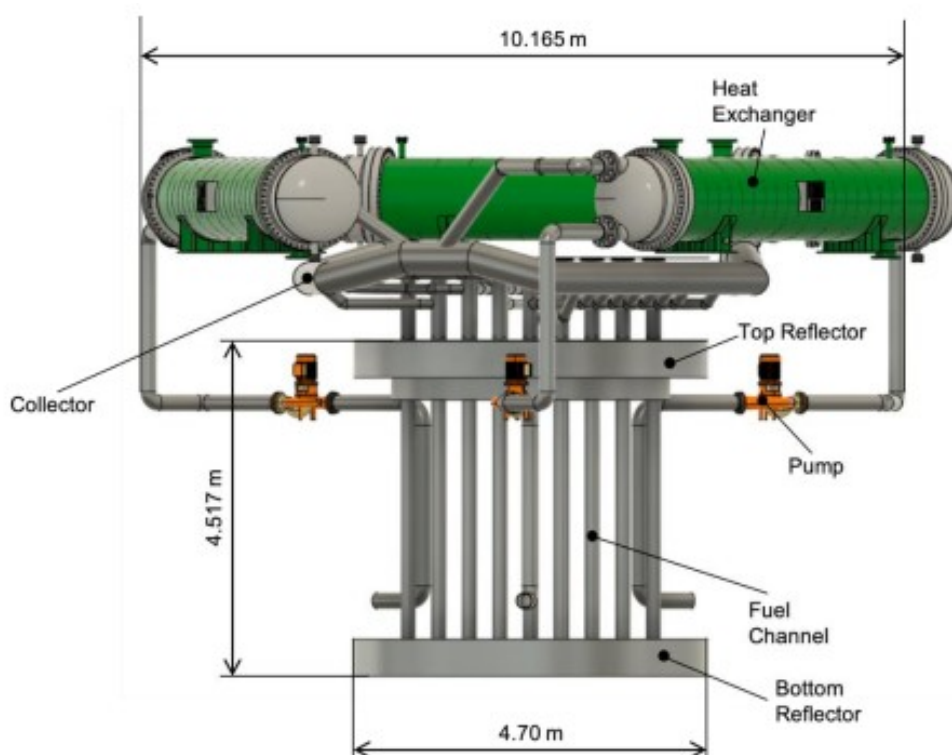


Obr. 3.1 Schéma okruhů [17]

3.2 Technické parametry

Model TEPLATOR DEMO pracuje s 55 kazetami VJP uložených do šestiuhelníku na základě jaderných elektráren s VVER-440. Reaktivita tohoto paliva není dostatečná pro standardní lehkovodní moderátor (obohacení pod 1 % uranu-235), zvolila se tedy těžká voda s čistotou nad 99.5 % jako moderátor díky svým vlastnostem. Zároveň s tím přišel rozměrový problém, protože těžká voda zpomaluje neutrony pomaleji než vodík nebo lehká voda. Výsledné jádro TEPLATORu bude o něco větší než typické lehkovodní reaktorové jádro ale počet palivových kazet je výrazně menší než u standardního energetického reaktoru. Jako reflektor se zvolil grafit o tloušťce 45 cm, protože je mnohem levnější než těžká voda a se srovnatelnými vlastnostmi. [18]

Voda v primárním okruhu bude při atmosférickém tlaku a teplotě 98 °C předávat energii do vloženého okruhu přes výměníky tepla. Zároveň se ve vloženém okruhu nachází nádrž, resp. nádrže, pro ukládání energie, viz obrázek 3.1. K zákazníkovi se dostane energie ze třetího okruhu, tj. okruhu centrálního vytápění, který je ohříván z vloženého okruhu přes sekundární výměníky a trubky. Jako teplovodná tekutina ve vloženém okruhu a nádržích se při daných parametrech uvažuje voda nebo roztavené soli.



Obr. 3.2 3D model primárního okruhu a reaktoru [17]

Jak je patrné na obrázku 3.2 - celá stavba se skládá z izolovaného jádra, tří tepelných výměníků a třech čerpadel na primární části. Také jsou zde vidět rozměry jednotlivých částí v řezu. Každý tepelný výměník je schopen uchládit plný výkon zařízení, je tak dosažena bezpečnost při případné poruše. Čerpadla mají nominální výkon 130 kW a průtočnost 450 m³/h. [19]

Provozní doba TEPLATORu DEMO bude 9 měsíců v roce s tepelným výkonem 50 MWt, pozdější modely TEPLATOR FULL počítají s tepelným výkonem až 200 MWt a vyššími parametry teploty a tlaku. Po dvou cyklech se u TEPLATOR DEMO vymění všechny kazety, takže produkují teplo přes 500 dnů.

3.3 Možnosti umístění v ČR

Nejvyšší potenciál TEPLATORu je vytápění domácností bezemisní metodou. Na obrázku 3.3. jsou vidět česká města, která disponují teplárnami na uhlí nebo na zemní plyn a mají vysoký odběr tepelné energie. Do roku 2038 jsme ale zavázáni přejít z uhlíkových zdrojů na bezemisní. Jedna jednotka TEPLATOR DEMO vyprodukuje až 324 GWh tepelné energie během devítiměsíčního cyklu, zbylé 3 měsíce jsou pro odstavení a doplnění palivových článků. TEPLATOR se provozuje v 270 denních cyklech, což odpovídá legislativní délce topné sezóny dáno vyhláškou Ministerstva průmyslu a obchodu č. 194/2007 Sb. Pro budoucí modely TEPLATOR by se vyprodukovaná energie zvýšila dokonce nad roční poptávku po teple a uvažuje se nad výrobou chladu, čímž by se využila tepelná kapacita výroby v teplejších měsících.



