**Uran pro bezpečné dodávky jaderného paliva**

**RNDr. Jiří Slovák**

V návaznosti na státní energetickou politiku přijala v lednu 2019 vláda Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. Tento byl následně předložen Evropské komisi. V oblasti energetické bezpečnosti vychází Vnitrostátní plán zejména z cílů a politik obsažených ve schválené Státní energetické koncepci ČR. V rámci energetické bezpečnosti jsou za hlavní cíle označovány zvýšení diverzifikace energetického mixu, zachování soběstačnosti v zásobování elektřinou, zajištění dostatečnosti rozvoje energetické infrastruktury a významné **nezvyšování** dovozní závislosti. Konstatuje se přitom, že *„v případě dovozní závislosti bude s vysokou pravděpodobností docházet k postupnému zvyšování, a to v důsledku snížení využití domácího hnědého a černého uhlí a souvisejícího zvýšení dovážených energetických komodit“*.

Státní energetická koncepce předpokládá zajištění energetické bezpečnosti (tj. stabilních dodávek elektrické energie v síti) spolu s dosažením klimatických cílů kombinací obnovitelných zdrojů s dalším výkonnými bezemisními nebo nízko emisními zdroji. Těmito bezemisními či nízko emisními zdroji může být pouze jádro či vodní elektrárny. Nelze mezi toto zahrnovat zemní plyn, který současnou produkci CO2 v energetice snižuje pouze lokálně, přičemž další významné emise pouze přesouvá do místa jeho těžby. Z hlediska soběstačnosti dodávek z jaderných zdrojů je tedy namístě se zabývat otázkou, jak je na tom Česká republika se soběstačností či s potenciální dovozní závislostí pro dlouhodobý provoz jaderných elektráren, bezpochyby dlouhodobě stabilní klíčový zdroj bezpečné energetiky. Provoz dnešních jaderných elektráren se plánuje na 50–60 let a nových na 80 i 100 let. A co se během této doby může geopoliticky přihodit, to si jistě všichni dokážeme představit. Cílem tohoto článku je přiblížit veřejnosti, jak je jaderné palivo pro provoz jaderných elektráren obecně zajišťováno, jaké problémy je při tom třeba řešit, či s jakými problémy je třeba počítat, má-li být výroba energie v jaderných elektrárnách dostatečně bezpečná a současně ekonomicky efektivní a geo-politicky odolná.

**Od uranové rudy k jadernému palivu**

Cesta uranu jako jaderného paliva do jaderné elektrárny není tak jednoduchá jako v případě uhlí či zemního plynu. Dalo by se říct (a odborníci mi snad prominou toto laické přirovnání), že je třeba ze suroviny vytěžené obdobně jako uhlí či zemní plyn vytvořit **hi-tech palivový článek**, kde uran je uzavřen v technologicky velmi vyspělém souboru, umožňujícímu vložení do reaktoru, kde 3-4 roky bude bezpečně vyrábět tepelnou energii (ohřívat vodu), aby následně byl vyjmut a jednou buď přepracován, nebo uložen zpět hluboko pod zem v hlubinném úložišti. Přitom po celou dobu až ke konečnému uložení musí být v takovém stavu, aby s ním mohlo být bezpečně manipulováno, aniž by nebylo ohroženo nejen životní prostředí, ale především člověk, který v jeho nejbližším okolí pracuje.

