

THE METHODOLOGY OF BALANCE MODEL FOR REMEDIATION PROCESS WITH ECONOMIC ASSESSMENT

METODIKA BILANČNÍHO MODELU SANAČNÍHO PROCESU S EKONOMICKOU NADSTAVBOU

Hana Čermáková, Jan Novák

TUL Liberec, Studentská 2, 461 17 Liberec 1, e-mail: hana.cermakova@tul.cz; jan.novak@tul.cz

Abstract:

The main task of the remediation preparation stage before its practical implementation is completion of framework project. Remedial project consist of technological and economic part and its main outcome is a proposal of particular remedial technology, with estimation of the total duration of the remediation and capital – intensity.

Authors are submitting a methodology proposal of technological remediation model in its project stage. The proposed methodology is replacing transport model of technological pumping and injecting procedures in a simplified form. It responds to parameters of remediation process control with a respect - again in a simplified way (through coefficients)-to characteristics of environment. The result of implementation of such balance models are estimated values of remediation technological effect represented by the volume of remediated contaminants during partial periods of planned duration of remediation. The intention of technological project is calculated into economic effectiveness and cost indicators and serves for further modelling and assessment of effective project. The methodology is further adapted into a software product

Keywords:

remediation, balance model, economic assessment, technological effectiveness

1. Úvod

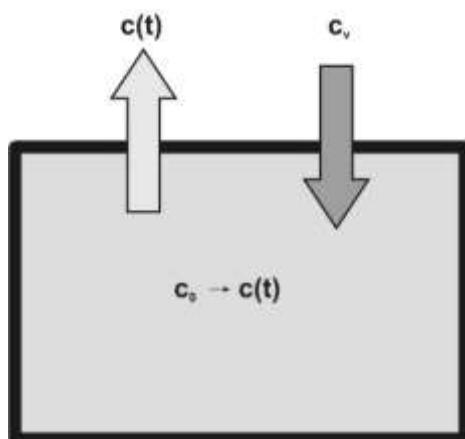
Úkolem přípravné etapy sanace před její praktickou realizací je sestavení rámcového projektu sanace. Sanační projekt obsahuje technologickou a ekonomickou část a jeho hlavním výsledkem je návrh sanační technologie a odhad celkové doby trvání a ekonomické náročnosti sanace. Současná praxe konstrukce sanačních projektů nesplňuje potřeby, které by odpovídaly finanční náročnosti likvidace znečištění. Hlavním nedostatkem je statický charakter projektů, který neposkytuje podrobnější údaje o vývoji situace v čase.

Bilanční model nahrazuje transportní modely pro technologické postupy sanačního čerpání a sanace metodou vtačování reagentů do podzemí ve zjednodušené formě. Reaguje na parametry řízení sanačního procesu s respektováním charakteristik přírodního prostředí. Proměnné technologické parametry sanačního režimu a údaje o množství zneškodněného kontaminantu v dílčích obdobích jsou dopočítány do ekonomických charakteristik nákladovosti a ekonomické efektivity a slouží k modelování a výběru efektivních postupů.

Vytvořená metodika je zpracována do softwarového produktu. V tomto příspěvku je nastíněn princip bilančního modelu a ukázka jedné z možných aplikací pro sanační metodu ISCO.

2. Principy bilančního modelu

Základem modelu je objemová a látková bilance. Nejjednodušší představa předpokládá ohraničený objem kontaminované vody (průtočný reaktor) s počáteční homogenní koncentrací c_0 . Z tohoto objemu se odčerpává roztok s koncentrací, která odpovídá aktuální koncentraci ve sledovaném objemu a kapalina se doplňuje přítokem roztoku o koncentraci c_v . Situace je schematicky znázorněna na obrázku č. 1.



Obrázek 1 Schéma bilančního modelu čerpání/zasakování

Vývoj koncentrace látky popisuje diferenciální rovnice

$$\frac{dc}{dt} = -c \frac{I}{V} + c_v \frac{I}{V} \quad (2.1)$$

kde

c	je	aktuální koncentrace látky ve sledovaném objemu,
c_v		koncentrace látky v přitékajícím roztoku,
I		intenzita čerpání (objem/čas),
V		objem reaktoru (kontaminované pórové vody),
t		čas.