Obr. 3.3 Možné lokality v ČR pro TEPLATOR a jejich dosavadní tepelná výroba [20]

Vytápění měst z jaderných zdrojů není žádná novinka – město Týn nad Vltavou je vytápěno z blízké JE Temelín. Navíc v roce 2021 se měla spustit další sekce horkovodního potrubí o délce 25 km do Českých Budějovic, ale z důvodů insolvence dodavatelské firmy se tento termín posunul. Potrubí je z poloviny hotové, takže v nejbližších letech můžeme očekávat spuštění. Navrhované pokrytí z JE bude 30 procent tepelné energie, zbytek bude zajišťovat Městská teplárna z vlastních zdrojů, tj. uhelné teplárny. [21]

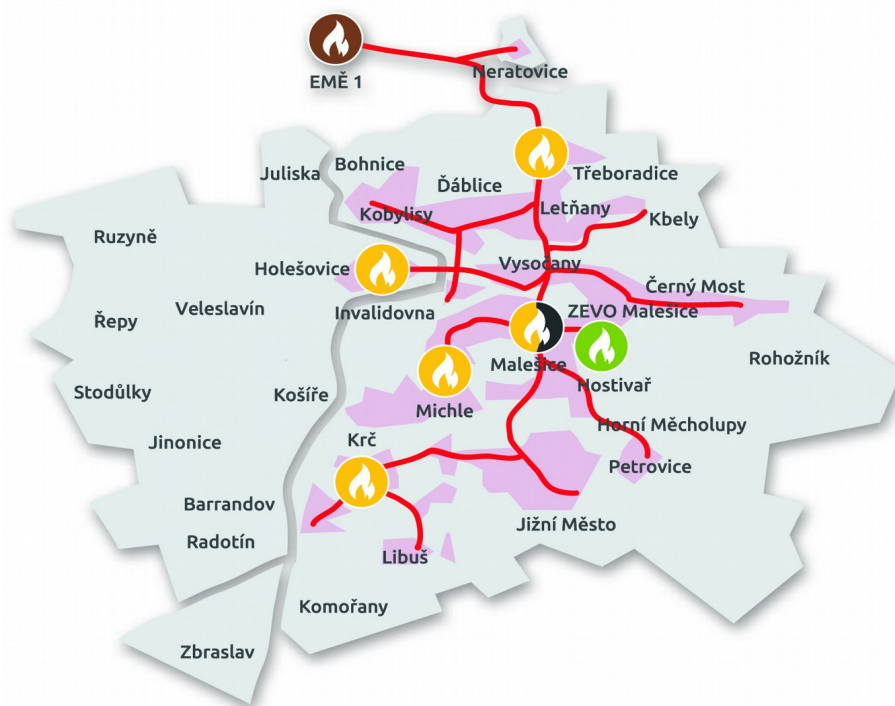
Obdobný návrh se nabízí v případě JE Dukovany, kde byl vyhlášen tendr na stavbu dalších výrobních bloků. Současné i nově budované bloky by tudíž mohly dlouhodobě zásobovat teplem město Brno, potrubí by v tomto případě dosahovalo kolem 35 km. Alternativou by mohl být TEPLATOR. Velký potenciál umístění TEPLATOR bude v Praze nebo v okolí Ostravy, kde jsou vysoké odběry tepelné energie, značný počet lidí a silné znečištění ovzduší, do kterého přispívají stávající teplárny. Když se zde ozkouší navrhovaná technologie a uspěje, mohla by se rozšířit do dalších velkých měst, například do Brna nebo Plzně, viz obr. 3.3.

3.4 Praha

V roce 2019 byla spotřeba Prahy 11 300 TJ tepla měřeno z centrálních zásobovacích zdrojů, na které je napojena většina Prahy. Pražská teplárenská soustava je teplovodní síť měřící přes 700 km, na které jsou napojené následující výrobní: Mělník, největší zdroj o instalovaném tepelném výkonu 650 MW a roční dodávané energii 9 000 TJ, Třeboradice, Malešice, Michle, Invalidovna, Krč, Hostivař. Kromě spalovny odpadu Malešice se teplárny provozují na uhlí a zemní plyn, které prošly modernizací a do ovzduší se vypouští mnohem méně škodlivin. Velký vliv na snížení znečištění mělo rozšíření dálkového vytápění po celé Praze a odstávka malých zdrojů tepla s nízkou účinností. [22]

Myšlenka vytápění Prahy z jaderných zdrojů vznikla již v roce 1970, kdy byla vypracována studie na umístění dvou JE v lokalitách Holešovice a Modřany. Ty měly dodávat teplo a elektřinu v tehdy oddělených částech teplovodní sítě. V dnešní době je tato síť propojená včetně přeložek a bypassových tras, proto se uvažuje o jedné lokaci s vyšším instalovaným výkonem. Dnes jsou Holešovice využívány pro provoz experimentálních reaktorů VR-1, v blízké budoucnosti přibude také VR-2, spadající pod ČVUT. Nelze zde ale stavět reaktor na vyšší výkony, neboť okolní oblast obývá mnoho obyvatel a nachází se zde obytné domy.

