



# **Uživatelská dokumentace k programu VodRaz**

## **Verze programu**

1.4.3.4 (9. 3. 2020)

[www.vodraz.cz](http://www.vodraz.cz)  
Jan Krupička, 2021

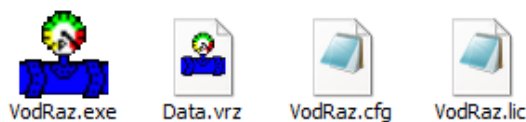
## Obsah

Verze programu.....	1
Obsah.....	2
Soubory programu.....	4
Celková koncepce řešení.....	4
Grafické rozhraní.....	5
Zadání vstupních dat .....	6
Karta Prvky .....	6
Karta Uzly .....	7
Karta Fáze .....	8
Karta Zobrazení.....	8
Potrubní profily .....	10
Tekutiny .....	10
Konstanty .....	10
Proměnné.....	10
Závislosti .....	11
Vzorce .....	12
Výpočty .....	15
Kontrola dat, diskretizace, počáteční a okrajové podmínky.....	15
Výpočet průběhu rázu .....	15
Výpočet ustáleného stavu.....	16
Kritérium konvergence.....	16
Relaxační faktory .....	16
Existence řešení.....	16
Diskretizace potrubí .....	17
Výpočet neustáleného tření .....	17
Výpočet oddělených fází.....	17
Optimalizace.....	18
Optimalizace.....	18
Metaparametry optimalizace .....	18
Parametry závislé na metaparametru.....	19
Popis prvků.....	20
Alarm:.....	20
Čerpadlo: .....	20
Filtr: .....	21
Kontrolní ventil: .....	21

Měřidlo:.....	22
Místní ztráta:.....	22
Motor:.....	22
Nádrž:.....	23
Obecné spojení:.....	23
Podmínka průtoku:.....	24
Podmínka tlaku:.....	24
Potrubí:.....	24
Redukce:.....	25
Regulátor:.....	26
Spojení:.....	26
Turbína:.....	27
Uzávěr:.....	27
Velká nádrž:.....	28
Větrník:.....	29
Vzdušník:.....	30
Vzdušník2:.....	31
Zpětná klapka:.....	31
Změny.....	32

## Soubory programu

Program je tvořen jediným spustitelným souborem VodRaz.exe. Licenční údaje jsou uloženy v souboru VodRaz.lic, který se musí nacházet ve stejné složce jako VodRaz.exe. V této složce si program rovněž vytváří soubor VodRaz.cfg pro záznam uživatelského nastavení grafického rozhraní (nastavení barev, tloušťek čar, stylu čar atd.). Samotná data jsou ukládána do souboru libovolného jména a umístění s extenzí \*.vrz.



Soubory využívané programem VodRaz

## Celková koncepce řešení

Skutečný hydraulický systém je schematizován jako síť prvků, které spolu komunikují prostřednictvím uzlů. Speciálním typem prvku je potrubí, ve kterém je jako v jediném simulováno šíření rázové vlny (využívá se metody charakteristik). Další prvky umožňují simulovat funkci nádrží s volnou hladinou, větrníků, uzávěrů, zpětných klapek, čerpadel, vzdušníků atd. a předepisovat okrajové podmínky. Základní dvojicí proměnných je tlak (použitou jednotkou je bar, jde o přetlak vzhledem k atmosférickému tlaku) a průtok (použitou jednotkou je  $\text{m}^3/\text{s}$ ) v uzlech. Prvky potom uchovávají speciální proměnné související s funkcí prvku (například polohu hladiny v nádrži, u potrubí jsou to tlaky a průtoky v bodech vnitřního dělení potrubního úseku) a především definují vztahy mezi uzlovými proměnnými – každý prvek předepisuje každému uzlu, na který je napojen, právě jednu algebraickou rovnici, ve které jako neznámé vystupují uzlový tlak a průtok. Protože každý uzel obsahuje právě dvě proměnné a spojuje právě dva prvky, vzniká určitá soustava algebraických rovnic pro uzlové proměnné. Tato soustava je řešena při každé iteraci.

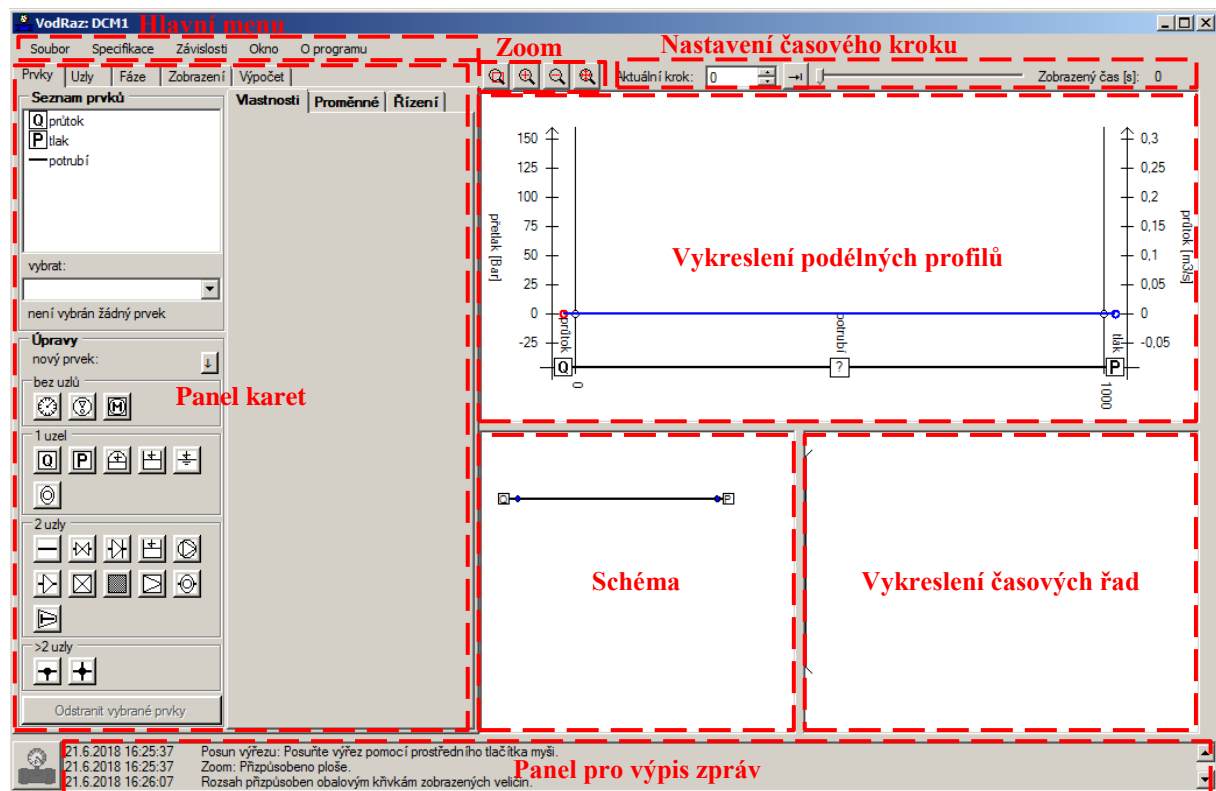
Proměnné uchovávané v prvcích jsou trojího typu dle způsobu, jakým jsou počítány. Prvním typem jsou závislé proměnné – tyto proměnné jsou počítány na základě prvku vlastních vnitřních vztahů. Příkladem může být poloha hladiny v nádrži, která je počítána programem na základě bilance přítoku a odtoku do nádrže, předchozí polohy hladiny a velikosti plochy v hladině. V některých případech má uživatel možnost zadat formu závislosti závislé proměnné. To je případ dopravní výšky čerpadla, kdy je nutné zadat tvar  $H(Q,n)$  charakteristiky. Druhým typem jsou řídicí proměnné, u kterých má uživatel možnost zadat nejen formu závislosti, ale i argumenty, na kterých bude řídicí proměnná záviset. Příkladem jsou otáčky čerpadla – můžou být zadány jako funkce času, nebo jako funkce libovolné jiné proměnné, která se v projektu vyskytuje. Tím do řešení vstupují okrajové podmínky. Třetím typem jsou uživatelské proměnné, které si uživatel v případě potřeby může pro každý prvek definovat sám. Prvky ve výchozím stavu žádné uživatelské proměnné neobsahují.

Výpočet probíhá tak, že se před první iterací nového časového kroku vloží do všech proměnných odhad rovný řešení předchozího časového kroku. V průběhu výpočtu iterace se nejdříve projdou všechny řídicí proměnné a aktualizuje se jejich hodnota na základě uživatelem definovaných vztahů. Například v případě čerpadla se dle zadané časové závislosti nastaví otáčky. Do řešení se tak vnášejí okrajové podmínky. Následuje výpočet závislé proměnných, které jsou uchovávány v prvcích. V případě čerpadla to znamená, že se pro stávající odhad průtoku a aktuální otáčky vypočte dopravní výška. Následně se generuje soustava rovnic pro řešení uzlových proměnných (tj. průtoků a tlaků v uzlech). Například čerpadlo přispěje do soustavy rovnic dvěma rovnicemi. První je rovnost průtoků

v uzlu před a za čerpadlem. Druhá rovnice pak předepisuje vztah mezi tímto průtokem, rozdílem tlaků před a za čerpadlem a dopravní výškou. Následně se soustava rovnic vyřeší Gaussovou eliminací s výběrem hlavního prvku. Protože při výpočtu hodnot proměnných uchovávaných v prvcích a při tvorbě soustavy rovnic se vychází z řešení z předchozí iterace, je nutné po vyřešení soustavy provést další zpřesňující iteraci.

## Grafické rozhraní

Program se ovládá prostřednictvím grafického rozhraní, které je tvořeno hlavním menu, panelem karet, panely pro zobrazení schématu, podélného profilu a časových řad, panelem pro výpis zpráv, ovládacími prvky pro prohlížení dat (zoom) a panelem pro nastavení časového kroku. Panel pro vykreslení podélného profilu a panel pro vykreslení časových řad lze otevřít v samostatném okně (**Hlavní menu > Okno > Podélný profil**, resp. **Hlavní menu > Okno > Časový průběh**). Prvky i uzly lze vybírat jednak v seznamech na příslušných kartách, jednak pomocí myši ve schématu nebo v zobrazení podélného profilu. Zrušit označení lze stisknutím **Esc**, nebo kliknutím do prázdného místa schématu nebo seznamu.