Vyřešením této rovnice dostaneme po dosazení počáteční podmínky $c = c_0$ vztah

$$c = c_0 \cdot e^{-\frac{I \cdot t}{V}} + c_v \cdot (1 - e^{-\frac{I \cdot t}{V}}) \quad (2.2)$$

Vhodnou volbou počátečních a okrajových podmínek lze model upravit k aplikaci na úlohy odčerpávání kontaminantů i vtláčování (vsakování) reakčních činidel. Změny intenzity čerpání/vtláčování a případně koncentrace vtláčovaných činidel lze ošetřit časovou diskretizací. Předpokládáme, že parametry jsou v určitém časovém intervalu konstantní a mezi intervaly je možná skoková změna. Koncové koncentrace jsou pak počátečními koncentracemi pro další časový krok.

Model lze dále upravit na aplikaci pro několik oblastí s rozdílnou mírou kontaminace, případně s různými přírodními podmínkami, mezi nimiž dochází k přestupu roztoků v důsledku odčerpávání či vtláčování.

Vzhledem k omezenému rozsahu tohoto příspěvku je níže stručně charakterizován pouze model pro technologii ISCO.

3. Model vtláčování/zasakování reagující látky

Při vtláčování (zasakování) reagentů je nutno uvažovat interakci mezi činidlem, horninou i kontaminantem a bilancovat jak spotřebu reagentu, tak odbouraný i zbytkový kontaminant.

Úloha má 2 části: zaplňování pórového prostoru vtláčovaným roztokem a reakci mezi vtláčovaným činidlem a kontaminantem. Při vtláčování dochází k vytěsňování pórové vody a později i vtláčovaného roztoku za konturu kontaminace.

Rovnice (2.1) má v těchto podmínkách řešení

$$c = c_v \cdot (1 - e^{-\frac{I \cdot t}{V}}) \quad (3.1)$$

Objem pórového prostoru, zasaženého vtláčovaným roztokem, se postupně zvětšuje. Přitom původní

objem kontaminované oblasti je zaplněn vtlačovaným roztokem jen zčásti. Podíl této zaplněné části postupně narůstá a v limitě (s růstem vtlačenoého objemu) se blíží jedné. Podíl zaplněného kontaminovaného prostoru lze vyjádřit (po dosažení $c_v = I$) vztahem

$$z(t) = 1 - e^{-\frac{It}{V}} \quad (3.2)$$

kde $z(t)$ je podíl zaplněného objemu v čase t ,
 V kontaminovaný objem,
 I intenzita vtlačování (objem/čas),
 t čas.

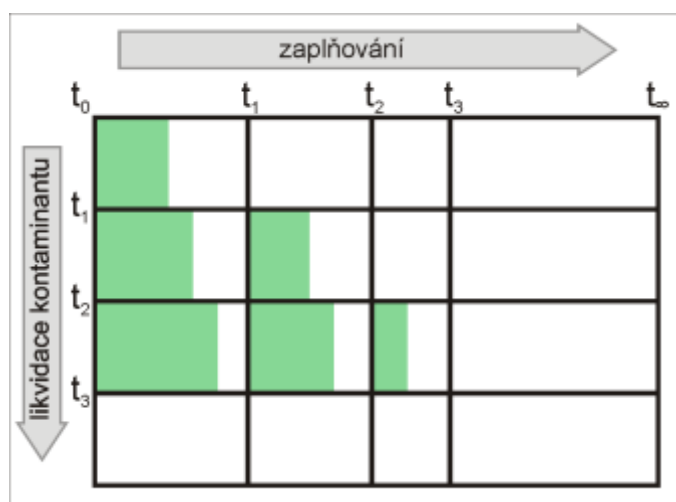
Chemická reakce, vedoucí ke spotřebě činidla a odbourání kontaminantu, je v modelu aproximována rovněž exponenciální funkcí. V nejjednodušším případě pro množství zlikvidovaného kontaminantu v zaplněném objemu platí

$$Q(t) = Q_0 \left(1 - e^{-\frac{D(t)}{S}}\right) \quad (3.3)$$

kde $Q(t)$ je množství zlikvidovaného kontaminantu v čase t ,
 Q_0 počáteční množství kontaminantu,
 $D(t)$ celkové množství činidla, dodaného do času t ,
 S teoretická spotřeba činidla ve sledovaném objemu.