Jaderné palivo se z vytěženého uranu stane po složitém technologickém, fyzikálně chemickém procesu, probíhajícím v podstatě ve čtyřech fázích: **(1) Výroba uranového koncentrátu** z vytěžené uranové rudy, **(2) Konverze uranu** chemickou cestou na vysoce čistý fluorid uranu UF6, **(3) Obohacení** uranu na 3-5% U235 **(4) Zpětná konverze** na kysličník uranu (nebo jinou formu) a konečně **(5) Fabrikace** – výroba vysoce tepelně odolných keramických palivových tablet (pelet) a jejich kompletace do palivového článku jaderného paliva.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Uranová ruda (Smolinec); Zdroj: DIAMO | https://www.diamo.cz/storage/app/media/obr/odstepne-zavody/GEAM/10uranovy20koncentrat-0-0-0-0-1514893184.jpg | Zobrazit zdrojový obrázek |
| ***Uranová ruda – smolinec, zdroj DIAMO, s.p.*** | ***Uranový koncentrát,***  ***zdroj DIAMO, s.p.*** | ***Řez palivovým článkem firmy Tvel,***  ***zdroj Tvel*** |

Hned úvodem je třeba zmínit, že pouze první proces, těžba uranu a výroba uranového koncentrátu, probíhá (stále ještě) na území ČR. Všechny ostatní procesy se realizují v zahraničí. Pouze v případě poslední fáze – fabrikace palivových pelet a kompletace palivových článků, existuje v ČR odpovídající know-how, potenciálně umožňující finální kompletaci palivových článků na našem území. Na zbylých fázích ale jistě existuje možnost participace díky našemu dlouholetému jadernému výzkumu, což se také děje. Právě dlouholetý jaderný výzkum a vývoj nám mimo jiné pomáhá nejen garantovat provozní bezpečnost jaderné energetiky, ale být i oporou pro zajištění bezpečnosti dodávek jaderného paliva.

**Uran a jeho těžba**

Těžba uranu měla na území ČR dlouholetou historii, jejíž počátky sahají až do 16. století. Největšího rozmachu se však dočkala v období po druhé světové válce, kdy s rozvojem jaderné energetiky a zejména masivní produkcí nukleárních zbraní prudce vzrostla celosvětová poptávka po uranu. Během druhé poloviny 20. století se z tehdejšího Československa stala uranová velmoc. O významu českého uranu hovoří i fakt, že se Česko, navzdory své velikosti, zařadilo do první desítky zemí s největší produkcí uranu. Do roku 2007 bylo v českých dolech vytěženo více než 110 tisíc tun uranu. Ještě v roce 1990 jsme těžili více než 2 tisíce tun uranu a patřili jsme do „klubu“ deseti největších světových producentů uranu. Následoval útlum uranového hornictví především z environmentálních, ale také z ekonomických důvodů. Přesto těžba pokračovala až do roku 2017, kdy došlo k ukončení komerční těžby uranu na dole Rožná.

|  |
| --- |
|  |
| ***Produkce uranu (kovu) v ČR v letech 1989 – 2016 (tis. tun), z****droj: MPO, ČGS* |

Co se týče dalších zemí Evropské unie, klasická těžba uranové rudy dnes probíhá pouze v Rumunsku, ale i zde končí. Nově se připravuje v rámci EÚ těžba ve Finsku. Státní společností Terrafame zde získala (únor 2020) první z potřebných licencí pro výrobu uranového koncentrátu jako vedlejšího produktu těžby zinku a niklu na ložisku Sotkamo na severovýchodě Finska. Společnost očekává zahájení provozu výroby uranového koncentrátu za cca 2 roky, s roční produkcí 200-250 tun uranu v uranovém koncentrátu, což je přibližně 1/3 současné potřeby pro jaderné palivo finských jaderných elektráren.

|  |
| --- |
|  |
| ***Zařízení pro získávání uranového koncentrátu z odpadních roztoků po těžbě Zn-Ni rud patřící státní společnosti Terrafame (Zdroj: Terrafame)*** |