Grafické rozhraní programu – hlavní panel

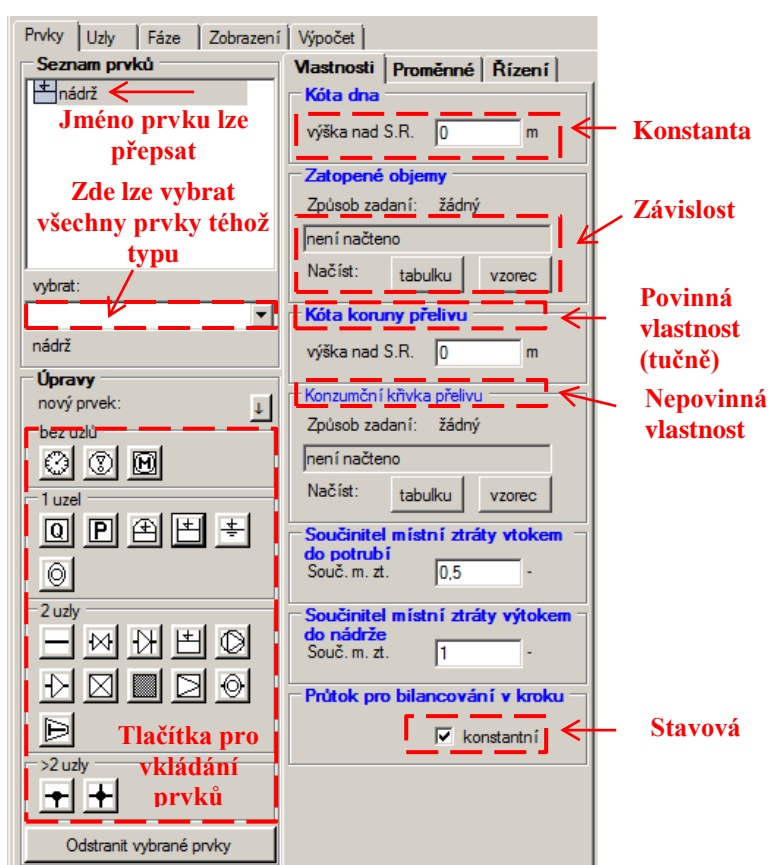
V informačním okně programu (**Hlavní menu > O programu**) je možno ověřit dostupnost novějších verzí SW: program odešle na [www.VodRaz.cz](http://www.VodRaz.cz) dotaz obsahující verzi programu a uživatelské jméno a zobrazí vrácenou odpověď s informací o dostupnosti novější verze. V případě, že uživatel povolí automatické ověřování, bude zpráva o dostupnosti nové verze při každém spuštění programu vypsána do panelu pro výpis zpráv.

## Zadání vstupních dat

Při zadávání dat lze postupovat dle pořadí karet v levé části pracovního prostředí. Kromě níže popsaného manuálního vkládání prvků a uzlů lze provést import topologie a základního nastavení modelu ze souboru \*.inp softwaru EPANET: *Soubor->Import INP*.

### Karta Prvky

Nejdříve se sestavuje schéma hydraulického systému z výpočetních prvků pomocí tlačítek na kartě *Prvky*. Po stisknutí tlačítka příslušného prvku se nový prvek vkládá do schématu stisknutím levého tlačítka myši. Spolu s prvkem se automaticky vytvoří i uzly. U označených prvků a uzlů je ve schématu zobrazen úchopový bod, pomocí kterého je lze přesouvat. U prvku typu potrubí lze poklepaním na potrubí vložit lomový bod. Poklepaním na lomový bod se tento bod odstraní. Název prvku lze měnit přepsáním v seznamu prvků. U prvků s nastavitelným počtem uzlů se poklepaním na úchopový bod zvýší počet uzlů.

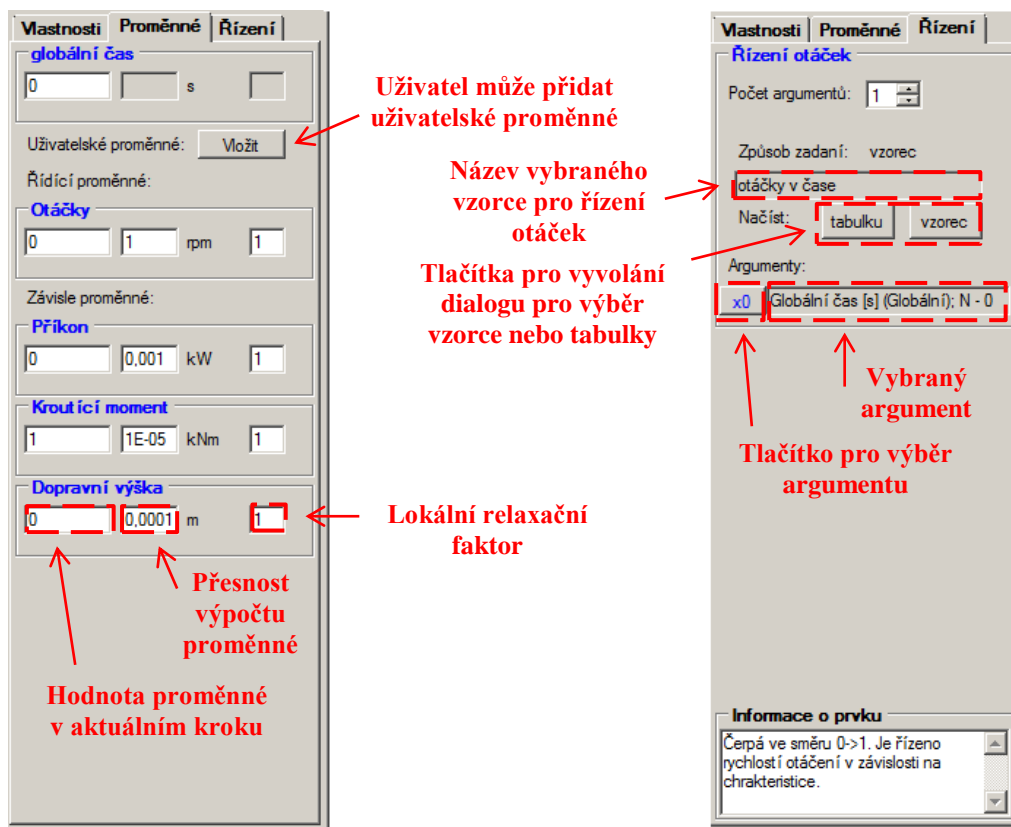


Panel vlastností prvků

Pro editaci vlastností prvků musí být označen jeden nebo více prvků stejného typu. Vlastnosti prvků se potom zobrazují na kartě *Prvky > Vlastnosti*. Vlastnost může být stavová (ano/ne), konstanta, nebo závislost zadaná tabulkou či vzorcem.

Na kartě *Prvky > Proměnné* se vypisují proměnné. Na prvním místě je uveden globální čas, následují proměnné, které uchovává přímo vybraný prvek. Pro každou proměnnou lze na kartě nastavit aktuální hodnotu, přesnost a lokální relaxační faktor (viz [Relaxační faktory](#)). Hodnoty proměnných musí být vyplněny alespoň pro krok, který má při výpočtu sloužit jako počáteční podmínka.

Na kartě **Prvky > Řízení** je potřeba zadat okrajové podmínky, na základě kterých se počítají hodnoty řídicích proměnných (případně hodnoty uživatelských proměnných, pokud je uživatel vytvořil). Může jít o prosté zadání konstantní hodnoty, nebo o zadání závislosti řídicí proměnné na čase, či na libovolném počtu jiných proměnných a vlastností, které se v modelu vyskytují. Závislost může být stejně jako v případě vlastností zadána vzorcem nebo tabulkou. Ve spodní části karty **Prvky > Řízení** je možné k vybranému prvku doplnit textovou informaci. Ve výchozím stavu je u každého prvku předvyplněná krátká charakteristika jeho funkce.



Panel proměnných a panel řízení

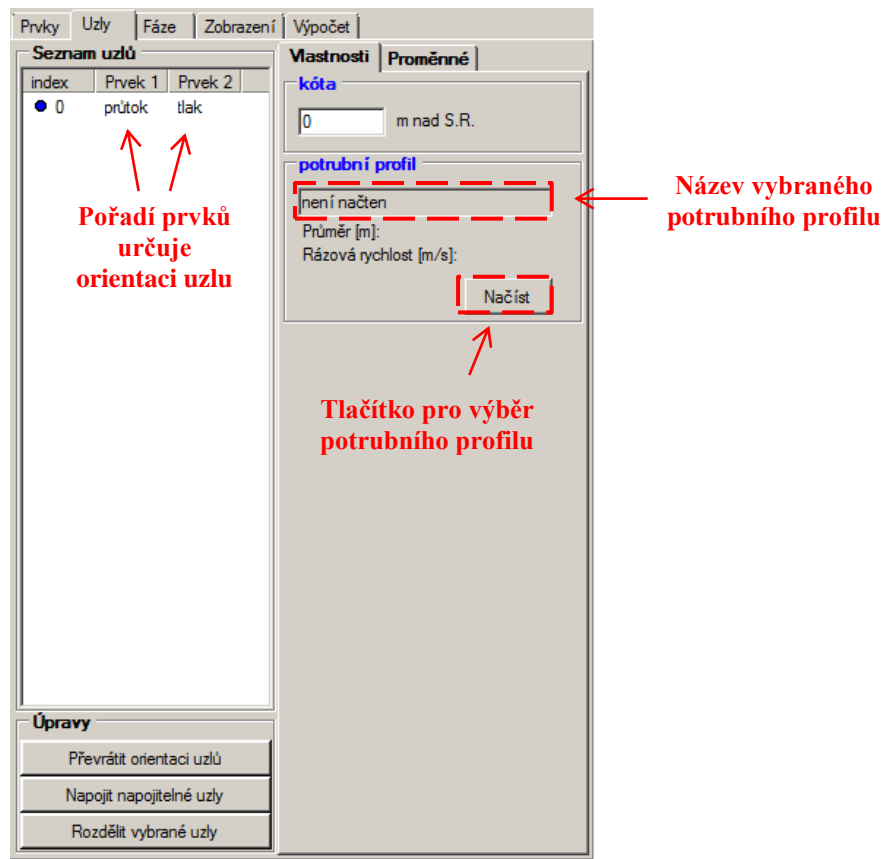
### Karta Uzly

Následně je potřeba prvky pospojovat. V případě, že se uzly prvků překrývají, lze provést spojení prvků automaticky stisknutím tlačítka **Napojit napojitelné uzly** na kartě **Uzly** – program překrývající se uzly automaticky spojí. Pokud se uzly nepřekrývají, je nutné je spojit přetažením označeného uzlu nad jiný uzel. Spojení prvků lze zrušit buď poklepaním na daný uzel ve schématu, nebo pomocí tlačítka **Rozdělit vybrané uzly**. Smysl průtoku uzlem je dán pořadím prvků uvedeným u každého uzlu v seznamu uzlů – kladný průtok je uvažován z Prvku 1 do Prvku 2. Orientaci uzlu lze změnit tlačítkem **Převrátit orientaci uzlů**.

Na kartě **Uzly > Vlastnosti** je každému uzlu potřeba přiřadit kótu nad srovnávací rovinou, a potrubní profil (viz Panel Zobrazení časových řad

Potrubní profily).