Teoretická spotřeba činidla sestává ze dvou položek. Jedná se o součiny stechiometrické nebo laboratorně zjištěné spotřeby na kontaminant a laboratorně zjištěné spotřeby na jednotkový objem horniny s odpovídajícími množstvími obou složek ve sledovaném prostoru. Kontaminovanou oblast lze rozdělit na 2 nebo více podoblastí s různými charakteristikami spotřeby.

Postup výpočtu, který probíhá v časových krocích, je schematicky naznačen na obrázku č. 2. V každém časovém kroku se zaplní určitá, postupně se zmenšující část kontaminovaného prostoru a v této části začne probíhat reakce. Přitom množství reagentu, který na tuto oblast v jednotlivých časových krocích připadá, odpovídá poměru objemu dané části k celkovému zaplněnému objemu. Při konstantním dávkování činidla se tedy podíl pro dílčí oblasti s postupem zaplňování snižuje.



Obrázek 2 Schéma zaplňování objemu a likvidace kontaminantu v časových krocích

Podle charakteru rozložení kontaminace v hornině je možno upravit model tak, aby respektoval odlišnou dostupnost částic kontaminace (např. ve slepých pórech) oproti celkové mase horniny. Pak probíhá „zaplňování“ pro kontaminaci a pro horninu (a tím i spotřeba činidla pro obě složky) odlišnou rychlostí.

Výraz (3.3), vyjadřující množství zlikvidovaného kontaminantu v zaplněném objemu, vyhovuje pro okamžitou reakci, při níž se nespotebované činidlo v následujících obdobích již nevyužije. Jak bylo uvedeno, lze do modelu implementovat i jiné typy reakcí a průběhy likvidace kontaminantu.

Řízení sančního režimu je popsáno po intervalech proměnnou intenzitou vtlačování I_i a dávkování činidla D_i . Zaplněný objem po n časových krocích je dán výrazem

$$Z(t_n) = V \left[1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{V} \cdot \sum_{i=1}^n I_i\right) \right] \quad (3.4)$$

kde $Z(t)$ je zaplněný objem v čase t ,
 Δt délka časového intervalu,
 t_n čas, pro nějž hledáme celkový zaplněný objem $Z(t)$,
 n index aktuálního časového intervalu, pro nějž hledáme objem $Z(t)$.

Množství zlikvidovaného kontaminantu v j -tém dílčím objemu činí

$$Q_j(t_i) = Q_0 \frac{Z_j}{V} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{V}{S} \cdot \sum_{i=j}^j \frac{D_i}{Z(t_i)}\right) \right] \quad (3.5)$$

kde $Q_j(t_i)$ je množství zneškodněného kontaminantu v j -tém dílčím objemu od počátku procesu do času t_i ,
 Q_0 počáteční množství kontaminantu v celé oblasti,
 Z_j velikost j -tého dílčího objemu.

4. Ekonomický model

Podstatou ekonomického projektu sanace je nákladový model. Popisuje ekonomickou náročnost zvolené technologické alternativy sanace v souhrnu i ve struktuře dílčích technologických aktivit, včetně přehledu vývoje všech ekonomických charakteristik v průběhu sanačního procesu. Ekonomický model je tvořen v obecné rovině, tj. tak, aby byl schopen zachytit specifika jednotlivých lokalit. Tento požadavek je zajištěn podrobnou strukturou nákladových položek, které kryjí dílčí fáze sanačního procesu:

- fázi přípravy sanace (projektovou přípravu, legislativní řízení, přípravu a instalaci technologií, zkušební provoz),
- fázi průběhu sanace (s rozlišením dílčích provozních činností a procesů specifických pro každý typ technologie),
- fázi dokončovací (likvidace stavenišť, legislativa).