Česká republika v evropském měřítku stále disponuje významnými zásobami uranu, což je strategickou výhodou ve srovnání s okolními zeměmi. Další výhodou je, že ČR doposud disponuje prověřenými technologiemi, znalostmi a odborníky v oblasti těžby a úpravy uranové rudy, včetně eliminace dopadů na životní prostředí. Poslední uranová ruda byla v ČR do počátku roku 2017 těžena klasickým hornickým způsobem na hlubinném ložisku Rožná. Vytěžená ruda byla upravována do podoby konečného produktu tzv. „yellow cake“, což je koncentrát oxidů uranu, který je výchozí surovinou pro výrobu obohaceného uranu. Po obohacení českého uranu v zahraničí pokrývalo toto přepracované množství částečně domácí spotřebu jaderného paliva. Menší část produkovaného uranu je získávána čištěním vod a zbytkových technologických roztoků v rámci prováděných sanačních a rekultivačních prací na v minulosti těženém ložisku Stráž pod Ralskem a na dalších lokalitách.

S přihlédnutím k současným cenám uranu na světových komoditních burzách lze konstatovat, že za současných podmínek není těžba uranu na území ČR rentabilní nebo je na její hranici. Vzhledem k tomu, že uran je celosvětově strategická energetická surovina a že nelze ve střednědobém horizontu odhadovat vývoj světové poptávky po této surovině, je nezbytné, aby stát pomocí legislativních nástrojů aktivně dbal o ochranu těchto ložisek tak, aby mohla být v případě potřeba v budoucnosti obnovena.

Jinou otázkou, a pro budoucí potenciální obnovení těžby velmi důležitou, je otázka udržení si technologického know–how, nezbytného pro takovéto budoucí obnovení těžby a výroby uranového koncentrátu. Současný vývoj ve světě ukazuje, jak lze transferovat jedinečné know–how napříč dekádami. Velké společnosti jdou cestou akvizic a participací na otvírce a těžbě ložisek ve světě. Tímto směrem se ubírá především francouzská státní firma ORANO, která navazuje na jedna ze světově největších firem produkujících uranový koncentrát, Cogema. ORANO se svou akviziční činností podílí na těžbě rud a výrobě uranového koncentrátu ve světě, především v Kanadě, Kazachstánu a Nigeru. Nově například společnost ORANO podepsala dohodu o společné těžbě uranu s uzbeckou státní společností GoscomGeo, má své akvizice v dalších středoasijských zemích a v Africe. Druhou cestou může být participace na sanačních činnostech, souvisejících s odstraňování následků historických těžeb na životní prostředí a získávání uranu jako vedlejšího produktu sanace starých odvalů a čištění důlních vod. A v této oblasti ČR disponuje jedinečnými zkušenostmi z posledních 30 let. Nejedná se jen o rekultivaci území, ale především o technologiích čištění důlních vod, majících charakter kompaktních zařízení či instalací téměř mobilního charakteru. Úspěšné sanace a navrácení těžených lokalit pro další využití, spolu s participací na těžbě v zahraničí a výzkum a vývoj pokročilých environmentálně šetrných technologií, může být cestou k návratu k ekologicky přijatelné těžbě našich ložisek, pokud by to bylo jednou potřebné. I v oblasti sanací existují oblasti, kde je potenciál pro zahraniční akvizice či spolupráci. Jsou to nejen středoasijské země, Kyrgyzstán, zmíněný Uzbekistán, ale třeba i Srbsko, či další středo či východoevropské země, Rumunsko, Bulharsko a v budoucnosti především Ukrajina.

**Kde jsou naše ložiska uranu**

Největší prozkoumané zásoby uranových rud sedimentárního typu se nacházejí v oblasti severočeské křídy na ložiscích Hamr na Jezeře, Stráž pod Ralskem, Osečná-Kotel a Břevniště a vyhledané zásoby na ložiscích Hvězdov a Holičky. Je však třeba uvést, že v naprosté většině se jedná v současné době o zdroje pod hranicí ekonomické přijatelnosti. Využití ložisek v oblasti severočeské křídy je pak především komplikováno faktem, že zatím neexistuje schválená, ekologicky přijatelná těžební technologie. Využití chemického loužení in situ, je díky potenciálnímu ohrožení zásob pozemních vod v našich podmínkách neakceptovatelné, přestože se ve světě touto metodou těží více než polovina světové produkce uranu.

