

Systémová analýza provozu energetické soustavy Dukovany – Dalešice a impaktů do okolní krajiny

Mojmír Hrádek

hradek@geonika.cz

Ústav geoniky AV ČR, Drobného 28, 602 00 Brno

Energetická soustava Dukovany – Dalešice, situovaná v jv. pahorkatinné části okraje Českého masivu, se skládá z jaderné elektrárny Dukovany (JE) a z přečerpávací vodní elektrárny Dalešice (PVE). Výstavba jaderné elektrárny byla započata v roce 1974, do provozu byla uváděna od roku 1985. Provoz jaderné elektrárny je zcela závislý na přívodu vody z nádrže PVE. Ta byla vybudována před dokončením jaderné elektrárny a využívána v době energetických špiček. JE a PVE spolu vytvářejí energetickou soustavu, která se podílí více než 20 % na výrobě elektrické energie v ČR. Jaderná elektrárna VVER 440–V213 s osmi chladícími věžemi, s meziskladem vyhořelého paliva a dalšími zařízeními nezbytnými k jejímu provozu zabírá plochu více než 100 ha, obě přehradní nádrže vyplňují hluboké údolí řeky Jihlavy v délce přes 25 km.

Energetická soustava se nachází 30 km z. od Brna, v jv. části Českomoravské vrchoviny. Do členité pahorkatiny o střední výšce cca 400 m je v metamorfovaných horninách zaříznuto až 150 m hluboké údolí řeky Jihlavy se zakleslými meandry. Jaderná elektrárna je vybudována na plochem povrchu širokého hřbetu. Hluboké údolí tvoří spolu s plochým rozvodím otevřený kaskádový systém složený z řetězce subsystémů hydrologického cyklu a gravitací řízených svahových procesů, charakterizovaný průchodem hmoty a energie (srov. CHORLEY, KENNEDY, 1971). Před vznikem energetické soustavy zahrnoval tento hierarchický systém řadu morfologických proměnných vázaných na sklony svahů, vlastnosti puklinových systémů, infiltrační schopnosti sutí, pohybu hmoty od okrajů plošin do údolí. Morfologické parametry hlubokých údolí generují stav nestability se zpětnými vazbami, které dlouhodobě vedou k vytvoření nové rovnováhy.

Energetickou soustavu Dukovany – Dalešice tvoří PVE Dalešice s vyrovnávací nádrží a JE Dukovany. Výstavba atomové elektrárny ve vrcholové části Dukovanské elevace byla spojena s vybudováním staveniště o rozloze 76,2 ha, s likvidací tří obcí ležících v areálu JE, s vybudováním čerpací stanice ve vyrovnávací nádrži, vodojemu, čistící stanice odpadních vod (1,6 ha), rozvodny elektrického proudu (9,2 ha), úložiště neaktivních kalů (1,6 ha) a dalších objektů (komunikace, sítě). Po roce 1995 byl v areálu JE vybudován ještě mezisklad vyhořelého paliva. Hráže PVE byly vybudovány z místního materiálu.

Energetická soustava představuje otevřený technogenní kaskádový systém tvořený subsystémy PVE a JE, spojených vstupy a výstupy hmoty a energie.

Kromě vstupu uranového paliva nutného k provozu reaktoru je k chodu energetické soustavy potřebný i dostatek vody. Jednak k výrobě elektrické energie v PVE, jednak k provozu reaktoru v jeho vnitřním chladícím systému. Voda z říčního geosystému a uranové palivo jsou proto hlavními vstupy do umělého systému, vedlejším je stavební materiál z blízkého okolí. Hlavním výstupem ze systému je elektrická energie, vedlejšími odpadní voda a stavební suť. Technogenní kaskádový systém energetické soustavy prostupuje přírodním kaskádovým údolním systémem. Výsledný systém má znaky systému procesu a odezvy s kaskádami hmoty a energie, s řadou morfologických vlastností údolního i plošinného geosystému. Některé výstupy při vzniku a provozu umělého systému zasáhly vnitřní strukturu přírodních morfologických systémů. Narušení korelačních vazeb některých morfologických parametrů a prahů kaskádových subsystémů vyvolalo odezvy – impakty, mj. i do reliéfu okolní krajiny. V průběhu její transformace vznikly některé umělé tvary reliéfu a byl ovlivněn průběh procesů, jak hydrologického cyklu tak řízených gravitací.