Na kartě **Uzly > Proměnné** je stejně jako u prvků nutné vyplnit aktuální hodnoty proměnných, jejich přesnost a relaxační faktor. Uzly neobsahují žádné řídicí proměnné.



Panel vlastností uzlů

### Karta Fáze

Karta Fáze slouží k zadávání fázových rozhraní při výpočtu s oddělenými fázemi. Pod seznamem rozhraní lze vyplnit výchozí hodnoty přesnosti a relaxační faktory, které jsou použity pro rozhraní generována programem v průběhu výpočtu (například v případě, že při výpočtu dojde k zavzdušňování potrubí). Dále jsou opět k dispozici karty Vlastnosti a Proměnné.

Na kartě **Fáze > Vlastnosti** se zadává, jaká fáze se nachází před, a jaká za rozhraním.

Na kartě **Fáze > Proměnné** se zadává umístění fázového rozhraní (prvek, ve kterém se rozhraní nachází), poloha rozhraní (poloha v rámci umístění – v případě potrubí vzdálenost od uzlu s indexem 0, u ostatních prvků jde o index uzlu, u kterého se rozhraní nachází), orientace rozhraní (určuje směr před a za rozhraním), rychlost rozhraní a přetlak v místě rozhraní. Rozhraní neobsahují žádné řídicí proměnné.

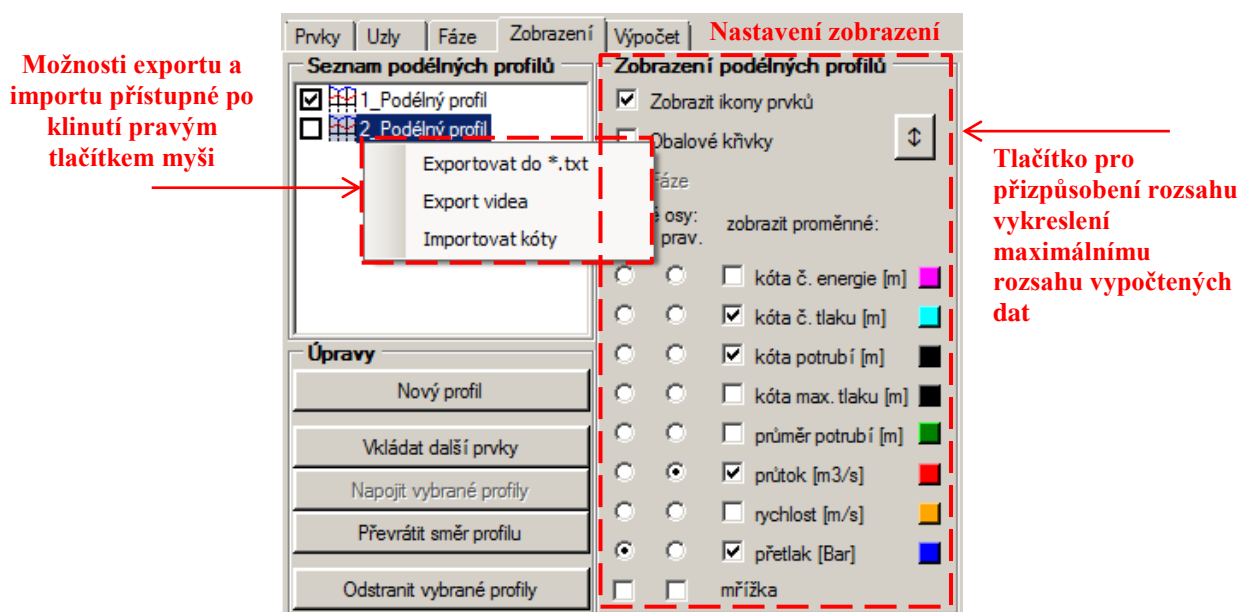
### Karta Zobrazení

Karta Zobrazení slouží k zobrazení vypočtené časové řady libovolné proměnné a k zobrazení podélných profilů, které si uživatel sám definuje.

Po stisknutí tlačítka **Zobrazení > Nový profil** lze pomocí levého tlačítka myši ve schématu vložit do profilu první prvek. Při označení dalšího prvku program sám najde nejkratší spojnici mezi posledními dvěma označenými prvky a prvky tvořící tuto spojnici vloží je do profilu. Vkládání se ukončí stisknutím tlačítka **Zobrazení > Ukončit vkládání**. Další prvky lze do profilu přidat i později. Ostatní tlačítka pod seznamem profilů slouží ke spojování existujících profilů, převrácení jejich směru (směru,



ve kterém se vykreslují) a jejich mazání. Vykreslují se podélné profily, které jsou v seznamu označeny nebo zatrženy. U označených profilů se navíc ve schématu modře podbarví prvky, kterými profil probíhá. Staničení jednotlivých prvků je programem vypočteno na základě délek potrubí.

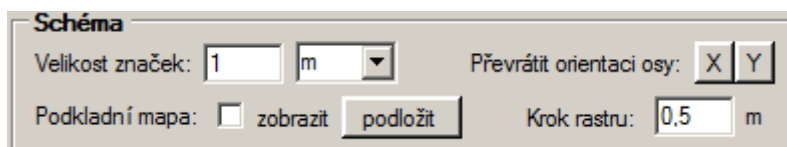


Panel zobrazení podélných profilů

V panelu **Zobrazení > Zobrazení podélných profilů** uživatel nastavuje obsah a způsob zobrazení podélných profilů. Veličiny, které se mění s časem, jsou vykresleny pro aktuálně nastavený časový krok. Kromě toho lze zobrazit obalové křivky všech veličin. Veškerá data zobrazená v podélném profilu zůstávají uchována v prvcích a uzlech – podélný profil slouží pouze k uchování informací o tom, jakým způsobem jsou tato data zobrazována.

Vše, co lze do podélného profilu vykreslit, lze vypsát i do textového souboru po označení daného profilu v seznamu, stisknutím pravého tlačítka myši a výběru možnosti **Exportovat do \*.txt**. Obdobně lze exportovat video. V případě výběru možnosti **Importovat kóty** lze vybrat textový soubor, který obsahuje psaný podélný profil kót. Tento soubor je programem načten a výškové údaje z něj jsou použity k interpolaci kót do uzlů, případně k vytvoření tabulek s podélnými profily jednotlivých Potrubí, která jsou do vybraného podélného profilu zařazena. Původní výškové údaje u Uzlů a u Potrubí jsou přepsány.

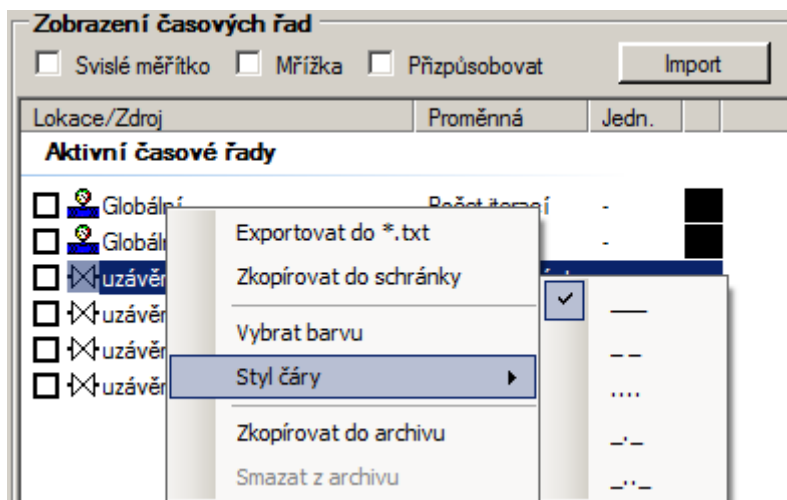
V panelu **Zobrazení > Schéma** lze měnit způsob zobrazení prvků a uzlů ve schématu. Pokud je velikost značek zadán v metrech, značky mění při zoomování velikost. Pokud je zadána v bodech obrazovky, velikost se nemění. Polohu prvků a uzlů lze měnit v rastru o zadaném kroku.



Panel Schéma

Schéma lze podložit mapou načtenou z externího souboru. Prostřednictvím zadání fyzických souřadnic dvou protilehlých rohů mapy uživatel definuje její polohu, měřítko a natočení.

V seznamu časových řad panelu **Zobrazení** > **Zobrazení časových řad** se vypisují časové řady globálních proměnných a proměnných právě označených prvků, uzlů a rozhraní. Po označení časové řady v seznamu se časová řada vykreslí. Pokud je časová řada v seznamu zatržena, zůstává v seznamu i v případě, že není označen uzel nebo prvek, který řadu obsahuje. Jakoukoliv časovou řadu lze pomocí pravého tlačítka myši a výběru možnosti **Zkopírovat do archivu** zkopírovat do archivu. Pomocí tlačítka **Import** lze do archivu rovněž načíst časovou řadu z jiného projektu, nebo z textového souboru. Archivované řady lze použít k porovnání výsledků výpočtu při změně nastavení modelu, nebo k porovnání měřených a vypočtených hodnot při kalibraci.



Panel Zobrazení časových řad

### **Potrubní profily**

K seznamu potrubních profilů se přistupuje přes Hlavní menu: **Specifikace** > **Potrubní profily**. Povinné vlastnosti profilu jsou vypsány tučně.

### **Tekutiny**

K seznamu tekutin se přistupuje přes Hlavní menu: **Specifikace** > **Tekutiny**. Vyplňují se vlastnosti kapaliny a nasycených par kapaliny. Pro potřeby výpočtu zavzdušnění a odvzdušnění potrubí se zadávají i vlastnosti vzduchu.

### **Konstanty**

K seznamu konstant se přistupuje přes Hlavní menu: **Specifikace** > **Konstanty**. Seznam konstant obsahuje fyzikální konstanty a modelové parametry.