Další ložisko uranu Brzkov – Horní Věžnice, které je podobného charakteru jako do nedávna těžené ložisko Rožná, se nachází na Vysočině. Mezi doposud evidovanými ložisky dle ČGS je ještě dnes už opuštěné ložisko Jasenice – Pucov, také na Vysočině.

Celkem v ČR je evidováno 7 ložisek s celkovými (bilančními i nebilančními) zásobami téměř 135 tis. t uranu. Z pohledu očekávané potřeby uranu pro provoz jaderných elektráren dle SEK, tj. prostá náhrada čtyř bloků JE Dukovany a dostavba dvou bloků JE Temelín, se bude roční potřeba uranu k zajištění jejich provozu pohybovat mezi 685 – 700 tunami a po roce 2040, při maximálním scénáři, až 895 tunami U (NEA/OECD- Nuclear Energy Data, 2019). Bilanční zásoby uranu by tak vystačili na příštích 30 let provozu jádra, veškeré zásoby by pak mohly vydržet bez problémů na provoz JE na příštích 150 – 200 let. Otázkou přirozeně je, za kolik? Garantem dostatečných ekonomicky přijatelných zdrojů uranu pro potřeby naší jaderné energetiky je tak celosvětový trh.

|  |
| --- |
|  |
| ***Uran – Evidovaná ložiska a ostatní zdroje České republiky – stav 2018 (zdroj ČGS)***  *(1) Rožná, (2) Brzkov, (3) Břevniště, (4) Hamr na Jezeře, (5) Jasenice-Pucov, (6) Osečná-Kotel, (7) Stráž pod Ralskem* |



**Současná těžba uranu ve světě a očekávaný výhled**

Dle údajů NEA/OECD ale i Worl Nuclear Association (WNA) se celosvětová produkce uranu z těžby ložisek pohybuje v posledních deseti letech na úrovni 50 – 62 tis. t. (viz tabulka). Těžba pokrývá poptávku dlouhodobě v rozmezí 85 až 95 %. Zbytek je pokrýván uranem jako vedlejším produktem těžby jiných surovin, či z čištění důlních vod, případně dalšími zdroji jako například z likvidace jaderných zbraní. Současní největší producenti v Kazachstánu, Kanadě, Austrálii a Namibii jsou schopni výkyvy v poptávce pokrýt operativním zvýšením své produkce. Cena na trhu je tak udržována na relativně stabilní úrovni. Dlouhodobě stabilní cena komodity na trhu ale není příznivá pro investice do průzkumu nových ložisek, či otvírky nových těžebních lokalit, obzvláště těch, jejichž kovnatost a rentabilita je těsně nad hranicí ekonomické návratnosti. Je to dáno také skutečností, že současných více než 50 % světové těžby uranu je vysoce koncentrováno a produkováno z 10 ložisek ve 4 zemích. Kazachstán, Kanada, Austrálie a Namibie v současnosti dodávají na trh přes 75 % světové produkce uranu. Těžba v těchto zemích je zajišťována několika málo společnostmi, ve dvou případech státními – Kazatprom a ORANO. Je to další z faktorů ovlivňujících potenciální otvírku nových ložisek, která by se tak vyplatila pouze v případě zjištěných ekonomicky velmi výhodných zásob.

Surovinová politika ČR na tuto situaci reaguje, a proto současná strategie v oblasti těžby uranu a dalšího využívání domácích zdrojů uranové rudy jako vysoce strategické suroviny je postavena na třech vzájemně navazujících krocích:

1. **Dotěžení ekonomicky využitelných zásob na těženém ložisku Rožná** do konce roku 2017 (toto proběhlo).
2. **Vytipovat nejvhodnější náhradní lokalitu** (mimo oblast severočeské křídy), zpracovat pro ni předběžnou studii proveditelnosti, studii ekonomické vytěžitelnosti a hodnocení dopadů na životní prostředí a zvážit účelnost provedení geologického průzkumu takto vybraného ložiska (je v řešení).
3. Získaný časový prostor (cca 25 až 30 let) využít pro **vědecký výzkum báňských a úpravárenských technologií,** které by umožnily v budoucnu komplexně využít bilanční zásoby uranové rudy v oblasti severočeské křídy způsobem, který by eliminoval negativní vlivy na životní prostředí (zatím nerealizováno)

Za současné situace je pro Českou republiku důležité, jak udržet know-how v oboru environmentálně akceptovatelné uranové těžby. Zavazuje nás k tomu jak historická role naší země v produkci této strategické suroviny v minulosti a existence nemalých zásob uranu na našem území, tak především know-how získané v souvislosti s eliminací dopadů minulých těžebních činností na životní prostředí. Příležitosti k tomuto uplatnění ve světě existují. Příkladem nám může být jak ORANO, tak i nejčerstvější aktivity finské společnosti Terrafame.

|  |
| --- |
|  |
| ***Zdroj – ČGS -*** [***http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/surovinove-zdroje-ceske-republiky-2019.pdf***](http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/surovinove-zdroje-ceske-republiky-2019.pdf) |



|  |
| --- |
|  |
| [***https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx***](https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx) |

**Konverze, obohacení, zpětná konverze a fabrikace**

Jak už jsem zmínil v úvodu, tato část zpracování uranu do finální podoby jaderného paliva není realizována na našem území.

Konverze a obohacení jsou technologicky velmi propracované procesy, které z produktu těžby uranu – žlutého koláče, vytváří konečnou surovinu pro finální výrobu palivových tablet. Uranový koncentrát obsahuje nečistoty, závislé na druhu zpravované rudy, konkrétního ložiska i technologie zpravování rudy. K výrobě finálního jaderného paliva se ale vyžaduje vysoká čistota a stabilní chemické složení. Proto se na počátku uranový koncentrát chemicky čistí a konvertuje na fluorid uranu UF6, který je potřebný pro následný proces obohacení.

Převážná většina všech jaderných energetických reaktorů vyžaduje „obohacené“ uranové palivo, ve kterém byl podíl izotopu U235 na úkor izotopu U238 zvýšen z přirozené úrovně z 0,7% na přibližně 3,5% až 5%. K proces obohacování musí být uran v plynné formě a k tomu se právě využívá UF6 - hexafluorid uranu. Dnešní obohacovací zařízení používá odstředivkový proces s tisíci rychle se točícími vertikálními odstředivkami nebo proces difusní. Jako velmi slibná se jeví nová technologie laserového obohacování. Malý počet reaktorů, zejména kanadské reaktory CANDU, nevyžadují obohacování uranu.

Komerční konverzní závody fungují v USA, Kanadě, Francii, Rusku a Číně. Největším závodem je Comurhex ve Francii, patřící společnosti ORANO. Nové kapacity postupně vznikají v Číně.

K fabrikaci, finální výrobě jaderného paliva je nejdříve obohacený UF6 zpětně konvertován na vysoce čistý, práškový oxid uraničitý. Tento prášek má vysokou teplotu tavení a další fyzikální vlastnosti příznivé z hlediska namáhání po dobu provozu v jaderném reaktoru.

Největší dekonverzní zařízení s kapacitou 20 000 t / rok provozuje ORANO ve francouzském Tricastinu. Další jsou v USA, v Ruské federaci (TENEX), Urenco ve Velké Británii.

Finální výroba jaderného paliva – fabrikace, je posledním krokem v procesu změny uranu na jaderné palivo. Tato transformace je absolutně odlišná od rafinace a přípravy fosilních paliv ke spalování v konvenční elektrárně. Je to výroba „high-tech“ komponentů reaktoru. V procesu fabrikace se práškový UO2 lisuje do formy malých palivových pelet a následně tepelně spéká při vysokých teplotách 1700 – 1800 oC do velmi odolného keramického materiálu. Pelety se potom brousí a vkládají se do tenkých hermetických obalů – proutků z tenkých, vysoce odolných slitin Zr s povlakem niobu či jiných legovacích kovů. Z jednotlivých proutků se pak sestavuje palivový soubor – palivový článek.

