

Metodika odhadov nákladov na likvidáciu jadrovej elektrárne v závislosti od doby jej bezpečného uzavretia

The method of cost estimates of nuclear power plant decommissioning with dependence on its safe storage with surveillance, Vol. 29, No. 1, 39–41, 1995.

The last phase of a nuclear power plant life cycle is the decommissioning process. The three stages of nuclear power plant decommissioning are defined by the International Atomic Energy Agency - safe storage with surveillance, restricted site use, and unrestricted site use. This article deals with the financial aspects of nuclear power plant decommissioning using a protection safe storage before their final liquidation. This alternative is possible in the world today. The authors propose a calculation method of safe storage with surveillance time and the related costs. This method can be used not only for nuclear power plants safe storage with surveillance, but also for their protective safe storage. The method used the primary optimization calculation with subsequent corrections and is applied using the sample of the Biblis A Nuclear Power Plant in the Federal Republic of Germany. Ways of increasing the accuracy of this method are discussed at the conclusion of the article.

V súčasnosti sa musí naša jadrová energetika zaoberať okrem iného aj problémom vyradovania starnúcich a zastaraných jadrových elektrární. Tieto otázky sa pri projektovaní JE, ktoré sú dnes v prevádzke, odsúvali do úzadia v nádeji, že kým tieto zariadenia doslúžia, vývoj materiálov a technológií postúpi tak, že konečná likvidácia už nebude problém.

Napriek tomu, že v niektorých krajinách už niekoľko jadrovo-energetických zariadení (JEZ) úspešne vyradili, v názoroch na tento problém vládne ešte určitá nejednotnosť. Boli to totiž zariadenia rôznej konštrukcie a do určitej miery šlo aj o overovanie nových metód a technológií likvidácie jednotlivých komponentov, teda o akýsi vývoj technológie konečnej likvidácie JEZ. Od prijateľného vyriešenia technického, bezpečnostného, ekologického, ale aj ekonomického hľadiska tohto problému závisí ďalší osud jadrovej energetiky.

Odhad nákladov na likvidáciu JE

Odhadnúť náklady spojené s vyradením JE z prevádzky treba najmä z týchto dôvodov:

- Vyradovanie JE z prevádzky je v súčasnosti aktuálne, preto treba pripraviť podmienky na jeho úspešnú realizáciu.
- Vyradovanie je poslednou fázou celkového životného cyklu JE a náklady naň treba odhadnúť už pri úvahách o výstavbe elektrárne. Len tak možno dopredu stanoviť potrebné množstvo finančných prostriedkov.

Vypracovať vierohodný odhad nákladov nie je jednoduché, vzhľadom na rozsah a zložitosť vykonávaných prác. Okrem toho existujú ďalšie faktory, ktoré môžu v každej krajine inak ovplyvniť konečnú výšku celkových nákladov a môžu sa ešte aj vzájomne ovplyvňovať. K takýmto faktorom patria:

- *spôsob prevádzky a dôvod odstavenia JE*, ktorý má vplyv na množstvo vyprodukovaných rádioaktívnych odpadov, na celkovú radiačnú situáciu, na množstvo vyrobenej energie, a teda aj na komerčnú úspešnosť JE,
- *aktivity technologických zariadení a radiačná situácia v priestoroch prevádzkovej JE*, pričom tieto údaje sa musia extrapolovať do doby odstavenia JE,
- *typ a konštrukcia jadrového reaktora a ostatného zariadenia reaktorového okruhu*, ktorý má vplyv hlavne na druh a množstvo aktivovaných a kontaminovaných materiálov,
- *bezpečnostné kritériá pre prácu s rádioaktívnymi látkami* (spracovanie, balenie, likvidácia a uvoľňovanie do životného prostredia),
- *cenové trendy materiálu, strojov a technológií*,
- *mzdové tarify*,
- *postup vlastného vyradovania JE z prevádzky*,
- *časový faktor*, keďže plánovaná životnosť JE je 25-40 rokov a vyradovanie z prevádzky môže trvať až 100 rokov,
- *makroekonomické faktory*, napr. vývoj inflácie, nominálnej a reálnej úrokovej miery, zmena daňovej politiky, fáza ekonomického cyklu,

- *prípadný vznik bavorských stavov počas vyradovania*, ktoré môžu zvýšiť náklady o 100 aj viac %, v závislosti od rozsahu ich následkov.

Vplyv niektorých faktorov možno eliminovať, niektoré sa dajú s určitou pravdepodobnosťou predvídať, ale vypracovať absolútne presný odhad nákladov nie je možné.