### **Proměnné**

K seznamu konstant se přistupuje přes Hlavní menu: **Specifikace** > **Proměnné**. V seznamu lze procházet všechny modelové proměnné. Uživatelem přidané proměnné zde lze opět odstranit po kliknutí pravým tlačítkem myši. Pro jednotlivé proměnné se vypisují následující informace:

Specifikace vlastností proměnných												
<input checked="" type="checkbox"/> Pouze označené entity      Filtr lokace: <input checked="" type="checkbox"/> Globální <input checked="" type="checkbox"/> Uzly <input checked="" type="checkbox"/> Prvky <input checked="" type="checkbox"/> Rozšíření												
Vypsáno celkem 31 proměnných.												
	Lokace	Proměnná	Aktuální hodnota	Jednotky	Typ závislosti proměnné	Přesnost	Lokální relaxační faktor	Aplikace relaxačního faktoru	Dolní mez	Horní mez	Chyba při výpočtu mimo meze	Výpočet ustáleného stavu
▶	Uzel 1	průtok	0	m3/s	závislá	1E-05	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Uzel 1	přetlak	0	Bar	závislá	0,0001	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	potrubí	průtok_4	0	m3/s	závislá	1E-05	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	potrubí	tlak_4	0	Bar	závislá	0,0001	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	potrubí	průtok_5	0	m3/s	závislá	1E-05	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	potrubí	tlak_5	0	Bar	závislá	0,0001	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	potrubí	průtok_6	0	m3/s	závislá	1E-05	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	potrubí	tlak_6	0	Bar	závislá	0,0001	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	potrubí	průtok_7	0	m3/s	závislá	1E-05	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	potrubí	tlak_7	0	Bar	závislá	0,0001	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	potrubí	průtok_8	0	m3/s	závislá	1E-05	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	potrubí	tlak_8	0	Bar	závislá	0,0001	1	Menší z obou	-nekonečno	+nekonečno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

### Seznam proměnných

- Lokace – obsahuje informaci o tom, kde je daná proměnná v modelu uchovávána (Uzel, Prvek, ...)
- Proměnná – obsahuje název proměnné (lze měnit jen u uživatelských proměnných)
- Aktuální hodnota – hodnota proměnné v aktuálním čase, zobrazuje se též v panelu Proměnné u Prvků a u Uzlů v hlavním okně programu
- Jednotky – obsahuje jednotky proměnné (lze měnit jen u uživatelských proměnných)
- Přesnost – přesnost stanovení proměnné, zobrazuje se též v panelu Proměnné u Prvků a u Uzlů v hlavním okně programu
- Relaxační faktor – lokální relaxační faktor, zobrazuje se též v panelu Proměnné u Prvků a u Uzlů v hlavním okně programu
- Aplikace relaxačního faktoru – způsob aplikace lokálního a globálního relaxačního faktoru (viz Relaxační faktory)
- Dolní mez – mez, pod kterou nemůže daná proměnná klesnout
- Horní mez – mez, nad kterou nesmí daná proměnná stoupnout
- Chyba při výpočtu mimo meze – pokud je zaškrtnuto a při výpočtu je podkročena nebo překročena dolní nebo horní mez, výpočet se přeruší s chybou, jinak dojde pouze k oříznutí hodnoty dané proměnné na dané mezi
- Výpočet ustáleného stavu – pokud je zaškrtnuto, proměnná se při výpočtu ustáleného stavu přepočítává, jinak je při výpočtu ustáleného stavu držena konstantní

### Závislosti

Pro řízení řídicích proměnných a pro zadání některých vlastností souží předpisy závislostí, které lze zadat formou tabulky, ve které program lineárně interpoluje, nebo formou vzorce. K seznamu tabulek a vzorců se přistupuje přes Hlavní menu: **Závislosti > Tabulky**, nebo **Závislosti > Vzorce**. Tabulky lze použít v případě jednoho či dvou argumentů, vzorce lze použít pro libovolný počet argumentů. Argumenty jsou indexovány od 0. Lze zadat předpis s nižším počtem argumentů, než je deklarováno. Například charakteristika uzávěru se obecně očekává ve tvaru  $K_v = f(\text{otevření, průtok})$ . Pokud se závislost zadá formou tabulky pro jeden argument, předpokládá se, že  $K_v$  nezávisí na průtoku, ale jen na prvním argumentu, kterým je procento otevření. Způsob zadání tabulky pro jeden nebo dva argumenty je patrný z obrázku níže, vzorce jsou probrány samostatně dále.

	x0	y
	0	10000
	20	1000
	40	100
	60	10
	80	1
▶	10	0,1
*		

		1	2	x1	3
	0	1000	2000	3000	
	20	100	200	300	
	40	10	20	30	
	60	1	2	3	
	80	0,1	0,2	0,3	
	100	0,01	0,02	0,03	

Vlevo tabulka pro závislost  $y = f(x_0)$ , vpravo tabulka pro závislost  $y = f(x_0, x_1)$

### Vzorce

Předpis typu „Vzorec“ umožňují zadat závislost pomocí matematických výrazů a funkcí. Jednotlivé příkazy a argumenty funkcí se oddělují středníky. Komentáře musí být uzavřeny ve dvojitéch lomítkách //komentář//. K dispozici jsou obvyklé operátory a funkce, pomocí jednoduchého jazyka lze za sebe řadit sekvence příkazů a vytvářet skripty. Lze pracovat s hodnotovými typy „Numerical“, „Logical“, „Literal“ a „Matrix“, tedy s čísly, logickými hodnotami, s textovými řetězci a s maticemi čísel. Textové řetězce se uzavírají do uvozovek. Jazyk neumožňuje pracovat s proměnnými v pravém slova smyslu (proměnné nelze alokovat při provádění předpisu, nelze je definovat v jeho těle). Je však možné definovat parametry předpisu v samostatném okně. V předpisu pak lze s názvy parametrů pracovat obvyklým způsobem – lze s nimi provádět matematické operace a přiřazovat jim hodnoty. Naposledy uložené hodnoty parametrů jsou k dispozici i při následujícím volání předpisu. Příklady možného volání hodnoty uložené v parametru „ctvrtyParametr“, který je v tabulce parametrů na pozici č. 3 (číslováno od nuly):

- `get(1+2);` //vrátí hodnotu parametru s indexem 3//
- `ctvrtyParametr;` //přímé volání názvu parametru//
- `get("ctvrtyParametr");` //vrátí hodnotu parametru s názvem „ctvrtyParametr“; od předchozího příkladu se zásadně liší tím, že textový řetězec v argumentu funkce `get` může být generován až při běhu skriptu, jak ukazuje poslední příklad//
- `get("ctvrty" + "Parametr");` //název volaného parametru je sestaven při provádění příkazu//

Následuje přehled operátorů a funkcí:

#### **Infixní operátory:**

Logické (pracují s logickými hodnotami, vrací logické hodnoty):

`||`, `&&`

Logické komparativní (pracují s numerickými hodnotami, vrací logické hodnoty):

`==`, `!=`, `>`, `<`, `>=`, `<=`,

Aritmetické (pracují s numerickými hodnotami, vrací numerické hodnoty):

`+`, `-`, `*`, `/`, `^`

Textové (pracují s textovými řetězci a vrací textový řetězec):

`+`

## Prefixní operátory (funkce)

Pozor – u funkcí se nerozlišují velká a malá písmena!

### Speciální:

- $x(\text{index})$  – Jde o nejdůležitější funkci, protože se jejím prostřednictvím přistupuje k hodnotám argumentu, se kterými je předpis volán. Index musí být celé číslo.
- $\text{Err}(\text{id1}; \text{id2}; \dots; \text{message})$  – Generuje chybu s hlášením ve formátu „message; id1; id2; ...“ . Argument message musí být textový řetězec, ostatní argumenty mohou být libovolného typu.
- $\text{Get}(\text{parmIndex})$ ,  $\text{Get}(\text{parmName})$  – Vrátí hodnotu parametru s indexem parmIndex (celé číslo), nebo s názvem parmName (textový řetězec).
- $\text{Set}(\text{parmIndex}; \text{value})$ ,  $\text{Set}(\text{parmName}; \text{value})$  – Uloží hodnotu value do parametru s indexem parmIndex (celé číslo), nebo s názvem parmName (textový řetězec).
- $e()$  – Vrátí hodnotu Eulerova. Lze volat i bez závorek.
- $\text{pi}()$  – Ludolfova čísla. Lze volat i bez závorek.

### Logické:

- $!, !(value)$  – Neguje hodnotu následujícího výrazu, nebo hodnotu v závorce.

### Vykonávání příkazů, podmíněné vykonávání příkazů, cykly:

- $\text{Run}(\text{expr1}; \text{expr2}; \dots)$  – Postupně vykonává příkazy expr1, expr2, atd. Vrací výsledek provedení posledního příkazu. Argumenty mohou mít libovolný typ.
- $\text{If}(\text{logical}; \text{trueExpr}; \text{falseExpr})$  – Vrátí hodnotu trueExpr v případě, že logical je True. Vrátí hodnotu falseExpr případě, že logical je False. První argument musí být logická hodnota, zbylé dva mohou být libovolného typu.
- $\text{Switch}(\text{switchExpr}; \text{caseExpr1}; \text{valExpr1}; \text{caseExpr2}; \text{valExpr2}; \dots; \dots; \text{otherwiseExpr})$  – Postupně porovnává hodnotu switchExpr s hodnotami caseExpr1, caseExpr2, atd. Jakmile najde shodu, vrátí hodnotu příslušného valExpr. Pokud shodu nenajde, vrátí hodnotu otherwiseExpr. Všechny argumenty mohou být libovolného typu.
- $\text{While}(\text{conditionExpr}; \text{trueExpr})$  – Dokud je hodnota argumentu conditionExpr logická pravda, provádí se trueExpr. Jako výstup je vrácen výsledek posledního provedení trueExpr. Pokud je již při první iteraci hodnota conditionExpr logická nepravda, vrací se numerická hodnota NaN. Při překročení maximálního počtu iterací (nastaveno implicitně na  $10^6$ ) se generuje chyba.

### Matematické funkce:

- $\text{Abs}(\text{expr})$ ,  $\text{ACos}(\text{expr})$ ,  $\text{ASin}(\text{expr})$ ,  $\text{ATan}(\text{expr})$ ,  $\text{Cos}(\text{expr})$ ,  $\text{Exp}(\text{expr})$ ,  $\text{Ln}(\text{expr})$ ,  $\text{Log}(\text{expr}, \text{baseExpr})$ ,  $\text{Log10}(\text{expr})$ ,  $\text{Max}(\text{expr1}; \text{expr2}; \dots)$ ,  $\text{Min}(\text{expr1}; \text{expr2}; \dots)$ ,  $\text{Rem}(\text{dividentExpr}, \text{divisorExpr})$ ,  $\text{Round}(\text{expr})$ ,  $\text{Sin}(\text{expr})$ ,  $\text{Sgn}(\text{expr})$ ,  $\text{Sqrt}(\text{expr})$ ,  $\text{Sum}(\text{expr1}; \text{expr2}; \dots)$ ,  $\text{Tan}(\text{expr})$  – Všechny matematické funkce vyžadují jako argument numerickou hodnotu a vrací numerickou hodnotu.

### Interpolace:

- $\text{Interp1D}(\text{x0Expr}; \text{y0Expr}; \text{xExpr})$  – Provede lineární interpolaci v datech daných sloupcovými vektory x0Expr a y0Expr pro hodnoty xExpr. Pokud je xExpr numerická hodnota, vrátí Interp1D numerickou hodnotu. Pokud je xExpr matice, vrátí Interp1D matici. Extrapolace se neprovádí – pokud hodnota xExpr neleží mezi krajními body x0Expr, interpolace selže a funkce vrátí NaN.
- $\text{Interp2D}(\text{x0Expr}; \text{y0Expr}; \text{z0Expr}; \text{xExpr}, \text{yExpr})$  – Provede lineární interpolaci v datech daných sloupcovým vektorem x0Expr, řádkovým vektorem y0Expr a maticí z0Expr pro hodnoty xExpr a

yExpr. Pokud jsou xExpr a yExpr numerické hodnoty, vrátí Interp1D numerickou hodnotu. Pokud jsou xExpr a yExpr matice, vrátí Interp1D matici. Extrapolace se neprovádí – pokud hodnota xExpr neleží mezi krajními body x0Expr a hodnota yExpr mezi krajními body y0Expr, interpolace selže a funkce vrátí NaN.