Palivové soubory jsou speciálně navrženy pro konkrétní typy reaktorů a jsou vyrobeny podle přísných norem. Současným trendem výrobců a provozovatelů elektráren je spolupráce s cílem výrazně zlepšit výkonnost paliva a současně zvýšit odolnost vůči nehodám, včetně těch nejvážnějších se ztrátou chladiva reaktoru. Zatímco veškeré v současné době používané palivo je na bázi oxidů, výzkum a vývoj je zaměřen na vývoj kovového paliva, či paliva na bázi nitridů a případné další formy. První moderní kovové palivo by mělo být v nejbližší budoucnosti zkoušeno v komerčních reaktorech.

Závěrečná fáze výroby jaderného paliva je tak jednou z nejnáročnějších. Je to velmi přesná a velmi čistá strojírenská výroba. Postupná zlepšení užitných vlastností je závislá na provozních zkušenostech a možnostech testování ve zkušebních ale i provozních podmínkách. Od kvality jaderného paliva právě v závěrečné fázi jeho výroby se odvíjí provozní spolehlivost a efektivita vlastní výroby v jaderném reaktoru, tedy ty nedůležitější parametry, které zajímají provozovatele.

Příkladem, jak se k problematice zajištění jaderného paliva chovají země s menším jaderným programem, může být třeba Švédsko. Dle veřejně dostupných údajů na WNA je tato země plným importérem jaderného paliva včetně obohacování. V případě jaderné elektrárny Forsmark jsou jejími dodavateli pro obohacení - 20% Eurodif, 60% Urenco, 20% Tenex. Vedle toho ve Švédsku je sídlo výrobce jaderného paliva Westinghouse, s roční produkcí 400 t BWR a PWR paliva. Přesto provozovatel švédských jaderných elektráren Vattenfal používá k fabrikaci jak Westinghouse, tak zařízení Areva/ORANO ve Francii a TVEL v Ruské federaci. Klíčové je kvalita a na ni velmi úzce závislá bezpečnost provozu a výkonová efektivita. Vše oproštěno od politických vlivů.

**World Primary Conversion Capacity 2019**

| Company | Country | Location | Nameplate capacity (tU) | Capacity utilization (%) | Capacity utilization (tU) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ORANO | France | Pierrelatte, Malvesi | 15,000 | 17%\* | 2500 |
| CNNC | China | Lanzhou & Hengyang | 15,000 | 67% | 10,000 |
| Cameco | Canada | Port Hope | 12,500 | 80% | 10,000 |
| Rosatom | Russia | Seversk | 12,500 | 96% | 12,000 |
| ConverDyn | USA | Metropolis | 7000 | 0% | 0 |
| **Total** |  |  | **62,000** |  | **34,500** |
| ***Zdroj: World Nuclear Association Nuclear Fuel Report 2019*** | | | | | |