V krajinách s rozvinutým jadrovým priemyslom existujú počítačové programy na výpočet celkových nákladov. Vo všeobecnosti sú založené na rozdelení všetkých vykonávaných prác na jednotlivé elementárne úkony, ich ocenení a nasledujúcom sčítaní. Do týchto programov treba vložiť presné údaje o uvažovanej JE. Vstupné údaje sú roztriedené podľa určitých kritérií do viacerých súborov. To umožňuje vykonať jednoduchú modifikáciu výpočtu podľa skutočnej situácie a zároveň zistiť citlivosť celkových nákladov na zmenu vstupných údajov. Tieto programy umožňujú aj vypočítať finančné prostriedky na rôzne etapy likvidačných prác, vypočítať množstvo vznikajúcich odpadov, ožiarenie personálu, personálne náklady, náklady na dopravu a pod.

Podľa definície MAAE rozoznávame tri fázy likvidácie JE:

1. **fáza** - konzervácia JE so zachovaním dozoru (bezpečné uzavretie),
2. **fáza** - konzervácia JE s čiastočnou demontážou zariadenia

(ochranné uloženie),

3. **fáza** - konečná likvidácia, odstránenie JE a uvoľnenie jej lokality na neobmedzené využitie.

V súvislosti s tým sa uvažuje o dvoch variantoch likvidácie:

- Realizácia tretej fázy okamžite po ukončení prevádzky JE.
- Realizácia tretej fázy až po určitej dobe (dobe konzervácie), počas ktorej sa bude JE nachádzať v stave prvej alebo druhej fázy, príp. prvej a potom druhej fázy.

Pretože názvoslovie v tejto problematike zatiaľ nie je ustálené, treba definovať niektoré pojmy. „*Bezpečné uzavretie*“ (BU) znamená taký stav JE, keď:

- palivo je vyvezené do skladu vyhoreného paliva, prípadne mimo lokality JE,
- všetky predpísané zariadenia a koštrukcie nie sú zakonzervované, t. j. kontaminačné bariéry sú v rovnakom stave ako počas prevádzky JE, ale mechanické otvory sú trvale utesnené,
- je nainštalovaný potrebný monitorovací systém.

Celá stavba musí spĺňať všetky bezpečnostné normy a musí byť zabezpečená proti úniku rádioaktívnych látok do životného prostredia. Vykonávajú sa merania v predpísanom rozsahu, údržba, prípadne rekonštrukcia podľa potreby.

Tab. 1. Náklady na likvidáciu JE Biblis A v SRN (v cenovej úrovni r. 1988)

Nákladová položka	milióny DM		Funkcie extrapolovaných časových priebehov nákladov
	A	B	
Plánovanie a riadenie projektu	61,5	69,8	0,2862.r+61,2138
Povoľovacie procedúry, dane	12,9	16,5	0,1245.r+12,7755
Poistenie	2,1	8,8	0,2311.r+1,8689
Práce na lokalite	42,1	55,4	0,4586.r+41,6414
Radiačná ochrana	58,7	55,1	58,828.exp(-0,00212.r)
Dekontaminácia	36,7	30,1	36,951.exp(-0,00683.r)
Príprava bezpečného uzavretia	-	3,6	3,6
Odstraňovanie kontaminovaných zariadení	15,5	13,1	15,590.exp(-0,00580.r)
Odstraňovanie aktivovaných zariadení	15,9	15,1	15,928.exp(-0,00178.r)
Odstraňovanie biologického tienenia	2,8	2,6	2,871.exp(-0,00255.r)
Balenie RAO a ich konečné uloženie	111,2	78,1	112,563.exp(-0,01218.r)
Demolácia stavieb	24,9	24,9	24,9
Úprava pozemku	1,7	1,7	1,7
Príprava staveniska	0,5	4,4	4,4
Spolu	386,6	379,2	obr.1

A - okamžitá likvidácia, B - likvidácia po 30 rokoch bezpečného uzavretia, r - doba trvania bezpečného uzavretia (roky)

Navrhovaná metodika

V prípade, že sa JE bude likvidovať spôsobom, ktorý počíta s využitím BU, treba určiť dĺžku jeho trvania. Tento ukazovateľ má vplyv na pokles aktivity zariadení a stavebných konštrukcií, čo sa premietne aj do celkových nákladov na vyradenie JE z prevádzky. Navrhnutú metodiku určenia vhodnej dĺžky trvania BU možno použiť za týchto predpokladov:

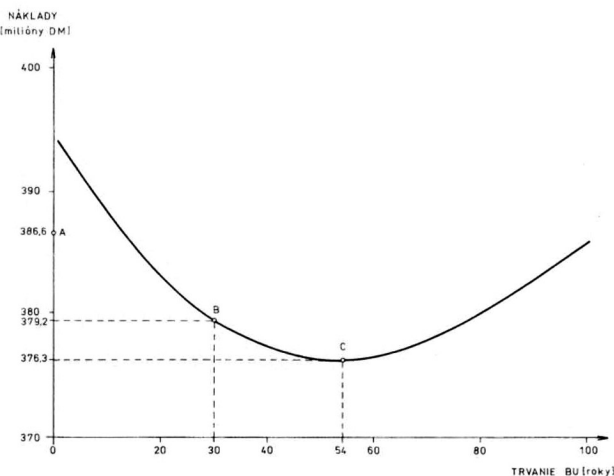
- existuje odhad nákladov na okamžitú likvidáciu,
- spracoval sa aspoň jeden odhad nákladov na likvidáciu s využitím BU,
- odhady boli spracované pre tú istú cenovú úroveň.