Jako vhodná lokalita se nabízí Řež, kde se nachází výzkumné reaktory spadající pod ÚJV Řež, tj. LR-0 a LVR-15. Díky blízkosti k Praze a vlastnictví povolení k provozování jaderných reaktorů se jedná o dobré místo k vystavění TEPLATORu. Nákladem by zde bylo připojení k teplovodné síti a výstavba samotného reaktoru. Dle případové studie se jeví připojení na teplovodnou síť v Třeboradicích, stejně jako EMĚ 1, jako nejvhodnější řešení. Očekávané náklady teplovodu by se pohybovaly kolem 600 mil Kč, když bereme v úvahu obdobný teplovod mezi JE Temelín a Českými Budějovicemi. Délka možného potrubí se pohybuje kolem 15 km. [23] [24]



Obr. 3.4 Největší teplárny na teplovodné síti Prahy [24]

Kromě umístění v Řeži se nabízí výstavba místo jedné ze stávajících tepláren. Výhodou je přímé napojení na teplovodnou síť a rozsáhlý prostor pro výstavbu a zásobování. Proti tomu se ale může postavit místní obyvatelstvo nebo povolení SÚJB k výstavbě. Mezi další nevýhodu patří nutnost bourání původní stavby a deficit ve výrobě tepla než se postaví a napojí nový zdroj. Pro pokrytí 12 000 TJ tepelné energie bude zapotřebí velkého výkonu, předpokládá se napojení několika jednotek TEPLATOR, například 3-4x 150 MW pracující na plný výkon, na stejné lokalitě pro usnadnění zásobování a skladování paliva. Stávající síť se provozuje na teplotě 140 °C, proto sem nemůže mířit TEPLATOR DEMO ale pozdější varianty TEPLATOR FULL.

3.5 Ostrava + okolí

V blízkém okolí Ostravy se nacházejí tyto zdroje tepla: Teplárna TAMEH, Elektrárna Třebovice, Teplárna Přívoz, Teplárna Karviná, Teplárna Vítkovice. Další zdroje, Elektrárna Dětmárovice, Teplárna F-M a Teplárna Krnov, jsou ve větší vzdálenosti od Ostravy. Hlavním palivem bývá černé uhlí, koksárenský plyn nebo zemní plyn. V posledních letech přicházejí inovace v podobě kotlů na biomasu, například v teplárně Krnov nebo budoucí náhrada v teplárně Karviná. Teplárna Karviná se do roku 2026 přestaví z uhelného zdroje na plyný a následně na jiná tuhá paliva a biomasu.

Z větší části jsou tyto zdroje ve vlastnictví Veolia Energy, která mimo jiné vlastní Pražská teplařenská a.s. V regionu Severní Morava a Slezsko provozuje teplovodnou síť s délkou přes 600 km a celkovém tepelném výkonu 1 729 MWt. Zároveň začíná dodávat chlad, ale je to zatím zlomek z vyrobené energie, ta v roce 2020 dosáhla 7 390 TJ pro zmíněný region. Vyrobená energie, jak tepelná tak elektrická, směřuje do výrobních a těžebních průmyslových objektů, nemocnic, dopravy a obytných domů. [25]



Obr. 3.5 Největší teplárny v okolí Ostravy [14]

Když se podíváme na možná místa pro objekt TEPLATOR + sklad, tak máme širokou škálu možností. Nachází se tu mnoho průmyslových objektů a dolů se železniční infrastrukturou, některé z nich závislé na těžbě a zpracování uhlí. Protože se plánuje zavírání, respektive omezování, tohoto průmyslového odvětví, TEPLATOR by mohl nahradit opuštěná a nebo neobyvatelná místa. Při uvážení již vybudované tepelné sítě bude připojení k systému výroby relativně levné, obzvláště když se nahradí za komplex, který dosud odebíral tepelnou energii z tepláren.

Za zmínku dále patří myšlenka umístit TEPLATOR v Blahutovicích, kde se v 90. letech měla stavět JE s reaktory VVER-1000/320. Od této myšlenky se ustoupilo a po revoluci v roce 1989 došlo k pozastavení na neurčito. Lokalita je blízko Nového Jičína, takže by mohla dodávat tepelnou a elektrickou energii do Ostravy, Olomouce nebo dokonce do Zlína. Je možné, že se po tendru a stavbě dalších bloků v Dukovanech a Temelíně dočkáme i třetí elektrárny zde, ale nemusí to být nutně obrovská elektrárna. Výhodou je zde již rozpracovaná myšlenka umístění a splněná kritéria na stavbu JE. Naopak vzdálenost od postavené teplovodné sítě by zvýšila prvotní náklady, což se vykompenzuje v budoucnu pokud se síť rozšíří do dalších měst a krajů. [26]

Stejně jako v případě Prahy zde bude potřeba víc než jeden TEPLATOR, dle mého uvážení 2x 150 MW, pokud se má pokrýt výroba z fosilních paliv a výstupní teplo z výměníků musí dosáhnout parametrů sítě. Nabízí se postavit hned 3 jednotky jako rezerva do budoucího růstu města a teplovodní sítě, ale než k tomu dojde, pracoval by systém s nevyužitým výkonem. Výhodou oproti Praze je výše zmiňovaná železniční síť, která má značnou hustotu a připojení k průmyslovým komplexům. Dále zde není taková míra urbanizace a průmyslové areály jsou rozprostřené po celém obvodu Ostravy a okolí. Oproti umístění v Řeži ale zde musí projít průzkum od SÚJB pro zvolení vhodné lokace a tato legislativa může trvat několik let.

4 Přeprava z JE Dukovany

4.1 Způsoby přepravy

Pro všechny druhy přepravy VJP platí zákon o utajovaných skutečnostech, proto celém transportu ví jen omezená skupina lidí, která se aktivně zapojuje do přepravy. Transport doprovází dle potřeby policie nebo armáda a volí se z několika možných tras pro zajištění bezpečnosti. Radiační ochranu zajišťují obalové soubory, takže vliv na okolí je nezaznamenanatelný.