**Závěr**

Zajištění dodávek jaderného paliva v ČR je dnes závislé na světovém trhu. Ten se jeví jako stabilní, výhledově s dostatečnými zdroji uranu jak v těžbě, kapacitách ke konverzi, obohacování i konečné fabrikace, tedy výrobě palivových článků. Vedle toho ČR disponuje jak ověřenými zásobami uranu v ložiscích, byť v některých případech problematicky těžitelnými současnými technologiemi. Disponujeme rovněž těžebním a úpravárenským know-how, ale také novými zkušenostmi a znalostmi, jak eliminovat negativní dopady těžby na životní prostředí. A to by měla být příležitost k uplatnění na mezinárodním trhu. Je proto na místě se zabývat možnostmi získání uranu jako vedlejšího produktu sanace a čištění důlních vod nejen v ČR ale i jinde ve světě. Také technologie těžby uranu doznávají ve světě změn. Proto je na místě i orientovat výzkum a vývoj do této oblasti a neztrácet tak kontakt se světem. To, že jsme do poloviny devadesátých let patřili mezi desítku největších producentů uranu v uranovém koncentrátu, že náš „žlutý koláč“ patřil k těm nejkvalitnějším, by mělo být výzvou k navázání na tuto tradici. Uplatnění našeho know-how ve světě, k tomu odpovídající cílený výzkum a vývoj by mělo být dobrým základem k budoucímu návratu k efektivní a pro životní prostředí akceptovatelné těžbě naších ložisek, a tedy i potenciální garancí, že naše jaderné elektrárny nebudou mít z čeho vyrábět.

**Zdroje:**

<https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2019/7474-ned-2019.pdf>

<https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx>

<https://www.terrafame.com/news-from-the-mine/news/2020/02/government-grants-uranium-recovery-permit-to-terrafame.html>

<http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/surovinove-zdroje-ceske-republiky-2019.pdf>

**RNDr. Jiří Slovák**

Je expertem v oblasti přední a zadní části jaderného palivového cyklu, s dlouholetými odbornými zkušenostmi v oblastech těžby a zpracování uranových rud, zpracování a ukládání radioaktivních odpadů a přepracování a bezpečného ukládání vyhořelého jaderného paliva.

Vystudoval obor základní a ložisková geologie na přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně, kde v roce 1985 složil rigorózní zkoušku z geochemie a ložiskové geologie.

Absolvoval krátkodobé manažerské a tréninkové kurzy v oblasti projektového managementu (Tucson, USA – AZ), managementu nakládání s důlními vodami (Lisabon, Portugalsko), a managementu a metodologie zajištění hlubinného úložiště vyhořelého jaderného paliva (IAEA / DOE – Las Vegas, USA – NM).

V letec 1983 do 1997 pracoval ve státním podniku DIAMO, od r. 1994 ve funkci náměstka ředitele státního podniku pro ekologii. Působil rovněž jako expert při posuzování projektů PHARE zaměřených na oblast sanací po těžbě uranu v zemích CEEC (Central and Eastern European Countries).

V letech 1997 – 2002 pracoval v Ústavu jaderného výzkumu Řež, a.s. ve funkci ředitele divize chemie palivového cyklu, kde se mimo jiné podílel na koordinaci přípravy Koncepce nakládání s RAO a VJP v ČR a na koordinaci celé řady výzkumných a vývojových projektů v oblastech přepracování a ukládání vyhořelého jaderného paliva, úpravy radioaktivních odpadů a jejich bezpečného ukládání.

V letech 2002 – 2006 pracoval ve společnost AQUATEST a.s. jako obchodní ředitel společnosti a ředitel pro výzkum a vývoj. V této době přímo řídil projekt GeoBariéra, jehož výsledkem bylo zúžení kandidátních lokalit potenciálně vhodných pro budoucí hlubinné úložiště VJP.

V roce 2007 pracoval jako vědecký pracovník a manažer výzkumných programů v ČVUT, v Centru experimentální geotechniky. Mimo jiné řídil projekt výstavby Podzemního výzkumného centra URC Josef – Underground Research Centre Josef.

Od roku 2008 pracoval ve Správě úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO), s přímou odpovědností za přípravu hlubinného úložiště, koordinaci výzkumných a vývojových aktivit v oblasti ukládání radioaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva a za přípravu Podzemního výzkumného pracoviště Bukov. V období 6/2014–2/2019 byl ředitelem SÚRAO.

V současné době (od 5/2019) pracuje v Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace při Technické univerzitě v Liberci, jako manažer mezioborových výzkumných projektů.

Je členem HK ČR – OHK Most a členem Správní rady ČVUT.