# Výpočty

## Kontrola dat, diskretizace, počáteční a okrajové podmínky

Na kartě *Výpočet* lze verifikovat data (kontrola zadání). Následně uživatel zadá délku časového kroku a provede diskretizaci stisknutím tlačítka *Provést diskretizaci*. Při diskretizaci se do potrubí vloží vnitřní body, ve kterých budou počítány tlaky a průtoky. Zároveň se zamknou některé typy úprav, zejména už nebude možné měnit topologii modelu (vkládat prvky). Diskretizaci lze zrušit stisknutím tlačítka *Zrušit diskretizaci*, ztratí se tím však veškerá vypočtená data kromě dat v aktuálním časovém kroku. Okrajové podmínky jsou hodnoty proměnných v kroku s indexem nula. Uživatel je vyplňuje ručně na kartě *Proměnné* u prvků a uzlů. Po stisknutí tlačítka *Vložit z okrajových* se provede přepočítání řídicích proměnných. Tím lze zajistit homogenitu okrajových a počátečních podmínek. Stisknutím tlačítka *Použít aktuální krok* se hodnoty proměnných v aktuálním kroku vloží do kroku s indexem nula a ostatní data se vypustí.

Karta Výpočet

## Výpočet průběhu rázu

Výpočty se spouští z karty *Výpočet*. Na panelu výpočet lze nastavit celkový počet časových kroků, maximální počet iterací v jednom kroku a globální relaxační faktor. Pokud je zaškrtnuto *Chyba při nedosažení konvergence* a při přepočtu časového kroku není u některé z proměnných dosaženo konvergence a ani po provedení maximálního počtu iterací, výpočet se přerušuje s chybovým hlášením. Pokud hlášení chyby není požadováno, výpočet pokračuje dalším krokem. Skutečnost, že při výpočtu daného kroku nebylo dosaženo konvergence, je pak indikována hodnotou 0 globální proměnné Status. Tlačítko *Výpočet všech kroků* spustí výpočet všech časových kroků počínaje krokem aktuálním.

Tlačítko *Výpočet následujícího kroku* spustí výpočet pouze pro krok, který následuje po kroku aktuálním. Tlačítko *Přepočít aktuálního kroku* vyjde z hodnot proměnných v aktuálním časovém kroku a provádí iterace, dokud není dosaženo maximálního počtu iterací, nebo dokud není dosaženo konvergence.

### **Výpočet ustáleného stavu**

Po stisknutí tlačítka *Výpočet ustáleného stavu* provádí program iterace v aktuálním kroku s tím, že některé proměnné jsou drženy konstantní. Uživatel má možnost nastavit, které to jsou, po otevření seznamu proměnných (*Hlavní menu* -> *specifikace* -> *proměnné*). Ve výchozím nastavení jsou to řídicí proměnné, což znamená, že při výpočtu ustáleného stavu se nemění okrajové podmínky.

### **Kritérium konvergence**

Výpočet časového kroku je považován za zkonvergovaný, pokud se ve dvou po sobě jdoucích iteracích žádná proměnná nezmění o větší hodnotu, než je předepsaná přesnost proměnné.

### **Relaxační faktory**

Jako ochranu před divergencí výpočtu mezi iteracemi má uživatel možnost kterékoliv proměnné předepsat relaxační faktor  $RF$ , který je větší než nula a nejvýše rovný jedné. Je-li výsledkem řešení předchozí iterace hodnota proměnné  $X_{pre}$  a výsledkem výpočtu aktuální iterace je hodnota  $X_{post}$ , jako výsledek se uloží hodnota  $X = X_{pre} \cdot (1 - RF) + X_{post} \cdot RF$ . Výchozí hodnota relaxačního faktoru je většinou jedna, v některých případech ale výpočet nemusí konvergovat a vyžaduje zadání menší hodnoty. Nedosažení konvergence konkrétní proměnné při výpočtu je vypsána v panelu hlášení. Kromě lokálního relaxačního faktoru, který je aplikován pouze na danou proměnnou, je možné v kartě *Výpočet* zadat globální relaxační faktor, který se vztahuje na všechny proměnné. Možné způsoby aplikace globálního a lokálního relaxačního faktoru jsou následující: použít lokální, použít globální, použít menší z obou, anebo použít součin lokálního a globálního. Volbu způsobu aplikace lze provést ve výpisu proměnných (viz [Proměnné](#)).

### **Existence řešení**

V každé iteraci je pro uzlové proměnné generována soustava algebraických rovnic. Je potřeba zdůraznit, že řešitelnost soustavy není zaručena – soustava může být singulární v důsledku chybně sestaveného modelu. Příkladem chybně sestaveného modelu je situace, kdy z obou stran uzlu je prvek pevně předepisující hodnotu tlaku. Nesmyslnost takového modelu je zřejmá zejména tehdy, když se tyto pevně předepsané tlaky liší. K podobné situaci ale v důsledku použité formy numerického řešení může dojít i tehdy, když uzel spojuje dvě nádrže, ačkoliv v tomto případě se již zdá úloha z fyzikálního hlediska smysluplná. Proto jsou detaily numerického řešení pro každý prvek uvedeny níže v kapitole



[Popis prvků.](#)

### **Diskretizace potrubí**

Při diskretizaci program do potrubních úseků (do prvků typu Potrubí) vkládány vnitřní body dle délky časového kroku, rychlosti šíření rázové vlny a návrhového Courantova čísla, které může uživatel nastavit. Počet vnitřních bodů volí program tak, aby se skutečné hodnota Courantova čísla co nejvíce blížila hodnotě návrhové. Pokud je délka potrubí natolik malá, že i bez vložení vnitřního bodu je překročena limitní hodnota Courantova čísla, tak se potrubí začne chovat jako místní ztráta (průtok na vstupu se rovná průtoku na výstupu z potrubí). Dle uživatelem nastavených vlastností potrubí se pak může a nemusí uvažovat setrvačnost kapaliny (výpočet pomalu proměnného proudění Bernoulliho rovnicí rozšířenou o setrvačný člen).

### **Výpočet neustáleného tření**

Neustálené tření je do výpočtu zahrnuto v souladu s metodou navrženou v publikaci Ghidaoui M. S. and Mansour S. (2002): Efficient Treatment of the Vardy-Brown Unsteady Shear in Pipe Transients, Journal of Hydraulic Engineering, Vol 128, No 1, pp 102-112. Vychází se z modelu Vardy-Brown ve verzi z roku 1995. Vardy-Brown předpokládá lineární průběh turbulentní viskozity v blízkosti stěny a nekonečnou turbulentní viskozitu v jádru proudu (konstantní rychlostní profil v jádru proudu). Analytické řešení lokální rovnice hybnosti pak vede k vyjádření neustáleného tečného napětí ve formě časového integrálu ze součinu derivace rychlosti a váhové funkce přes historii proudění. Počítat tento integrál v každém výpočetním kroku je numericky náročné. V aproximaci modelu se přechází k rekurentnímu výpočtu neustáleného tření na základě hodnoty z předchozího kroku. Při odvození je potřeba přijmout zjednodušení spočívající v nahrazení časového integrálu součinu dvou funkcí součinem časových integrálů těchto funkcí. Protože jedna z těchto funkcí je po téměř celou dobu integrace konstantní, jde o akceptovatelné zjednodušení. Není však konstantní zcela, chyba v náhradě integrálu součinu součinem integrálů je kompenzována parametrem  $\xi$  o empiricky získané hodnotě mezi 0,85 a 0,9.

### **Výpočet oddělených fází**

Objem potrubí lze vložением fázových rozhraní rozdělit do částí vyplněných kapalinou, nasycenými parami kapaliny nebo plynem. V částech vyplněných kapalinou jsou k výpočtu použity rovnice hydraulického rázu. V částech vyplněných nasycenými parami kapaliny je tlak jednoznačně určen tlakem těchto par, průtok se předpokládá nulový. V částech vyplněných plynem je proudění tohoto plynu modelováno na základě bilance průtoku plynu mezi výpočetními objemy, které se uvažují okolo každého vnitřního bodu potrubí. Průtok mezi výpočetními objemy je vypočten jako ustálený (zanedbává se setrvačnost plynu) na základě rozdílu tlaku v uzlech při uvažování třecích ztrát a stlačitelnosti plynu (předpoklad izotermní stavové změny). Na základě vypočtené velikosti průtoku mezi výpočetními úseky je následně vypočtena nová hodnota tlaku v uzlech. Tento postup neumožňuje detailně modelovat šíření rázových vln v plynu, umožňuje však simulovat postupné změny tlaku a průtoku plynu například při plnění či prázdnění potrubí.

## Optimalizace

Program umožňuje optimalizovat vybrané parametry matematického modelu (respektive metaparametry, viz níže) vzhledem k uživatelem definované optimalizační funkci. Při optimalizaci program opakovaně provádí uživatelem definované simulace pro různé hodnoty modelových parametrů a vyčísľuje optimalizační funkci. Data potřebná pro provedení optimalizačních výpočtů uživatel zadává na kartě **Optimalizace** rozdělené do tří sekcí: Optimalizace, Metaparametry optimalizace a Parametry závislé na metaparametru.

### Optimalizace

V levé části sekce **Optimalizace** na kartě **Optimalizace** se nachází seznam optimalizací a tlačítka pro založení a odstranění optimalizace. V pravé části pak uživatel provádí samotné nastavení procesu optimalizace, tj. procesu hledání optimálních hodnot metaparametrů. Nejdříve je potřeba zvolit jednu z následujících metod optimalizace:

1. Gradientní metoda (hledá minimum): Jako počáteční řešení slouží vektor zadaných výchozích hodnot metaparametrů. Následně se vypočte gradient optimalizační funkce v prostoru metaparametrů normovaných zadanou velikostí výpočetního kroku. Gradient je vypočten na základě obousměrných numerických derivací optimalizační funkce okolo předchozího řešení s diferenčním krokem rovným jedné. Nový vektor normovaných metaparametrů je vypočten z předchozího řešení posunem o jednotkový vektor ve směru záporně vzatého gradientu. Optimalizace se ukončí tehdy, když nově vypočtený vektor normovaných metaparametrů leží v menší než jednotkové vzdálenosti od kteréhokoliv z předchozích řešení, nebo když je gradient nulový.
2. Výpočet v síti (hledá minimum): Minimum optimalizační funkce se najde na základě výpočtu hodnot optimalizační funkce pro všechny kombinace hodnot metaparametrů v zadaném výpočetním kroku a zadaném rozsahu.
3. Newtonova metoda (hledá nulový bod): Jako počáteční řešení slouží vektor zadaných výchozích hodnot metaparametrů. Následně se vypočte gradient optimalizační funkce v prostoru metaparametrů normovaných zadanou velikostí výpočetního kroku. Gradient je vypočten na základě obousměrných numerických derivací optimalizační funkce okolo předchozího řešení s diferenčním krokem rovným jedné. Nový vektor normovaných metaparametrů je vypočten z předchozího řešení posunem ve směru gradientu o vzdálenost, ve které lineární proklad optimalizační funkce dosahuje nulové hodnoty. Optimalizace se ukončí tehdy, když nově vypočtený vektor normovaných metaparametrů leží v menší než jednotkové vzdálenosti od kteréhokoliv z předchozích řešení, nebo když gradient nulový. S ohledem na nejednoznačnost řešení není metoda vhodná pro optimalizaci více než jednoho metaparametru.