4.1.1 Železnice

Železnice se pro přepravu jaderného paliva a konstrukčních částí JE používá již desítky let a obě JE v ČR mají vlastní železniční úseky a připojení na veřejnou síť. Na obrázku 4.1 lze vidět přepravu čerstvých palivových článků do JE Temelín v roce 2008, kde lokomotiva převážela 8 vozů s palivem o celkové hmotnosti 25 tun. Čerstvé jaderné palivo se ze SSSR, respektive z Ruska, dopravuje doteď po železnici. Díky husté železniční síti v ČR máme možnost dopravit VJP z JE Dukovany nebo JE Temelín do všech vytipovaných lokalit s lehkými úpravami konečného úseku, případně krátké finální části dopravy silniční komunikací. Vagóny dokáží převézt velké a těžké náklady, do čehož obalové soubory rozhodně patří. Při návrhu trasy ale mají menší výběr a konstrukce nových úseků bude velice nákladná a zdlouhavá.



Obr. 4.1 Převoz čerstvého paliva [27]

4.1.2 Silniční přeprava

Palivové soubory lze převážet i přes kamionovou dopravu. V únoru roku 2021 se takto dopravilo 48 palivových souborů do JE Temelín, o celkové hmotnosti 36 tun, z čehož 25 tun bylo čistého paliva. [27] S vyhořelým palivem ale bude větší problém, neboť plně naložený CASTOR/ŠKODA obalový soubor dosahuje přes 100 tun. Takto těžký náklad se bude muset převážet přes speciální kamiony na rozložení váhy a bude nutné uzavřít komunikace v době transportu. Zde opět platí úprava infrastruktury pro dopravu takto velkého nákladu. Výhodou oproti železnici ale bude možnost plánování více tras pro zvýšení bezpečnosti.

4.1.3 Ostatní přeprava

Lodní a letecká doprava nepřipadá z časového nebo ekonomického aspektu v úvahu, protože zde nejsou vhodné vodní toky na přepravu a na leteckou dopravu by se musely použít velké přepravní letouny, které na tak krátkou vnitrozemní přepravu nejsou vhodné. V blízkosti JE Dukovany se ale nachází Vojenské letiště Náměšť nebo letiště Brno Tuřany, které bude možné použít na transport mimo ČR. Je možné, že se návrh TEPLATOR rozšíří do světa a uzavřou se potřebné smlouvy o dodávání radioaktivního materiálu mimo stát původu, potom by se tato možnost přepravy dala využít. Kdyby se v budoucnu změnil dodavatel čerstvého paliva, můžeme očekávat vyšší využití letecké přepravy.

4.2 Objem přepravy

Kapacita původního meziskladu v JE Dukovany je 60 OS CASTOR 440/84, který je od roku 2006 zcela naplněn. Dále zde je nově vybudovaný sklad vyhořelého paliva s kapacitou 133 OS - CASTOR 440/84M nebo ŠKODA 440/84. Tento objem by měl plně pokrýt veškeré budoucí OS až do odstavení aktuálních 4 bloků JE Dukovany, plánovaný nejdříve na rok 2037. [28]

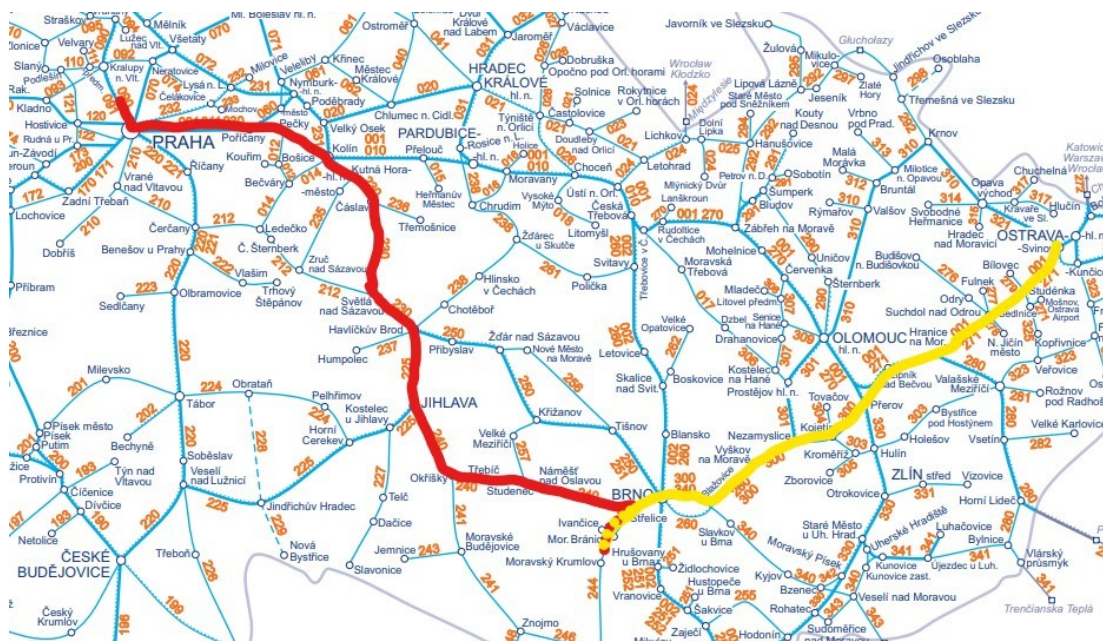
Do roku 2032 platí dohoda o dodání 34 OS ŠKODA 440/84 pro JE Dukovany od ŠKODA JS. Předpokládá se, že dojde k objednávce dalších 55 OS ŠKODA 440/84 mezi lety 2032 a 2048. Zajistí se tím dostatek OS pro transport do vytipovaných míst s TEPLATOR nebo pro uskladnění. Obalových souborů a palivových článků pro tento návrh máme aktuálně v ČR víc než dost a nehrozí v následujících desetiletích potřeba dodávat ze zahraničí.