Táto metóda vychádza z existencie minimálne dvoch odhadov pre jednu JE. Celkové náklady sa rozdelia do skupín tak, aby sa dal predpokladať ich časový priebeh. Pritom treba brať do úvahy, že:

- náklady na likvidáciu aktivovaných a kontaminovaných zariadení a stavebných konštrukcií sa menia exponenciálne,
- náklady nezávislé od aktivity, ale závislé od času sa menia lineárne,
- náklady na likvidáciu a demoláciu neaktívnych zariadení a stavebných konštrukcií sú konštantné.

Pre každú skupinu nákladov tak dostaneme aspoň dva body, cez ktoré už možno preložiť krivku predpokladaného tvaru. Sčítaním všetkých kriviek dostaneme výsledný priebeh celkových nákladov na vyradenie JE z prevádzky. Pre názornosť uvádzame metódu aplikovanú pre JE Biblis A (SRN) s tlakovodným reaktorom o výkone 1200 MWe (obr. 1, tab. 1)

Navrhnutá metóda zohľadňuje reálny pokles nákladov závislých od aktivity (obr. 1). Predpokladaním exponenciálneho priebehu týchto položiek sa znížila presnosť v počiatočnej oblasti grafu. Priebeh sa nezačína nulovým, ale prvým rokom, pretože inak by nebolo možné extrapolovať exponenciálne krivky. V prvom roku sú už do celkových nákladov započítané i náklady na prípravu BU a staveniska, preto sa krivka nezačína v blízkosti bodu A (okamžitá demontáž), ale o niečo vyššie. Bod B reprezentuje náklady na likvidáciu JE po 30 rokoch BU (tab. 1), bod C je minimum extrapolovanej krivky. Vlastná okamžitá likvidácia JE môže trvať v závislosti od konkrétnych podmienok od 4 do 20 rokov. Z grafického priebehu sumárnej krivky časovej funkcie extrapolovaných nákladov vidno, že celkové náklady dosahujú minimum pri dĺžke trvania BU 54 rokov (bod C), čo je takmer dvakrát viac, ako sa predpokladá. Avšak úspora je v tomto prípade okolo 10,3 mil. DM, čo predstavuje necelé 3 % z celkových nákladov na okamžitú likvidáciu. Teda náklady na likvidáciu tejto JE nebudú s časom klesať tak výrazne, ako sa v minulosti predpokladalo. Z toho vyplýva, že pri rozhodovaní o spôsobe vyradovania JE z prevádzky nemusia mať ekonomické hľadiská prioritnú úlohu.



1. Závislosť nákladov na likvidáciu JE Biblis A od doby jej bezpečného uzavretia. A - náklady na okamžitú likvidáciu, B - náklady na likvidáciu JE po 30 rokoch bezpečného uzavretia, C - optimum - minimálne náklady.

Presnosť tejto metódy možno zvýšiť niekoľkými spôsobmi:

- Zvýšením počtu použitých odhadov pre rôzne dĺžky trvania BU.
- Zvýšením počtu sledovaných položiek. V limitnom prípade by to viedlo tak, ako v zahraničných počítačových programoch, k rozdeleniu likvidácie na jednotlivé elementárne operácie.
- Predpokladaním iných, presnejších časových priebehov pre jednotlivé nákladové položky.

Túto metodiku, ktorá má charakter prvotného optimalizačného výpočtu, s nasledujúcimi korekciami a spresnením, možno využiť nielen na odhad nákladov pri bezpečnom uzavretí JE, ale aj pri jej ochrannom uložení.

Literatúra

- Mareš, Z., 1990: Konečné vyřazování jaderných elektráren z provozu. Studie ÚJI Zbraslav.
- Míchal, V., 1993: Metodika optimalizace doby konzervace jaderné elektrárny před její konečnou likvidací. Bezpečnost jaderné energie, 5.
- Rajčok, M., Jančovič, P., 1992: Vyradovanie jadrových elektrární z prevádzky. Energetika, 9.
- Talapka, P., 1993: Rozpracovanie metodiky určenia nákladov na likvidáciu JE v závislosti od doby odstavenia elektrárne. Diplomová práca, EF STU Bratislava.