Důležitá z hlediska projektu je zejména etapa průběhu sanace. Realitou sanačního procesu je nelineární průběh jeho charakteristik. Z technologických parametrů sanačního režimu (intenzity čerpání či vtlačování, dávkování činidel apod.) lze vypočítat pomocí zadaných hodnot měrných spotřeb hodnoty celkové spotřeby sledovaných komodit v naturálních jednotkách (energie, voda, chemikálie, odpady a další) a pomocí cenových koeficientů je dopočítat do nákladové náročnosti procesu. Intenzita procesu a způsob jeho řízení v dílčích časových obdobích se tak projeví ve spotřebě a následně v hodnotě nákladů spotřebovávaných komodit. Přímým zadáním hodnot měrných spotřeb jednotlivých komodit a jejich jednotkových cen lze zajistit aktualizaci těchto údajů a přímou reakci na situaci na trhu a tím věrohodnost zpracovaných informací v projektu. Důležitá je přitom schopnost modelu sledovat vývoj celého procesu v čase a řídicími zásahy do technologie přizpůsobit náklady procesu reálným možnostem zpracovatele.

S technologií procesu úzce souvisí potřeba zajištění technické obsluhy i monitoringu. Tyto činnosti se plánují v závislosti na nárocích provozních operací. Podpurnými údaji jsou v tomto případě nároky přítomnosti technického personálu v počtu hodin v každém sledovaném období spolu s hodinovou mzdou a dále počet jednotlivých odběrů a ceny odběrů monitoringu. Součástí osobních výdajů je

položka nákladů na dopravu personálu na pracoviště (v závislosti na počtu kilometrů), sociální a zdravotní pojištění a dopravní náklady monitoringu.

Kromě provozních nákladů obsahuje ekonomický model kalkulaci nákladů na strojní a technologické zajištění sanace. Část těchto nákladů představuje jednorázové výdaje na sanaci (příprava a instalace technologie), část tvoří ostatní provozní náklady (údržba technologických zařízení). Model zajišťuje kromě nastavených položek vstup dalších nákladových položek podle volby zpracovatele a úpravu stávajících položek zpracovatelem.

Výstupem ekonomického modelu je kalkulace celkových nákladů sanace a dále charakteristiky jednotkových a marginálních nákladů. Ty představují souhrnný ukazatel odvozený z hodnot sanačních nákladů a odhadovaného množství zneškodněného kontaminantu a poskytují podklad k posouzení celkové efektivnosti způsobu řízení procesu a bezprostřednímu hodnocení alternativních postupů vedení procesu v prostoru a čase.

5. Softwarový nástroj SANAP

Program SANAP je softwarový nástroj pro sestavení a hodnocení variant sanačních projektů. Každý projekt je zpracován na základě prvotních informací, kterými jsou základní poznatky o kontaminované lokalitě, představy o vedení sanačního procesu a podpůrné údaje pro kalkulaci ekonomické náročnosti sanačního projektu.

Program je konstruován pro sanační postupy čerpání kontaminovaného roztoku na povrch (bez řešení následného zpracování roztoků na povrchu povrchovými technologiemi) a pro postupy vtlačování zvoleného reakčního činidla do podzemí. V sanované lokalitě jsou rozlišeny dvě oblasti (hlavní oblast a předpolí), u kterých lze předpokládat odlišné charakteristiky přírodního prostředí, charakteristiky kontaminace i parametry řízení procesu sanace. Podle aktuálních znalostí lze vyjádřit podrobnější charakteristiky přírodního prostředí zadáním dodatečných informací (např. dvojí pórovitost).