Optimalizační funkci uživatel zadává vzorcem (viz Vzorce). Argumentem optimalizační funkce může být hodnota jakékoliv modelové proměnné v uživatelem definovaném čase či výpočetním kroku. Nakonec uživatel zvolí Optimalizační výpočet – tj. jaké simulace se mají při aktuální kombinaci metaparametrů provést, než je vypočtena hodnota optimalizační funkce.

### Metaparametry optimalizace

V levé části sekce **Metaparametry optimalizace** na kartě **Optimalizace** se vypisují metaparametry té optimalizace, která je vybrána v seznamu výše. V pravé části pak uživatel pro jednotlivé metaparametry zadává přípustný rozsah hodnot, výpočetní krok a výchozí hodnotu. Metaparametr umožňuje sdružit několik modelových parametrů tak, aby se tyto parametry optimalizovaly společně (například při hledání jednotné hydraulické drsnosti pro řad sestávající z několika různých potrubních

profilů). Metaparametr lze dočasně vyloučit z optimalizace zrušením jeho zaškrtnutí v seznamu. V průběhu optimalizace je pak držen na výchozí hodnotě.

### Parametry závislé na metaparametru

V levé části sekce **Parametry závislé na metaparametru** na kartě **Optimalizace** se vypisují parametry toho metaparametru, který je vybrán v seznamu výše. V pravé části pak uživatel pro jednotlivé parametry zadává referenci na hodnotu libovolné modelové proměnné v aktuálním výpočetním kroku, nebo referenci na libovolnou modelovou vlastnost. Dále uživatel pro každý parametr zadává vzorcem závislost parametru na metaparametru. Při každé změně hodnoty metaparametru v průběhu optimalizace program pomocí tohoto vzorce vypočte novou hodnotu parametru a v modelu se touto hodnotou aktualizuje cíl reference. Jako druhý argument vzorce pro výpočet nové parametru lze volitelně použít výchozí hodnotu parametru, tedy hodnotu před začátkem optimalizace.

**Optimalizace**

Kalibrace drsnosti řadu

**Seznam optimalizací**

Přidat  
Odstranit

**Metoda optimalizace**

Výpočet v síti (hledá minimum)

**Optimalizační funkce**

Vzorec: Syntaxe bez chyb.  
 $x(0) \cdot x(1) - 2^2$

Argumenty: 2

x0 přetlak [Bar] (Uzel 1); N = 0  
x1 bez zadání

**Optimalizovaný výpočet**

Výpočet ustáleného stavu

**Metaparametry optimalizace**

Faktor drsnosti **Seznam metaparametrů**

Přidat  
Odstranit

**Numerické nastavení**

Rozsah: 0,5 - 2  
Výpočetní krok: 0,005  
Výchozí hodnota: 1

**Parametry závislé na metaparametru**

DN100  
DN150

**Seznam parametrů**

Přidat  
Odstranit

**Reference**

>> Drsnost [mm] (DN100);

**Vzorec**

x(0) ... metaparametr  
x(1) ... výchozí hodnota parametru  
 $x(0) \cdot x(1)$   
Syntaxe bez chyb.

uložit report do souboru: >>

**Spustit optimalizaci**

Údaje o průběhu optimalizace lze uložit do textového souboru

**Výběr metody optimalizace**  
**Vzorec pro výpočet hodnoty optimalizační funkce** (v daném případě čtverec odchylky tlakového rozdílu mezi dvěma uzly od 2 barů)  
**Argumenty optimalizační funkce** (v daném případě přetlak v uzlu Uzel 0 a Uzel 1 v časovém kroku 0)  
**Optimalizovaný výpočet** (v daném případě bude hodnota optimalizační funkce vyčíslena vždy pro provedení výpočtu ustáleného stavu)  
**Numerické nastavení metaparametru** (v daném případě se bude metaparametr „Faktor drsnosti“ pohybovat od 0,5 do 2 v kroku 0,005)  
**Odkaz na proměnnou nebo vlastnost v matematickém modelu** (v daném případě drsnost potrubního profilu DN100)  
**Vzorec pro výpočet hodnoty parametru** (v daném případě bude drsnost v profilu DN100 dána součinem původní drsnosti a aktuální hodnoty metaparametru „Faktor drsnosti“)  
**Spuštění optimalizace** (v daném případě bude program hledat takovou hodnotu faktoru násobícího původní drsnost potrubí DN100 a DN150, aby výpočet ustáleného stavu vedl na tlakový spád mezi uzly 0 a 1 o velikosti co nejbližší dvěma barům)

Karta Optimalizace

## Popis prvků

Následuje popis jednotlivých prvků s uvedením jejich vlastností, proměnných a způsobu funkce. V rovnicích jsou podtrženy ty proměnné, které tvoří neznámé v soustavě rovnic. Ostatní proměnné jsou použity k výpočtu koeficientů v soustavě rovnic a jsou vypočteny na základě řešení v přechozí iteraci. U prvků s dvěma uzly platí, že prvek je orientován ve směru od uzlu s indexem 0 k uzlu s indexem 1.

### Alarm:

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

1. Alarm [-].

Vlastnosti:

1. Přerušit při alarmu [-] = stavová.

Přepočty závislých:

- Jedná se o nehydraulický prvek. Pokud je řídicí proměnná rovna jedné a hodnota vlastnosti je pravda, generuje se při výpočtu chybové hlášení „Hlášen alarm: jméno alarmu.“

Rovnice:

Poznámky:

### Čerpadlo:

Závisle proměnné:

1. Příkon [kW].
2. Krouticí moment [kNm].
3. Dopravní výška [m].

Řídící proměnné:

1. Otáčky [rpm].

Vlastnosti:

1. Charakteristika  $H(Q,n)$ :  $H [m] = f(Q [m^3/s], n [rpm])$ .
2. Momentová charakteristika:  $M [kNm] = f(H [m], Q [m^3/s], n [rpm], \text{ hustota } [kg/m^3])$ .
3. Přepočet dle afinity [-] = stavová.
4. Nominální otáčky [rpm] = konst.
5. Počet paralelních čerpadel [-] = konst.

Přepočty závislých:

- Skutečný průtok se ve všech výpočtech dělí počtem paralelních čerpadel.
- Pokud není vybrán výpočet dle zákonů afinity, pro aktuální průtok a otáčky se z  $H(Q,n)$  charakteristiky vypočte dopravní výška. Pokud je vybrán výpočet dle zákonů afinity, zadává se charakteristika ve tvaru  $H(Q)$  pro nominální otáčky a přepočet na skutečné otáčky provádí program dle zákonů afinity.
- Vypočte se moment z momentové charakteristiky. Pokud není momentová charakteristika zadána, vypočte se moment z průtoku, dopravní výšky a otáček za předpokladu 100% účinnosti. Stejně jako u výpočtu dopravní výšky je možné započítat vliv otáček dle zákonů afinity.
- Vypočte se příkon z momentu a otáček.

Rovnice:

1. Rovnost průtoků:  $\rho_0 \cdot \underline{Q_0} = \rho_1 \cdot \underline{Q_1}$

2. Vztah mezi průtokem a rozdílem tlaků se stanoví z derivace  $H(Q)$  charakteristiky a řešení předchozí iterace:

$$\left( \underline{Q0} \cdot \frac{\rho0 \cdot \underline{Q0}}{2 \cdot S0^2} + \underline{P0} \right) - \left( \underline{Q1} \cdot \frac{\rho1 \cdot \underline{Q1}}{2 \cdot S1^2} + \underline{P1} \right) = g \cdot \rho \cdot (Z1 - Z0 - H) - g \cdot \rho0 \cdot \frac{dH}{dQ} \cdot (\underline{Q0} - \underline{Q0})$$

Poznámky:

- Uzly mohou mít různou plochu potrubí.
- Pokud jsou otáčky menší než přesnost otáček, je derivace  $\frac{dH}{dQ}$  počítána jako numerická derivace s krokem průtoku daným přesností průtoku. Pokud jsou otáčky větší než přesnost otáček, je derivace aproximována jako sklon sečny z uzávěrového bodu do bodu s nulovou dopravní výškou.
- Hustota  $\rho$  je hustota v uzlu, ze kterého přitéká do čerpadla kapalina.

### **Filtr:**

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

1. Filtrační koeficient [m<sup>2</sup>/s]

Vlastnosti:

Přepočty závislých:

Rovnice:

1. Rovnost průtoků:  $\rho0 \cdot \underline{Q0} = \rho1 \cdot \underline{Q1}$ .
2. Průtok je dán součinem filtračního koeficientu  $K$  a rozdílu tlaku před a za filtrem s uvážením rozdílu geodetických výšek:  $\underline{Q} - K \cdot (\underline{P0} - \underline{P1}) = K \cdot (Z0 - Z1) \cdot \rho \cdot g$ .

Poznámky:

- Počítá se s hustotou tekutiny od uzlu proti proudu.
- Vzhledem k definici filtračního součinitele není automaticky zohledněna změna hustoty média, součinitel musí v tomto případě reagovat v průběhu výpočtu.
- Uzly mohou mít různou plochu potrubí.

### **Kontrolní ventil:**

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

1. Výstupní tlak [bar], nebo Vstupní tlak [bar], nebo Tlakový spád [bar], nebo Průtok [m<sup>3</sup>/s], nebo Součinitel místní ztráty [-].

Vlastnosti:

1. Typ [-] = PRV, PSV, PBV, FCV, TCV, nebo GPV
2. Součinitel místní ztráty [-] = konst., nebo Tlaková ztráta ve směru 0->1 [bar] = f(průtok [m<sup>3</sup>/s])

Přepočty závislých:

Rovnice:

1. Rovnost průtoků:  $\underline{Q0} = \underline{Q1}$ .
2. Předpis vstupního tlaku, výstupního tlaku, tlakového spádu, průtoku, součinitele místní ztráty nebo výpočet tlakového spádu z průtoku – v závislosti na zvoleném typu ventilu.

Poznámky:

- Kontrolní ventil se chová stejně, jako ventily v SW EPANET.