Při spotřebě 55 palivových článků na výrobní cyklus, tedy 9 měsíců, a kapacitě 84 v CASTOR / ŠKODA 440/84M, bude potřeba převést 1 OS do skladiště na každou jednotku TEPLATOR FULL každý rok. Pro lokalitu Řež se tedy připraví jeden převoz o objemu 3-4 OS, pro lokalitu Ostrava 2 OS ročně. V prvním roce dojde k dvěma převozům, respektive k jednomu s dvojnásobnou kapacitou. V některých letech se naopak přeprava nemusí uskutečnit, když se zde nahromadí několik OS s nevyčerpanými palivovými články. S ekonomickou životností 30 let se tedy dostáváme k hodnotě 20 plně naložených OS pro jeden TEPLATOR FULL. Na lokalitu Řež se třemi TEPLATOR FULL pojede 60 plně naložených OS, které se můžou převést v 20 standardních převozech. [29]

4.3 Náročnost přepravy

K uskutečnění celé přepravy a uskladnění bude zapotřebí vytvořit infrastrukturu téměř od nuly, hlavně TEPLATOR a úložné místo v blízkosti. Obalové soubory pro uskladnění již jsou, přepravní prostředky se dají použít lokomotivy, respektive nákladní kamiony.

Jeden plně naložený OS váží 117 tun, který se musí dopravit od skladu VJP v JE Dukovany do meziskladu TEPLATORu. Kvůli členitosti terénu a omezenému tahu lokomotiv se najednou převezou 2-3 OS jednou lokomotivou. To stačí pro zásobování lokality Ostrava, pro Prahu by jely dvě lokomotivy v soupravě. Na obrázku 4.2 jsou vyznačené nejkratší možné trasy do obou lokalit, přepravce může použít jiné.



Obr. 4.2 Železniční spojení JE Dukovany s Prahou (červeně) a Ostravou (žlutě) [30]

Cena pro převoz firmou ČD Cargo se bude odvíjet od počtu náprav, charakteru přepravy, hmotnosti zásilky, vlastnictví vozu a samozřejmě tarifní vzdáleností. Protože se jedná o převoz radioaktivních látek (třída 7 v Řád pro mezinárodní železniční přepravu nebezpečných věcí), zvýší se cena přepravy smluvně. Pro jiné nebezpečné látky to je 10 % navýšení. Nad rámec tarifu pak jsou mimořádné zásilky, přeprava ze stanic se zvláštními podmínkami, tj. JE Dukovany, zásilky naložené na více vozech a nebezpečné odpady. Do Prahy se počítá tarifní vzdálenost 280 km, do Ostravy 220 km – důvodem je vedení cesty přes Hrušovany nad Jevišovkou a do Znojma v obou případech na uložení přes noc. Základní sazebník za kilometry tedy vychází na 49 tisíc, respektive 45 tisíc za vícenápravový vůz. K tomu ještě 13 tisíc za každý velký kontejner – v našem případě obalový soubor. Na jednu přepravu JE Dukovany – TEPLATOR se dostáváme do řádu sto až dvě stě tisíc Kč bez DPH, v závislosti na smluvní dohodě ceny a příplatků za manipulaci. [31]

Do navrhovaných lokalit v Praze se dopraví z větší části pomocí železnice, ale zbývající vzdálenost do lokace bude nutné použít jinou dopravu, například kamionovou. Tady by mohly nastat komplikace, neboť se projíždí hustě zastavěnou a využívanou komunikací. Jelikož se ale jedná o přepravu jednou do roka, nemuselo by to mít velký ekonomický a časový dopad na místní obyvatele. Zrovna u Řeže se nabízí jiná možnost, kde na druhé straně Vltavy vede železniční trať. Problémem ale pak bude zbývajících 200 metrů přes řeku, kde navíc není vybudována infrastruktura pro přenesení OS z vagónu do cíle. Pokud by se zvolila tato varianta, vyrostl by na Vltavě nový most vedle / místo lávky schopný unést přes 100 tun nebo trajekt s výkonným jeřábem využívaný jen párkrát do roka. Jestli se rozhodne pro jednu z navrhovaných variant, zvýší se náklady na výstavbu TEPLATORu. Výhodou pak bude jistota, že silniční transport nebude mířit přes osídlenou a frekventovanou část Prahy.

Možné lokality v okolí Ostravy mají železniční spojení přímo do dnešních tepláren a průmyslových zón, zde by byla přeprava mnohem jednodušší a rychlejší. U ostatních navrhovaných měst lze najít obdobnou situaci, kde průmyslové objekty a okraje měst mají železniční napojení ve velké míře. Může se ale stát, že se zvolí místo mimo tyto úseky a tak se zde objeví kamionová doprava na krátké vzdálenosti.

4.4 Proveditelnost návrhu

Když budu vycházet z informací z předchozích bodů, nejvíc času a zdrojů bude potřeba pro vybudování TEPLATORŮ a úložiště v blízkosti vytipované lokality, včetně schválení jejich umístění z hlediska jaderné bezpečnosti. Vydávání povolení může trvat několik let, než se SÚJB ujistí, že je lokalita vhodná pro provoz. Také IAEA zde může mít slovo, která musí povolit tvorbu nové technologie užívající radioaktivní materiál. Tyto legislativní a bezpečnostní kritéria můžou značně prodloužit uvedení do provozu.