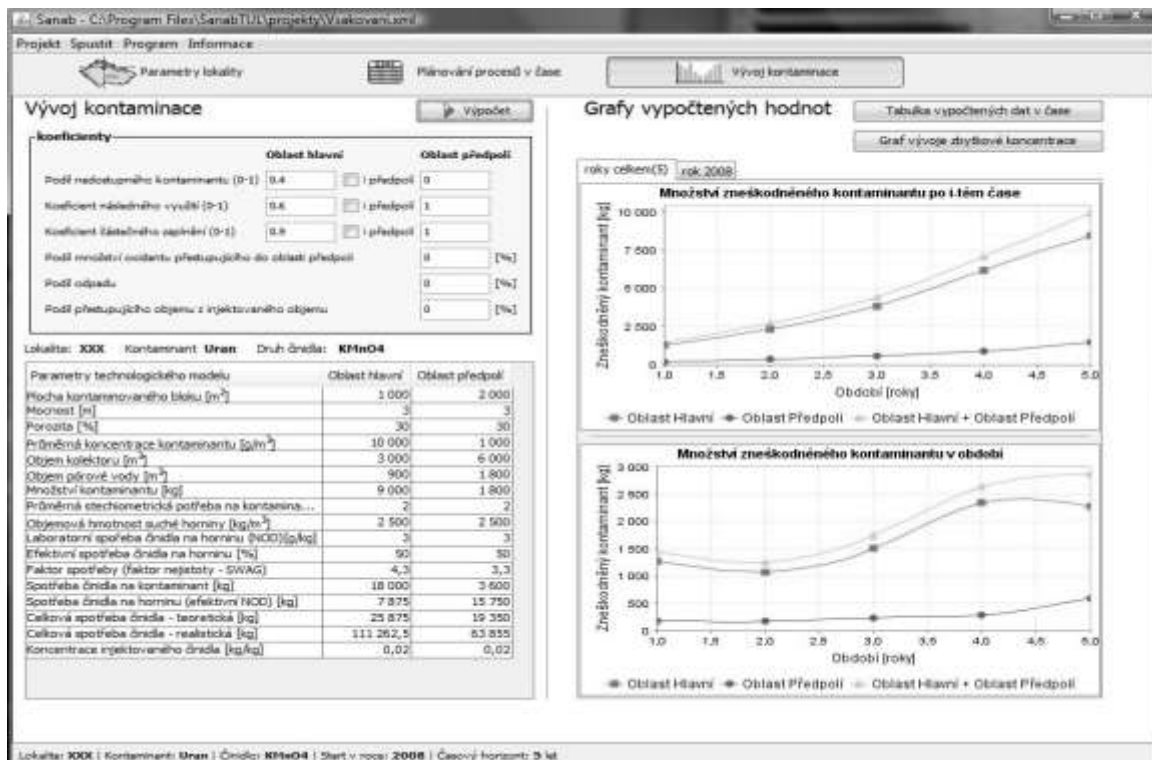
První část programu obsahuje formuláře pro vstup charakteristik sanované lokality a plánování intenzity sanačního procesu. Na základě těchto údajů je zpracován bilanční model vývoje zneškodňování kontaminantu v plánovaném časovém horizontu.

Ekonomická část programu umožňuje zadávat údaje o přípravné, průběžné i dokončovací fázi sanace. Zadávání vstupních údajů je členěno do jednotlivých sekcí podle zaměření nákladových položek a týká se strojního vybavení a zajištění provozu technologie (vybudování vrtné sítě, instalace technologického zařízení, provozní a poloprovozní zkoušky), položek obsluhy a monitoringu, komodit spojených přímo s technologickým procesem (energie, voda, chemikálie) a ostatních. Výsledky zpracování jsou prezentovány v přehledných tabulkách, které obsahují hodnoty nákladů všech sledovaných nákladových položek v čase. Tím je umožněna přímá kontrola ekonomiky procesu a posouzení jeho nákladové náročnosti v souhrnu i v dílčích časových obdobích.