### **Měřidlo:**

Závisle proměnné:

1. Integrál [?.s].
2. Derivace [?/s].
3. Průměr [?].
4. Integrál v jednom směru [?.s].
5. Min [?]
6. Max [?]

Řídící proměnné:

1. Funkce y [?].

Vlastnosti:

1. Délka intervalu pro průměr [s] = konst.

Přepočty závislých:

- Jedná se o nehydraulický prvek. Integruje a derivuje se řídící proměnná, vypočte se klouzavý průměr řídící proměnné přes zadaný interval a počítá se integrál řídící proměnné, který se nuluje při změně znaménka řídící proměnné. Zjistí se maximální a minimální hodnota v rámci zadaného intervalu.

Rovnice:

Poznámky:

- Pokud není interval pro výpočet průměru zadán, integruje se od počátku. Totéž platí pro stanovení maxima a minima.

### **Místní ztráta:**

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

1. Součinitel místní ztráty ve směru 0->1 [-]
2. Součinitel místní ztráty ve směru 1->0 [-]

Vlastnosti:

1. Uzavírací součinitel místní ztráty [-] = konst.

Přepočty závislých:

Rovnice:

1. Rovnost průtoků:  $\rho_0 \cdot \underline{Q0} = \rho_1 \cdot \underline{Q1}$
2. Ztráta, tedy rozdíl v poloze čáry energie před a za místní ztrátou, je dána součinem součinitele místních ztrát a rychlostní výšky za místní ztrátou:

$$\underline{P0} + \underline{Q0} \cdot \frac{|\underline{Q0}| \cdot \rho_0}{2 \cdot S_0^2} \cdot (\text{sign}(\underline{Q0}) + \xi_{10}) + \rho \cdot Z_0 \cdot g = \underline{P1} + \underline{Q1} \cdot \frac{|\underline{Q1}| \cdot \rho_1}{2 \cdot S_1^2} \cdot (\text{sign}(\underline{Q1}) + \xi_{01}) + \rho \cdot Z_1 \cdot g,$$

kde nenulový je vždy jen součinitel místní ztráty ve směru proudění.

Poznámky:

- Při výpočtu ztrát se počítá s hustotou tekutiny v uzlu po proudu.
- Pokud je součinitel místní ztráty větší než uzavírací, prvek předepíše pro oba uzly nulový průtok (uzavře se).
- Uzly mohou mít různou plochu potrubí.

### **Motor:**

Závisle proměnné:

1. Příkon motoru [kW].

2. Otáčky [rpm].

Řídící proměnné:

1. Krouticí moment zátěže [kNm].
2. Krouticí moment pohonu [kNm].

Vlastnosti:

1. Moment setrvačnosti soustrojí [kg.m<sup>2</sup>] = konst.

Přepočty závislých:

- Jedná se o nehydraulický prvek, který na základě krouticích momentů pohonu a zátěže vypočte změnu otáček soustrojí. Přitom oba krouticí momenty jsou zpravidla zároveň funkcí otáček.

Rovnice:

Poznámky:

### **Nádrž:**

Závisle proměnné:

1. Kóta hladiny [m n.S.R.].
2. Zaplněný objem [m<sup>3</sup>].
3. Odtok přelivem [m<sup>3</sup>/s].

Řídící proměnné:

Vlastnosti:

1. Napojení [] = konst.
2. Kóta dna [m n.S.R.] = konst.
3. Zatopené objemy:  $h$  [m] =  $f(\text{zaplněný objem [m}^3\text{)})$ .
4. Kóta koruny přelivy [m n.S.R.] = konst.
5. Konzumční křivka přelivu  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] =  $f(\text{přelivná výška [m]})$ .
6. Průtok pro bilancování v kroku [-] = stavová.
7. Součinitel místní ztráty vtokem do potrubí [-] = konst.
8. Součinitel místní ztráty výtokem do nádrže [-] = konst.

Přepočty závislých:

- Vypočte se přepadová výška
- Z konzumční křivky se vypočte odtok přelivem.
- Z minulého (a aktuálního, nemá-li být průtok pro bilancování v průběhu kroku konstantní) přítoku potrubím (pokud přitéká kapalina) a přepadu přes přeliv se vypočte nový objem kapaliny v nádrži.
- Z charakteristiky se vypočte hloubka a přičtením ke kótě dna i kóta hladiny  $K_h$ .
- Vypočte se fáze v nádrži na úrovni zaústění přípojky. Pokud je hladina níže, než je kóta uzlu, nebo je objem vody nulový, jde o plyn. V opačném případě jde o kapalinu.
- Pokud se liší fáze v prvku a fáze z uzlu do prvku, znamená to, že právě dochází k zavzdušnění nebo zavodnění potrubí a do potrubí se odešle příslušné rozhraní.

Rovnice:

1. Do každého uzlu se předepíše tlak od hladiny s uvážením ztrát a rychlostní výšky:

$$\frac{P_0}{\rho} + (Z_0 - K_h) \cdot g = \underline{Q_0} \cdot \left[ Q_0 \cdot \left( -\frac{1}{2 \cdot S_0^2} \right) + \xi \cdot \frac{|Q_0|}{2 \cdot S_0^2} \right]$$

Poznámky:

### **Obecné spojení:**

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

Vlastnosti:

1. Napojení [-] = konst.

Přepočty závislých:

Rovnice:

1. Rovnice kontinuity:  $\sum Q = 0$ .

- i. Rozdíl tlaků mezi uzlem s indexem 0 a i je dán pouze rozdílem geodetických výšek:

$$\frac{P_i - P_0}{\rho_0} + (Z_i - Z_0) \cdot g = 0.$$

Poznámky:

- S rychlostními výškami se nepočítá, místní ztráty se zanedbávají.
- Hustota se uvažuje dle uzlu s indexem 0 (zanedbává se změna hustoty u plynu).
- Uzly mohou mít různou plochu potrubí.

### **Podmínka průtoku:**

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

2. Předpis průtoku [m<sup>3</sup>/s].

Vlastnosti:

Přepočty závislých:

Rovnice:

1. Předepíše hodnotu průtoku.

Poznámky:

### **Podmínka tlaku:**

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

1. Předpis přetlaku [Bar].

Vlastnosti:

Přepočty závislých:

Rovnice:

1. Předepíše hodnotu přetlaku.

Poznámky:

### **Potrubí:**

Závisle proměnné: dle počtu vnitřních bodů.

1. Průtoky [m<sup>3</sup>/s].
2. Přetlaky [Bar].
3. Tečné napětí od neustáleného tření [Pa].
4. Fáze ve vnitřním bodě [-]

Řídící proměnné:

Vlastnosti:

1. Délka potrubí [m] = konst.
2. Podélný profil [m n.S.R.] = f(staničení [m]).
3. Návrhové Courantovo číslo [-] = konst.
4. Limitní Courantovo číslo [-] = konst.
5. Skutečné Courantovo číslo [-] = konst.



6. Interpolace v prostoru [-] = stavová.
7. Interpolace v čase [-] = stavová.
8. Neustálené ztráty třením [-] = stavová.
9. Součinitel místní ztráty [-] = konst.
10. Bezrázová setrvačnost [-] = stavová.
11. DCM [-] = stavová.
12. Min. vzdálenost kavit [m] = konst.
13. Boční odtok [-] = stavová
14. Boční odtok [m<sup>2</sup>/s] = f(tlak [bar], rychlost [m/s], fáze [-])
15. Podélná složka bočního odtoku [-] = konst.

Přepočty závislých:

- Vnitřní body se řeší metodou charakteristik. Dle stavu vlastností se provádí či neprovádí interpolace v čase a prostoru a započítává či nezapočítává se tečné napětí od neustáleného tření a boční odtok z potrubí.
- Pokud je umožněn model DCM, kontroluje se tlak v uzlech. Při podkročení tlaku nasycených par se v uzlu začne počítat objem kavity vyplněné nasycenými parami.

Rovnice:

1. Předepíše charakteristiku pro uzel 0.
2. Předepíše charakteristiku pro uzel 1.

Poznámky:

- Součinitel místní ztráty se rovnoměrně distribuuje po délce potrubí.
- Návrhové Courantovo číslo slouží k volbě dělení na výpočetní úseky (dělení se volí tak, aby skutečné Courantovo číslo bylo co nejblíže návrhovému).
- Pokud skutečné Courantovo číslo vyjde větší než limitní, prvek se začne chovat jako místní ztráta (nepočítá se s konečnou rychlostí šíření rázové vlny, průtok na vstupu do potrubí se rovná průtoku na výstupu). V případě, že má být uvažována bezrázová setrvačnost, je pak rozdíl v poloze čáry tlaku mezi krajními body dán kromě ztrát třením navíc ještě zrychlením (k výpočtu se použije Bernoulliho rovnice rozšířená o setrvačný člen).
- Vznik kavity se v řešeném místě neumožní v případě, že se již nějaká kavita nachází blíže, než je minimální vzdálenost daná vlastností Min. vzdálenost kavit.
- Pokud je umožněn výpočet s bočním odtokem, vyžaduje se zadání vztahu pro výpočet velikosti bočního odtoku (m<sup>3</sup>/s na metr délky potrubí) v závislosti na tlaku, rychlosti a fázi v potrubí. Podélná složka bočního odtoku je poměr podélné (s osou potrubí) složky rychlosti bočního odtoku v rovině stěny potrubí ku průřezové rychlosti v potrubí. Pokud je nastavena na hodnotu 0,5, boční odtok se na proudění v potrubí neprojevuje ztrátou energie.
- Automatický přepočet délky potrubí je přístupný přes pravé tlačítko myši v seznamu prvků na kartě **Prvky**.

### **Redukce:**

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

Vlastnosti:

1. Součinitel místní ztráty zúžením ve směru 0->1 [-] = konst.
2. Součinitel místní ztráty rozšířením ve směru 1->0 [-] = konst.

Přepočty závislých:

Rovnice:

1. Rovnost průtoků:  $\rho_0 \cdot \underline{Q_0} = \rho_1 \cdot \underline{Q_1}$

2. Ztráta, tedy rozdíl v poloze čáry energie před a za místní ztrátou, je dána součinem součinitele místních ztrát a rychlostní výšky za místní ztrátou:

$$\underline{P0} + \underline{Q0} \cdot \frac{|\underline{Q0}| \cdot \rho 0}{2 \cdot S0^2} \cdot (\text{sign}(\underline{Q0}) + \xi_{10}) + \rho \cdot Z0 \cdot g = \underline{P1} + \underline{Q1} \cdot \frac{|\underline{Q1}| \cdot \rho 1}{2 \cdot S1^2} \cdot (\text{sign}(\underline{Q1}) + \xi_{01}) + \rho \cdot Z1 \cdot g$$

kde nenulový je vždy jen součinitel místní ztráty ve směru proudění.

Poznámky:

- Při výpočtu ztrát se počítá s hustotou tekutiny v uzlu po proudu.
- Je kontrolováno, zda se plocha profilu ve směru 0 -> zmenšuje.