Při analýze impaktů byly rozlišeny impakty (antropogenní transformace) přímé – vyvolané primárně výstupy technogenního subsystému – buď jako umělé útvary (hráze, budovy) nebo antropogenní tvary reliéfu (stavební plošiny) a impakty nepřímé vzniklé sekundárně v odezvě přírodního systému na impakty přímé, ovlivňující zejména přírodní – morfologické procesy.

Mezi přímé impakty náleží výstavba samotné JE s řadou dalších zařízení a vybudování přehradních nádrží. Většina změn vznikla již během výstavby objektů, další souvisejí s jejich provozem.

Při výstavbě JE Dukovany došlo k degradaci a agradaci povrchu. Byly vytvořeny čtyři výškově málo odlišné stavební plošiny se základovými jámami pro uložení reaktoru. Ornice ze skrývek byla uložena na skládkách. Celkem bylo na staveništi elektrárny přemístěno $124\,667\text{m}^3$ ornice a $57\,174\text{m}^3$ podornice. Část materiálu skládek byla použita na rekultivace, zbývající část nadále zůstává uložena v sousedství elektrárny. Zemina ze základových jam byla použita spolu se stavební sutí na vyrovnání okolního terénu, zejména v prostoru údolních uzávěrů místních potoků, další část zeminy byla využita na rekultivace. Celkem bylo ze staveniště elektrárny přemístěno $3\,383\,000\text{m}^3$. Také materiál demolice tří zlikvidovaných obcí ležících v areálu JE byl použit na vyrovnání terénu. Stavební suť a vytěžená zemina tvoří vrstvu až 7 m mocnou. Pramenné úseky tří potoků byly svedeny pod zem do potrubí. Na navážkách vznikl umělý, plochý až mírně svažité terén. Na agradaci zvýšené plochy byla navezena ornice a po provedení meliorací byly vráceny k zemědělskému využívání.

Objem skládek ornice v sousedství elektrárny činil $182\,000\text{m}^3$. Část této ornice dosud leží na místě ve tvaru až 5 m vysokých hald na okraji plošiny.

Deponovaná ornice, zemina ze základových jam a stavební sut z likvidovaných obcí jsou vedlejším výstupem subsystému JE do reliéfu krajiny a jeho přímým impaktem.

Vyhořelé palivo je do doby vybudování trvalého úložiště uloženo ve speciálních kontejnerech v objektu skladu v areálu JE. Při bezpečném uložení nezpůsobuje vyhořelé palivo žádný impakt do krajiny. Tzv. neaktivní kaly z období výstavby JE Dukovany a počátku provozu byly ukládány nejprve do objektů opuštěných pískoven v okolí. Po dokončení JE bylo vybudováno trvalé úložiště u Dukovan, které je dobře zabezpečeno jak proti vniknutí srážkových vod tak únikem odpadů do okolní krajiny.

Důležitým článkem spojujícím subsystém údolních nádrží s JE je zařízení pro přívod užitkové vody do chladicího okruhu reaktoru a odvádění odpadní vody. Součástí tohoto spojení je čerpací stanice, vodojem užitkové vody a čistírna odpadních vod. Čerpací stanice byla vybudována na břehu vyrovnávací nádrže při ústí potoka, kterým je odpadní voda vracena zpět do nádrže. Přívod vody trubním systémem jako vstup do JE nevyvolává v krajině žádné impakty.

Vypouštění odpadní vody do nádrže Mohelno náleží mezi významné výstupy JE. Při vypouštění musí voda překonat lokální výškový rozdíl hloubky údolí, cca 100 m. K úpravě vod z kanalizačních sběračů i dešťových vod byla vybudována čistící stanice, původně se dvěma nádržemi o rozloze 1,6 ha. Z čistících nádrží se voda odváděla povrchovým odvodňovacím žlabem o spádu 33 % a se zrychlením 4,9 m/sec do potoka v ročním množství max. $150.10 \text{ m}^3/\text{s}$, v roce 1995 byla přistavěna třetí nádrž k regulaci vypouštěné vody. Kapacita koryta potoka byla vymezena stoletou vodou s průtokem $33 \text{ m}^3/\text{s}$. Srážkové vody z areálu JE jsou odváděny kanalizačním potrubím do říční sítě v maximální kapacitě $120.10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Přehradní nádrž Dalešice s PVE a vyrovnávací nádrží Mohelno má nejvyšší rokfilovou hráz v ČR. Její výška dosahuje 100 m^3 a zadržuje vodu o objemu 127 mil. m^3 . Délka přehradního jezera dosahuje 22 km. Vyrovnávací nádrž má betonovou hráz 48 m vysokou a s délkou nádrže 7 km zadržuje objem vody 17,1 mil. m^3 .