Samotný převoz je z větší části uskutečnitelný již teď díky železniční síti a soupravám nákladní dopravy, například od ČD Cargo. Taktéž existuje řada běžně používaných kontejnerů pro přepravu VJP. Finanční náklady na přesun naložených OS jsou v porovnání s náklady na výstavbu nízké a stačí jednou do roka, takže časová náročnost není veliká. Smlouva o převozu se dá zařídit před dokončením stavby, takže neočekávám zdržení projektu v tomto směru. Komplikací můžou být zmíněné finální úseky u Řeže nebo jiné lokality, kde není železnice přímo do objektu. Kamionová doprava by tento problém mohla vyřešit, došlo by ale k uzavření komunikace mezi depem a úložištěm na určitou dobu.

Ve skladech u JE Dukovany se nachází mnoho naplněných OS a je téměř jisté, že se dodají poslední nezbytné kusy do maximální kapacity. Při zprovoznění TEPLATORu do roku 2040 nemusí ani dojít k naplnění kapacity a plánovaná výstavba dalších bloků na JE Dukovany by pak nemusela řešit stavbu dalšího skladu. Tato myšlenka je ale za předpokladu, že se odebere dostatečný počet OS k provozu TEPLATORŮ a zůstanou po spotřebě v meziskladu lokality, respektive odtud rovnou do permanentního úložiště.

V následujících 30 letech se dle usnesení Evropské komise požaduje zhotovení celého systému hlubinného uložení, tj. do roku 2050 oproti původnímu návrhu do roku 2065. [32] Hlubinné úložiště vyřeší problém s umístěním odpadu po skončení palivového cyklu reaktoru, a tak sem také bude mířit dvakrát použité palivo ze skladu TEPLATORu. Na území ČR se momentálně neplánují jakékoliv zařízení vhodné pro přepracování paliva a do zahraničí se tento materiál v dalších letech nebude přepravovat.

Pozitivní tlak a podporu můžeme očekávat ze strany státu a jeho nutnosti odstavit zdroje tepla a elektřiny z fosilních paliv. K tomuto kroku přistoupila celá Evropská unie a zde se odhaduje rok 2040, než dojde k finančním sankcím za nedodržení termínu. Když se ukáže, že je tento koncept viabilní, začne se ve větší míře rozšiřovat po území ČR.

5 Závěr

Na začátku práce jsem si stanovil za cíl navrhnout možné způsoby přepravy OS z JE Dukovany do potenciální lokace TEPLATORu v ČR. Abych to splnil, prostudoval jsem si a popsal platnou legislativu, používané obalové soubory, koncept TEPLATOR, možnosti přepravy a cílová místa. Na základě těchto informací jsem vypracoval dva návrhy – Řež u Prahy a okolí Ostravy.

V první kapitole jsem poukázal na legislativní požadavky potřebné k přepravě a nakládání s radioaktivním odpadem, respektive vyhořelým radioaktivním palivem. Základní postup je uveden v Atomovém zákoně, který doplňují ustanovení Euratomu nebo SÚJB. Nejdůležitějším orgánem pro nakládání s RO je v České republice SÚRAO spolu s původci zmíněného odpadu, což odpovídá nařízení Atomovému zákonu.

Možné obalové soubory pro přepravu a uskladnění jsem probral v druhé kapitole. Pro české jaderné bloky typu VVER-1000 a VVER-440 se používaly obaly od firmy CASTOR, nyní již dochází k přechodu na obaly od firmy ŠKODA JS, která uzavřela kontrakt o dodání nezbytného počtu ŠKODA 440/84, s kapacitou 84 palivových článků, pro JE Dukovany do roku 2032. Právě tyto OS se použijí při přepravě mezi skladem u JE Dukovany a cílovou lokalitou.

O alternativním využití paliva pro výrobu tepla v konceptu TEPLATOR se zmiňuji ve třetí kapitole. Zatím se jedná o návrh, který by přes výměníky tepla dodával tepelnou energii z řízeného štěpení VJP do obydlených oblastí a to hlavně bez emisí a s minimální obsluhou. Díky velké zásobě palivových článků by provoz nemusel být nákladný, byly by zde jen prvotní náklady na vývoj a výstavbu, menší náklady by pak byly na přepravu. Lokalit pro tento návrh je v ČR několik, plné využití můžeme očekávat v Praze, Ostravě nebo dalších velkých městech. Nejvíce pozornosti jsem věnoval lokalitám Řež u Prahy, kde jsou funkční výzkumné jaderné reaktory, a teplárnám v okolí Ostravy.

Do výše zmíněných lokalit se OS musí nějakým způsobem dopravit a jako nejlepší možnost se jeví železnice – převáží se velmi těžký soubor na vzdálenost 200-300 km. Většinu této vzdálenosti lze uskutečnit přes železnici a díky vícenápravovým soupravám se dokáže převézt najednou několik OS, proto stačí doprava jen jednou ročně.

Mezisklad a sklad vyhořelého paliva na JE Dukovany mají dohromady kapacitu 193 OS a to by mělo vystačit na celý provoz dosavadních 4 bloků VVER-440. Pokud nedojde k rozšíření skladu, bude zcela naplněn do roku 2050, kdy by už mohlo dojít k uvedení do provozu několika jednotek TEPLATOR a nejspíš také hlubinného úložiště pro permanentní uložení nepoužitelného paliva. S uvážením aktuálního časového rozvrhu nejspíš dojde k tlaku na rychlejší výstavbu obou návrhů a dopravní infrastruktury k areálům než stavět dočasný sklad navíc.