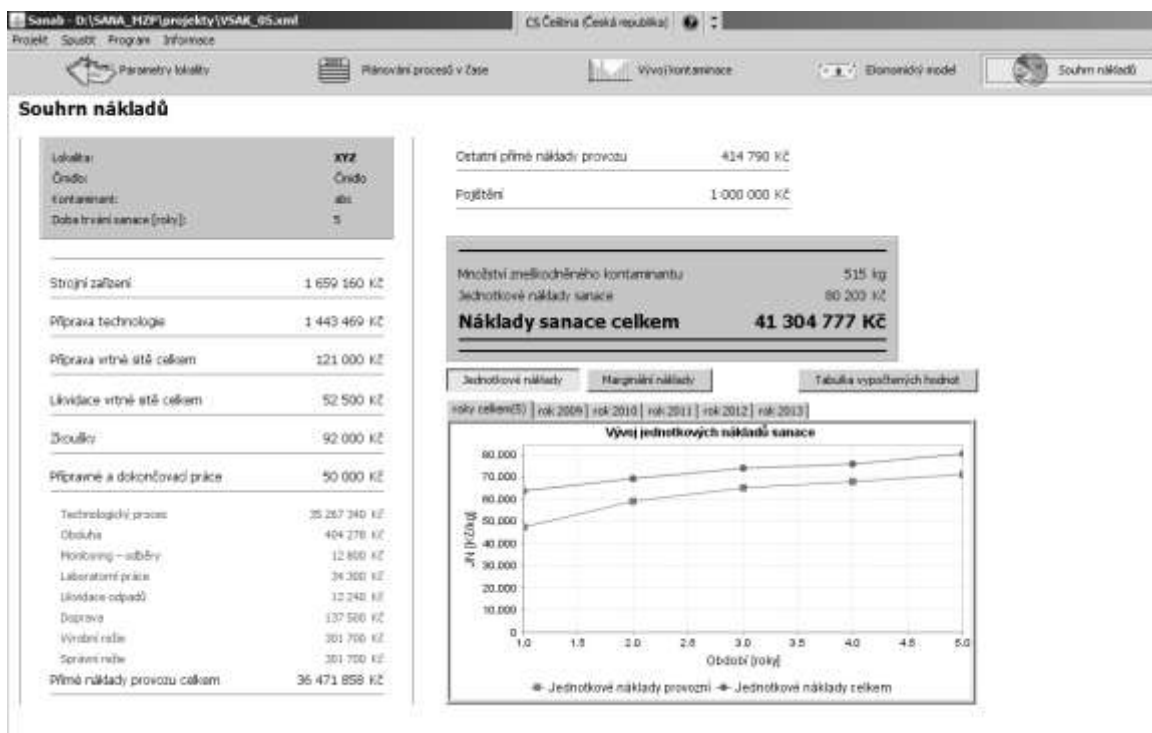
Konečným výsledkem programu je tabulkový a grafický přehled vývoje snižování kontaminace v sanované lokalitě a tabulka celkových nákladů sanace s grafickým přehledem vývoje jednotkových a marginálních nákladů. Zejména tento grafický výstup je transparentním podkladem k rozhodování o efektivitě vedení procesu a k výběru nejefektivnější varianty sanačního projektu.

Součástí programu SANAP je možnost ukládání zpracovaných variant sanačního projektu pod zvoleným jménem do zvoleného adresáře k zajištění možnosti posuzování zpracovaných alternativ.

Grafiku programu SANAP dokumentují následující obrázky. Obrázek č. 3 představuje výstupní obrazovku bilančního modelu s grafickým zobrazením vývoje dekontaminace v průběhu sanace, obrázek č. 4 je ilustrací souhrnných výsledků ekonomického modelu.



Obrázek 3 Výsledný formulář bilančního modelu



Obrázek 4 Výsledný formulář ekonomického modelu

Předností vytvořeného programu SANAP je schopnost projektovat sanační proces v čase (v zadaném časovém horizontu), modelovat rozdílné přístupy řízení procesu s okamžitou odpovědí programu v číselných charakteristikách i grafických výstupech na zadané parametry, zpracovávat alternativy řízení sanačního procesu a vytvářet tak kvalitnější podklady k rozhodování o efektivních postupech sanačního procesu v praxi.

6. Souhrn

- Vytvořené bilanční modely jsou jednoduché nástroje, umožňující popis průběhu sanačního procesu v závislosti na realizovaném technologickém režimu. Dělí se na 2 hlavní skupiny – modely odčerpávání (ex situ) a modely zasakování/vtlačování (on site).
- Lze modelovat jednu nebo několik samostatně vyčleněných oblastí s přestupem roztoků přes jejich hranice. Oblasti se mohou lišit hydrogeologickými poměry a/nebo mírou kontaminace.
- Sanační režim je popsán časovou posloupností intenzit čerpání či vtlačování a dávek dodávaného činidla.
- Ekonomická nadstavba zachycuje náklady přípravné, provozní i závěrečné fáze sanace.
- V provozní etapě jsou rozlišeny náklady závislé na čase a náklady závislé na parametrech (intenzitě) sanačního režimu. Náklady jsou stanoveny po obdobích i celkově za celou sanaci.
- Zpracovaný model umožňuje hodnotit celkové, jednotkové a marginální náklady na likvidaci kontaminantu a posuzovat tak efektivnost různých variant sanace a řídicích zásahů do sanačního režimu.
- Bilanční technologický model pro čerpání roztoků i vtlačování reagentů včetně ekonomické nadstavby je náplní softwarového nástroje SANAP.