Nepřímé impakty do reliéfu krajiny vznikají jako bezprostřední odezva impaktů přímých. Tak agradace povrchu stavební sutí a haldami ornice v okolí JE vyvolává některé nežádoucí účinky. Na dlouhodobě zatížených plochách dochází k zhutňování plošinových a svahových hlín a k vytlačování a vztlaku podzemní vody k povrchu a zamokřování okolí. Je to zejména pod skládkami ornice, kde nebyly provedeny meliorace. V době tání sněhu a během dešťů přispívá tato podzemní voda ke vzniku erozních jevů.

Většina odpadních vod z čistírny odpadních vod JE byla vypouštěna korytem Skryjského potoka do vyrovnávací nádrže v údolí Jihlavy. Při objemu odpadních vod cca 16,2–20,9 mil. m^3/rok , odtéká jeho korytem většina tohoto objemu. Horní úsek koryta byl pokryt betonovými žlaby. Při

sklonu koryta cca 5° dosahuje rychlost proudící vody cca $4\text{--}5 \text{ m/s}^{-1}$ při průměrném průtoku 468 l.s^{-1} . Z důvodu vysokého zrychlení byly zkoumány účinky korytové eroze v přírodním balvanitém korytě v úseku pod betonovými žlaby. Vzhledem k obnažení kořenů stromů po stranách koryta se usuzovalo spíše na účinky boční eroze. Obsah suspendovaných částic ve žlabu a v přírodním korytě se však příliš nelišil proto se předpokládala minimální eroze a její stabilizace v současnosti. V roce 1995 byla v horním úseku potoka vybudována retenční nádrž, která přispívá k vyrovnání odtoku a zamezuje překročení hodnoty průtoku 100-leté vody (33 m^3) při mimořádných srážkových událostech.

Nejvíce odezev na přímé impakty vzniká v subsystému údolních nádrží. Vybudováním PVE se geosystém hlubokého údolí Jihlavy změnil na subsystém údolních nádrží v technogenním systému energetické soustavy. Některé nepřímé impakty vznikly jako odezva na stavbu hrází, další souvisejí se zatopením údolí vodou a s kolísáním její hladiny při provozu PVE. Výstupy při výrobě elektrické energie vyvolaly v reakci na přímé impakty odezvy do přírodního svahového subsystému a struktury vztahů morfologických systémů. Během kontaktu s vodní hladinou a v závislosti na jejím rozsahu se projevují vlastnosti jednotlivých hornin na svazích údolí a březích nádrží - může dojít k překročení prahu stability.

Výstavba hráze přehradní nádrže Dalešice negativně ovlivnila stabilitu svahů budovaných amfibolitem. Tělesa amfibolitu jsou porušena sub horizontálními plochami nespojitosti, mylonity a subvertikálními zlomy. Tato vnitřní struktura je citlivá na porušení stability vnějšími vlivy, např. odlehčením úpatí svahu. Při hloubení základové jámy hráze došlo k uvolnění skalního bloku a ke vzniku sesuvu. Také sítě orthogonálních puklin porušené granulity citlivě reagují na jakékoliv porušení stability svahu rozvolněním masivu a pohybem skalních bloků. Po obnažení úpatí svahů při budování příjezdových cest k staveništi hráze došlo k častému padání úlomků a tvoření osypů při úpatí. Vzniká náchylnost k skalními říční a padání suti. Na strmých svazích se často vyskytují proudy kamenité suti, při úpatí svahů se hromadí osypy.

Další odezvy souvisejí se zatopením údolí. Obě nádrže se liší svojí hloubkou a výškou svahů zatopených vodou. Sto metrů vysoká hráz Dalešické nádrže vzdouvá hladinu do výše 95 m, 50 m vysoká hráz vyrovnávací nádrže 30 m. Vyrovnávací nádrž je úzká a zaplavuje pouze spodní část údolí. Voda nádrže Dalešice zaplavuje i vyšší část údolí. U hráze a v místě zatopených meandrů vznikly větší vodní plochy. Vlivem přečerpávacího režimu výška hladiny obou nádrží během dne kolísá, mění se i vlivem sezónních vlivů. Denní rozdíl hladiny činní u nádrže Dalešice až 2 m a roční až 10 m, u vyrovnávací nádrže je denní rozkyv až 12 m, sezónní je však menší. Sezónní změny souvisejí s nižšími stavy hladiny zejména v zimě a vyššími na jaře. Proto v období s nižšími stavy zůstává část břehů

obnažená – tvoří je buď skalní útesy nebo „vymyté“ sutě či písčité pláže – vystavená eroznímu účinku vln. Skalní útesy jsou vůči účinku vln odolnější. Např. u rulových věžovitých útvarů rozdělených puklinami na bloky byly prokázány sezónní objemové změny bez nebezpečí skalního řícení.