Potenciál zhotovení, ať už v Řeži nebo v Ostravě, je značný. Část požadavků se už nemusí řešit, například dostupnost naplněných OS a možnost transportu. Motivace k uskutečnění taky nechybí, neboť cílové lokality budou potřebovat v nejbližších letech zdroj tepelné energie. Možných překážek v tomto návrhu je několik – schválení provozu TEPLATORu na dané lokalitě, samotná výstavba TEPLATORu, schválení technologie od IAEA a SÚJB, přesun OS přes zastavěnou oblast a stavba nových teplovodů v případě umístění mimo aktuální síť. Tyto překážky mohou prodloužit a zdražit návrh ale i přesto zde vidím šanci na provedení.

Projekt TEPLATOR bude v nejbližších letech nabývat na důležitosti. S plánovaným odstupem od fosilních paliv, tj. do poloviny tohoto století, a snahou je nahradit bezemisními zdroji energie můžeme očekávat pokrok v tomto směru. Stále tu je možnost, že se vyvine další ekologicky a ekonomicky výhodná alternativa pro využití paliva. Toto ale může trvat i desítky let, během kterých by se tento projekt zrealizoval a uvedl do provozu. Nemožné to není a časové termíny pro TEPLATOR jsou stanoveny v dostatečné vzdálenosti na jejich splnění.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Hlubinné úložiště v Česku - SÚRAO. Úvodní strana - SÚRAO [online]. Copyright © 2021 SÚRAO [cit. 05.11.2021]. Dostupné z: <https://www.surao.cz/pro-verejnost/pripravovane-uloziste/hlubinne-uloziste-v-cesku/>
- [2] Jungjohann, Arne & Besnard, Manon & Marcos, Buser & Fairlie, Ian & MacKerron, Gordon & Macfarlane, A. & Matyas, Eszter & Marignac, Yves & Sequens, Edvard & Swahn, Johan & Wealer, Ben. (2019). [online]. World Nuclear Waste Report 2019. Focus Europe. 10.25530/03552.42. [Cit. 5.11.2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/337732123_World_Nuclear_Waste_Report_2019_Focus_Europe
- [3] 263/2016 Sb. ZÁKON ze dne 14. července 2016 atomový zákon ve znění zákonů č. 183/2017 Sb. a č. 403/2020 Sb. [online]. [Cit. 25.01.2022]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/263_2016_AZ_20210101.pdf
- [4] Směrnice Rady 2011/70/Euratom ze dne 19. července 2011, kterou se stanoví rámec Společenství pro odpovědné a bezpečné nakládání s vyhořelým palivem a radioaktivním odpadem. [online]. [Cit. 25.01.2022]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1397211079180&uri=CELEX%3A32011L0070>
- [5] 412/2005 Sb. Zákon o ochraně utajovaných informací a o bezpečnostní způsobilosti. Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 25.01.2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-412>
- [6] Legislativa pro přepravy v ČR - Přepravy radioaktivních materiálů - Jaderná bezpečnost - Úvod - SÚJB. Úvod - SÚJB [online]. [cit. 25.01.2022] Dostupné z: <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/prepravy-radioaktivnich-materialu/legislativa-pro-prepravy-v-cr>

- [7] Radioaktivní odpady a vyřazování – Produkty a služby [online]. Copyright © ÚJV Řež, a. s., [cit. 31.01.2022]. Dostupné z: <https://www.ujv.cz/cs/produkty-a-sluzby/jaderna-energetika/radioaktivni-odpady-a-vyrazovani>
- [8] Cask Engineering – Ing. Miloslav Ruchař. Doosan Nuclear BG Premises, Changwon, South Korea, August 2016. Copyright © ŠKODA JS a.s. [cit. 12.02.2022].
- [9] CASTOR® - GNS. Gewissenhaft. Nachhaltig. Sicher. - GNS [online]. [cit. 31.01.2022]. Dostupné z: <https://www.gns.de/language=en/24429/castor>
- [10] Specific Safety Guide No. SSG-26. IAEA Safety Standards [online]. VIENNA, 2014 © International Atomic Energy Agency [cit. 12.04.2022]. Dostupné z: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1586web-99435183.pdf>
- [11] Provided services – Processing, Treatment, Transport. [online]. Copyright © 2022 JAVYS a.s. [cit. 11.03.2022]. Dostupné z: <http://www.javys.sk/data/web/dokumenty/Publikacie/javys-ponuka-sluzieb-eng.pdf>
- [12] SPENT NUCLEAR FUEL MANAGEMENT SPENT NUCLEAR FUEL TRANSPORTS. [online] Copyright © 2021 Javys a.s. [cit. 31.01.2022]. Dostupné z: <https://www.javys.sk/data/web/dokumenty/Publikacie/brozura-2016/nakladanie-s-vjp-eng.pdf>
- [13] Preprava vyhoretého jadrového paliva z JE Mochovce [online]. Copyright © 2021 Javys a.s. [cit. 21.04.2022]. Dostupné z: <https://www.javys.sk/mobile/sk/informacny-servis/aktuality-tlacove-spravy-napisali-o-nas/tlacove-spravy/1983-preprava-vyhoreteho-jadroveho-paliva-z-je-mochovce>
- [14] Google Maps. [online] Copyright © 2022 Google LLC. [cit. 31.03.2022] Dostupné z: <https://www.google.com/maps/>
- [15] RATIONALIZING TRANSPORT OPERATIONS: THE TN 24 TRANSPORT STORAGE CASK APPROACH [online]. Copyright © IAEA [cit. 31.01.2022]. Dostupné z: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/csp_006c/PDF-Files/paper-34.pdf