Stabilita svahů ve styku s vodní hladinou závisí na strukturních vlastnostech hornin. Zvýšenou pozornost zasluhují opět amfibolity. K vzniku skalního sesuvu došlo v horní části svahu údolí zatopeného nádrží Dalešice. Odlučná oblast vytváří oválný amfiteátr o šířce cca 80 m a délce 150 m. Stěna odlučné oblasti je až 2,5 m vysoká, pata stupňovitého sesuvu dosahuje k břehové zóně. Jeho vznik umožnily patrně změny v heterogenní struktuře amfibolitu s hustou sítí horizontálních a vertikálních puklin způsobené kolísáním vodní hladiny. Vztlínáním vody do puklin s jílovými minerály se zvětšuje hydrostatický tlak v pórech, který může vést až ke vzniku svahové poruchy. Pronikání vody do puklin napomáhá rozplavování svahové sutí vlnami v břehové zóně a vznik volných prostor s vysokou jímací schopností. Přímým pozorováním byla ověřena vysoká schopnost infiltrace v osypech pokrývajících úpatí svahů, která usnadňuje pronikání vody do puklin horniny. Sesuv rozvolněného skalního masívu do jezera by měl nepochybně katastrofické následky.

Vývoj břehové zóny nádrží je lokálně ovlivňován činností vln hnaných větrem a břehovou erozí. U rozlehlých ploch nádrže Dalešice se na rozdíl od úzké vyrovnávací nádrže může více uplatnit síla a rychlost větru. Na březích, kde se hladina nádrže dotýká svahových sutí nebo hlín, se při vhodné orientaci k převládajícímu směru větru projevují rušivé účinky vln a abraze. Místy vznikly abrazní sruby 1,5–2,5 m vysoké, s kolmými až převislými stěnami. Úpatí srubů se nacházejí ve vyšší části břehové zóny. To znamená, že za vysokých stavů v jarním období se dotýkají hladiny, za nízkých zimních (případně i letních) stavů jsou naopak vysoko nad hladinou, mimo dosah vln. Činnost vln hnaných větrem se proto uplatňuje pouze v časově omezených obdobích roku.

Břehová eroze se na rozdíl od abraze projevuje pouze v břehové zóně vyrovnávací nádrže a souvisí s každodenními změnami hladiny při přečerpávacím provozu. Během poklesu hladiny dochází zejména v zátokách k erozi, které napomáhá odstraňování břehového porostu. Jako odezva břehové eroze mohou vzniknout akumulární příbřežní valy. S poklesáváním hladiny v nádrži je obnažený břeh rozčleňován rozvětveným systémem rýh 0,2 až 0,7 m širokých a 0,4 m hlubokých. Břehová eroze lokálně postihuje plochy o rozloze až 600 m². K vzniku břehové eroze přispěla i antropogenní agradace břehů vyrovnávací nádrže navážkami. Uměle zvýšené břehy nádrže mají tendenci se vlivem činnosti vln samovolně sesouvat do nádrže a zvyšovat objem usazenin v nádrži.

Literatura

CHORLEY R. J., KENNEDY B. A., 1971: Physical geography. A system approach. Prentice Hall International Inc., London.

HRÁDEK M., 1997: Přímé a nepřímé antropogenní transformace reliéfu vyvolané výstavbou a provozem objektů energetické soustavy Dukovany – Dalešice. Přírodovědný sborník Západomoravského muzea v Třebíči, 25, 1, 67 s.

HRÁDEK, M., 2002: Human impacts into the landscape as related to the construction and operation of the Dukovany – Dalešice energy system (Czech republic). In: V. N. Andrejchuk and V. P. Korzhyk, eds. Regional aspects of landuse. Technical University Chernivtsy, University of Silesia, s. 65–72, Chernivtsy – Sosnowiec.

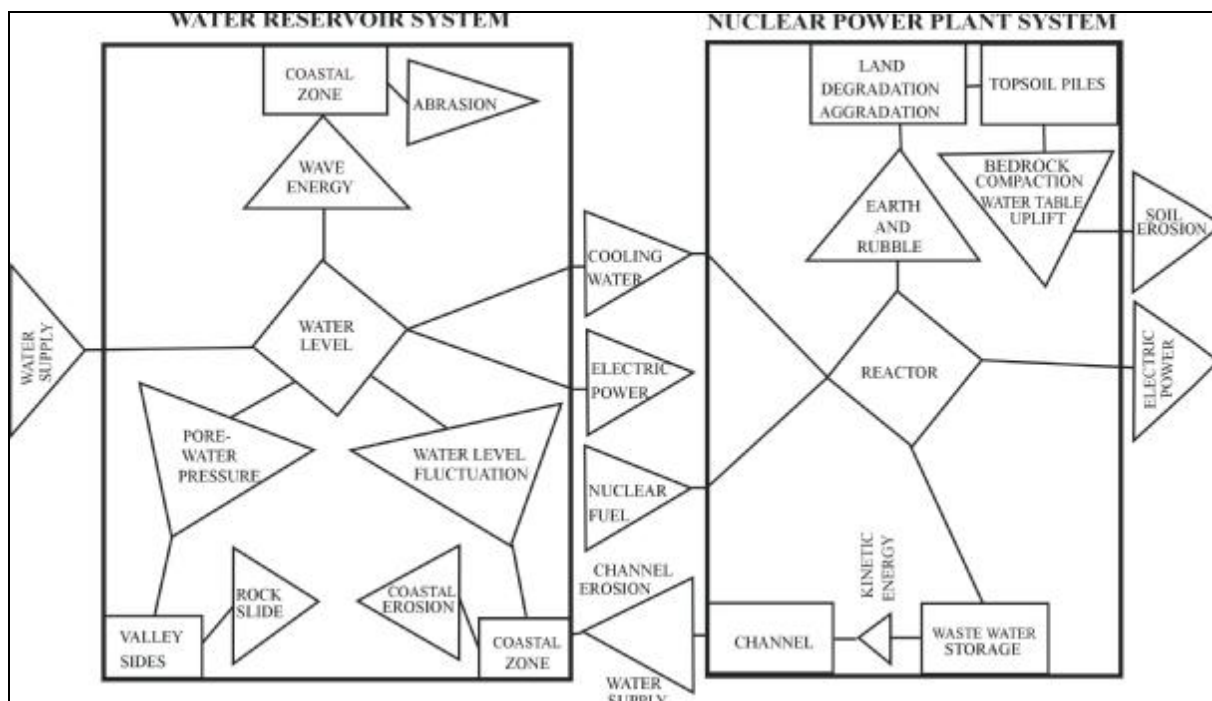
Summary

System analysis of the Dukovany – Dalešice energy system and impacts into the landscape incurred by its construction and operation

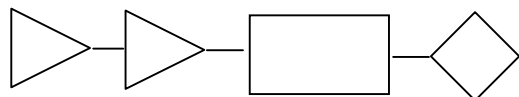
Flat ridges and deep valleys of the eastern border of the Bohemian Massif formed the contrast system of cascades of subsystems controlled by gravitation and hydrological cycles. The energy system of the Dukovany nuclear power-plant (NPP) and Dalešice pumping water power-plant changed the natural geosystem by its inputs and outputs to a technogenous system of a process and response with a number of direct and indirect human impacts into the surrounding landscape. While inputs into the NPP are (with the exception of uranic fuel) limited to the supply of water, outputs are connected with some negative responses with direct and indirect human impacts. They affected particularly the magnitude and frequency of geomorphological processes.

The most important impacts into the landscape relief are as follows:

- (i)-degradation and aggradation of the surface in the vicinity of the Dukovany NPP causing soil compaction under topsoil piles, waterlogging and subsequent erosion events,
- (ii)-potential erosion in stream channels caused by waste waters discharge from the NPP sewage treatment plant,
- (iii)-disturbance of slope stability and origin of rock slides and rock falls incurred by dam construction and valley of the Jihlava flooding with respect to specific structural properties of amphibolite and granulite,
- (iv)-coastal erosion related to the diurnal regime of the pumped-storage reservoir and seasonal changes in the water table.



Obr. 1. Zjednodušené schéma technogenního systému procesu a odezvy vytvořeného transformací kascadového systému hlubokého údolí do systému přečerpávacích nádrží a jeho spojením s umělým výrobním energetickým systémem JE. Vysvětlivky:



1. input 2. output 3. subsystem 4. regulator