- [16] A Complete NUHOMS® Solution for Storage and Transport of High Burnup Spent Fuel. 14th International Symposium on the Packaging and Paper # 260 Transportation of Radioactive Materials (PATRAM 2004), Berlin, Germany, September 20-24, 2004 [online]. [cit. 31.01.2022]. Dostupné z: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/088/37088556.pdf
- [17] ZÁVORKA, Jiří, LOVECKÝ, Martin a ŠKODA, Radek. *BASIC DESIGN OF THE TEPLATOR CORE - CONSTRUCTION* [online]. Portorož, Slovenia, 2020. [cit. 27.01.2022] Dostupné z: https://www.teplator.cz/wp-content/uploads/2021/04/NENE2020_402_Z%C3%A1vorka.pdf.
- [18] TEPLATOR. TEPLATOR [online]. Copyright © TEPLATOR. Všechna práva vyhrazena. [cit. 26.01.2022]. Dostupné z: <https://www.teplator.cz/>
- [19] ZEMAN, Michal, FOŘTOVÁ, Anna a ŠKODA, Radek. *TEPLATOR DEMO: Basic Design of the Primary Circuit* [online]. Portorož, Slovenia, 2020. [cit. 27.01.2022]. Dostupné z: https://www.teplator.cz/wp-content/uploads/2021/04/NENE2020_401_Zeman.pdf.
- [20] ABUSHAMAH, Hussein, MAŠATA, David a ŠKODA, Radek. Economics of reusing spent nuclear fuel by Teplator for district heating applications. *Int J Energy Res.* 2021;1-18. doi:10.1002/er.7521 [cit.11.03.2022]
- [21] Stavba horkovodu z Temelína do Budějovic bude mít dva roky zpoždění. *oEnergetice.cz - denní zpravodajství z energetiky* [online]. Copyright © 2021 oEnergetice.cz. [cit. 11.03.2022]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplo/stavba-horkovodu-z-temelina-do-budejovic-bude-mit-dva-roky-zpozdeni>
- [22] Průběh topných sezon | Pražská teplárenská a.s.. Pražská teplárenská a.s. [online]. Copyright © 2022 Pražská teplárenská a.s. [cit. 31.03.2022]. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/prubeh-topnych-sezon/>

- [23] PELTAN, Tomáš a ŠKODA, Radek. TEPLATOR – případová studie bezemisního dálkového vytápění Prahy. *All for power* [online]. Copyright © 2009 AF Power agency , 2021, 27.07.2021, **15**(2) [cit. 31.03.2022]. ISSN 1802-8535. Dostupné z: <https://allforpower.cz/jaderna-energetika/teplator-pripadova-studie-bezemisniho-dalkoveho-vytapeni-prahy-446>
- [24] Pražská teplárenská soustava. Dům plný úspor [online]. 6.12.2016 © 2022 Dům plný úspor o.b.s. [cit. 04.04.2022]. Dostupné z: <https://www.dumplnyuspor.cz/bd/prazska-teplarenska-soustava-jeji-vyznam-prahu/>
- [25] Regiony | Veolia Energie. HP | Veolia Energie [online]. [cit. 31.03.2022] Dostupné z: <https://www.vecr.cz/o-nas/organizacni-struktura/regiony>
- [26] NEUMAN, Petr, KOŘÍNEK, Tomáš a ŠKODA, Radek. Jaderné teplo pro Ostravu, Olomouc (a Zlín). *All for power* [online]. Copyright © 2009 AF Power agency, 2022, 06.05.2022, **16**(1) [cit. 10.5.2022]. ISSN 1802-8535. Dostupné z: <https://allforpower.cz/jaderna-energetika/jaderne-teplo-pro-ostравu-olomouc-a-zlin-567>
- [27] Nové palivo pro Temelín se v utajení dopravovalo po železnici - ŽelPage [www.zelpage.cz]. Aktuality a články – ŽelPage. [online]. Copyright © ŽelPage [cit. 04.02.2022]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/zpravy/5706>
- [28] Sklad vyhořelého paliva Dukovany - Sklady vyhořelého jaderného paliva - Jaderná zařízení - Jaderná bezpečnost - Úvod - SÚJB. Úvod - SÚJB [online]. [cit. 04.02.2022] Dostupné z: <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/sklady-vyhoreleho-jaderneho-paliva/sklad-vyhoreleho-paliva-dukovany>
- [29] MAŠATA, David a ŠKODA, Radek. TEPLATOR: ekologické a ekonomické zhodnocení jaderného bezemisního zdroje tepla. *All for power* [online]. Copyright © 2009 AF Power agency, 2021, 09.04.2021, **15**(1) [cit. 01.05.2022]. ISSN 1802-8535. Dostupné z: <https://allforpower.cz/jaderna-energetika/teplator-ekologicke-a-ekonomicke-zhodnoceni-jaderneho-bezemisniho-zdroje-tepla-364>

[30] Železniční mapa České republiky. [online] Copyright © Správa Železnic [cit. 20.02.2022]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/o-nas/zeleznici-mapy-cr>

[31] ČD CARGO – Tarif ČD Cargo pro rok 2022. ČD CARGO [online] Copyright © ČD Cargo, a.s. - člen skupiny České dráhy [cit. 01.05.2022]. Dostupné z: <https://www.cdcargo.cz/tvz>

[32] Jaderné úložiště do roku 2050 postavit lze. Oproti ostatním máme náskok, říká expert - Aktuálně.cz. Zprávy - Aktuálně.cz [online]. Copyright © [cit. 10.02.2022]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/evropsky-parlament/jaderne-uloziste/r~3dda640877a211ec8fa20cc47ab5f122/?fbclid=IwAR0Nop4RMB0PO4EVJvXqHc3nMNfYAhX029j1y6ssCsLgDrmJ-NWNZpihOfU>