### Regulátor:

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

1. Koeficient AQ [s/m<sup>3</sup>].
2. Koeficient AP0 [1/Bar].
3. Koeficient AP1 [1/Bar].
4. Koeficient A [-].

Vlastnosti:

Přepočty závislých:

Rovnice:

1. Rovnost průtoků:  $\underline{Q0} = \underline{Q1}$ .
2. Obecný vztah mezi průtokem a tlakovým spádem:  $\underline{Q0} \cdot \underline{AQ} + \underline{P0} \cdot \underline{AP0} + \underline{P1} \cdot \underline{AP1} = A$ .

Poznámky:

- Pokud by byly všechny koeficienty nulové, hlásí se chyba.
- Vztah implicitně nezohledňuje rozdíl geodetických výšek uzlů!

### Spojení:

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

Vlastnosti:

1. Součinitel místní ztráty 0-> 1 [-] = konst.
2. Součinitel místní ztráty 1-> 0 [-] = konst.
3. Součinitel místní ztráty 1-> 2 [-] = konst.
4. Součinitel místní ztráty 2-> 1 [-] = konst.
5. Součinitel místní ztráty 2-> 0 [-] = konst.
6. Součinitel místní ztráty 0-> 2 [-] = konst.

Přepočty závislých:

Rovnice:

1. Rovnice kontinuity:  $\underline{Q0} + \underline{Q1} + \underline{Q2} = 0$ .
2. Ztráty vypočtená z rychlostní výšky po proudu v první dvojici a
3. ztráty vypočtená z rychlostní výšky po proudu v druhé dvojici:

$$\frac{P_{\text{výtok}} - P_{\text{vtok}}}{\rho_{\text{výtok}}} + (Z_{\text{výtok}} - Z_{\text{vtok}}) \cdot g = \underline{Q}_{\text{vtok}} \cdot \frac{Q_{\text{vtok}}}{2 \cdot S_{\text{vtok}}^2} - \underline{Q}_{\text{výtok}} \cdot \left( \frac{Q_{\text{výtok}}}{2 \cdot S_{\text{výtok}}^2} + \xi \cdot \frac{|Q_{\text{výtok}}|}{2 \cdot S_{\text{výtok}}^2} \right)$$

Poznámky:

- Rychlostní výšky se uvažují.

- Počítá se s hustotou v uzlu na výtoku (neuvažuje se změna hustoty u plynu v důsledku místní ztráty!).
- Uzly mohou mít různou plochu potrubí.

### **Turbína:**

Závisle proměnné:

1. Příkon [kW].
2. Krouticí moment [kNm].
3. Spád [m].

Řídící proměnné:

1. Otáčky [rpm],
2. R.K. [-],
3. O.K. [-].

Vlastnosti:

1. Charakteristika  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] = f(H [m], n [rpm], R.K. [-], O.K. [-]).
2. Momentová charakteristika  $M$  [kNm] = f(Q [m<sup>3</sup>/s], H [m], n [rpm], hustota [kg/m<sup>3</sup>], R.K. [-], O.K. [-]).

Přepočty závislých:

- Z kót uzlů, aktuálních tlaků a průtoku (rychlostní výšky) je vypočten spád  $H_{pre}$ .
- Z aktuálního průtoku, spádu  $H_{pre}$ , hustoty a nastavení lopatek rozváděcího a oběžného kola se vypočte moment (je-li momentová charakteristika zadána).
- Vypočte se příkon z aktuálního momentu a otáček.

Rovnice:

1. Rovnost průtoků:  $\rho_0 \cdot \underline{Q_0} = \rho_1 \cdot \underline{Q_1}$
2. Pro aktuální spád  $H_{pre}$  se z charakteristiky  $Q = f(H, n, RK, OK)$  vypočte aktuální průtok  $\underline{Q}_{pre}$ .

Závislost průtoku na spádu se kolem tohoto průtoku linearizuje na základě numerické derivace. Vztah mezi průtokem a rozdílem tlaků vychází z linearizované závislosti průtoku na spádu

$$\underline{Q_0} = \underline{Q}_{pre} + \frac{dQ}{dH} \cdot \left( Z_0 - Z_1 + \frac{P_0 - P_1}{\rho \cdot g} + \underline{Q_0} \cdot \frac{\rho_0 \cdot \underline{Q_0}}{2 \cdot \rho \cdot g \cdot S_0^2} - \underline{Q_1} \cdot \frac{\rho_1 \cdot \underline{Q_1}}{2 \cdot \rho \cdot g \cdot S_1^2} - H_{pre} \right)$$

Poznámky:

- Uzly mohou mít různou plochu potrubí.
- Hustota  $\rho$  je hustota v uzlu, ze kterého přitéká do čerpadla kapalina.

### **Uzávěr:**

Závisle proměnné:

1. Souč. místní zt. [-], nebo Průtokový souč. [m<sup>3</sup>/h].
2. % otevření [%].
3. Fluid recovery factor FL [-]

Řídící proměnné:

1. Rychlost otírání [%/s].

Vlastnosti:

1. Charakteristika  $\xi$  [-] = f(otevření [%], průtok [m<sup>3</sup>/s]), nebo  $K_v$  [m<sup>3</sup>/hod] = f(otevření [%], průtok [m<sup>3</sup>/s]).
2. Typ charakteristiky [-] = stavová.

3. Charakteristika FL [-] = f(otevření [%], průtok [m<sup>3</sup>/s]).

Přepočty závislých:

- Dle rychlosti otevírání se vypočte nová hodnota otevření.
- Dle otevření a průtoku se vypočte součinitel místní ztráty  $\xi$ , nebo průtokový součinitel (podle zvoleného typu charakteristiky).
- Pokud je zadána charakteristika FL (je nepovinná), vypočte se dle otevření a průtoku hodnota FL.

Rovnice:

1. Rovnost průtoků:  $\underline{Q0} = \underline{Q1}$ .

2. Pokud je uzávěr uzavřen, má druhá rovnice tvar:  $\underline{Q0} = 0$ . Pokud je typ charakteristiky průtokový součinitel, přepočte se na součinitel místní ztráty. Vypočte se minimální tlak na výstupu, při kterém je dosaženo kritického průtoku:  $P_{io_{min}} = P_{ii} \cdot (1 - FL^2) + FL^2 \cdot (0,96 \cdot P_v - P_a) + \rho_{ii} \cdot g \cdot (Z_{ii} - Z_{io}) \cdot (1 - FL^2)$ , kde ii značí index vstupního uzlu, io index uzlu výstupního,  $P_v$  je absolutní tlak nasycených par a  $P_a$  je absolutní atmosférický tlak. V případě, že charakteristika FL není zadána, nebo je v prvku plyn, nebo je  $P_{io_{min}} \leq P_{io}$ , předepíše se klasický vztah pro místní ztrátu:

$$\frac{P_{io} - P_{ii}}{\rho_{io}} + (Z_{io} - Z_{ii}) \cdot g = \underline{Q0} \cdot \frac{\underline{Q0}}{2} \cdot \left( \frac{1}{S_{ii}^2} - \frac{1 + \xi}{S_{io}^2} \right). \text{ Jinak se předepíše rovnice pro nadkritické}$$

$$\text{proudění: } \underline{P_{ii}} \cdot \frac{FL^2}{\rho_{io}} + FL^2 \cdot (Z_{ii} - Z_{io}) \cdot g = \underline{Q0} \cdot \frac{\underline{Q0}}{2} \cdot \left( \frac{1 + \xi}{S_{io}^2} - \frac{1}{S_{ii}^2} \right) + (0,96 \cdot P_v - P_a) \cdot \frac{FL^2}{\rho_{io}}.$$

Poznámky:

- Počítá se s hustotou tekutiny v uzlu po proudu.
- Jakmile je aktuální součinitel místní ztráty větší nebo roven hodnotě, kterou charakteristika udává pro nulové otevření, předepisuje uzávěr nulový průtok (uzavře se).
- V uzlech může být různá průtočná plocha. Rychlostní výšky se uvažují, ztráta se počítá z rychlostní výšky v uzlu po proudu.
- Rovněž posouzení kritického proudění pomocí FL se vztahuje k profilu po proudu.

### **Velká nádrž:**

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

1. Kóta hladiny [m n.S.R.].

Vlastnosti:

1. Napojení [] = konst.
2. Součinitel místní ztráty vtokem do potrubí [-] = konst.
3. Součinitel místní ztráty výtokem do nádrže [-] = konst.

Přepočty závislých:

Rovnice:

1. Pro každý uzel se předepíše tlak od hladiny s uvažováním ztrát a rychlostní výšky:

$$\frac{P0}{\rho} + (Z0 - K_h) \cdot g = \underline{Q0} \cdot \left[ \underline{Q0} \cdot \left( -\frac{1}{2 \cdot S0^2} \right) + \xi \cdot \frac{|\underline{Q0}|}{2 \cdot S0^2} \right].$$

Poznámky:

## Větrník:

Závisle proměnné:

1. Objem vody [m<sup>3</sup>]
2. Přetlak [Bar].
3. Teplota [°C].
4. Kóta hladiny [m n.S.R.].

Řídící proměnné:

1. Průtok odvzd. [m<sup>3</sup>/s].
2. Časová změna teploty [°C/s]

Vlastnosti:

1. Objem větrníku [m<sup>3</sup>] = konst.
2. Polytropní exponent [-] = konst.
3. Součinitel místní ztráty vtokem do potrubí [-] = konst.
4. Součinitel místní ztráty výtokem do větrníku [-] = konst.
5. Kóta dna [m n.S.R.] = konst.
6. Zatopené objemy hloubka [m] = f(objem [m<sup>3</sup>]), nebo hloubka [m] = f(relativní plnění [%]).
7. Průtok pro bilancování v kroku [-] = stavová.
8. Počet paralelních nádrží [-] = konst. (smí být i neceločíselný).
9. Zatopené objemy [-] = stavová.

Přepočty závislých:

- Vypočte se odtok vzduchu odvzdušňovacím ventilem.
- Pokud vychází odtok vzduchu záporný (větrník by se měl zavzdušňovat) a zároveň byl na konci předchozího kroku plný vody, nebo je velikost zavzdušnění v rámci kroku větší, než předchozí objem vzduchu, jedná se o začátek zavzdušňování, který je ošetřen následujícím speciálním postupem: Podle toho, jestli je přítok vzdušником větší nebo menší než odtok uzlem, se přetlak s malým relaxačním faktorem iteraci od iterace zvětšuje nebo zmenšuje, dokud není dosaženo konvergence. Objem vody se v každé iteraci spočítá jako předchozí objem mínus objem přiteklu vzduchu.
- Pokud se nejedná o začátek zavzdušňování, spočítá se nejprve nový objem vody na základě průtoku vody uzlem (pokud je v přítokovém potrubí voda, vypočte se průměrný přítok/odtok vody do větrníku v průběhu intervalu mezi kroky) a poté se vypočte nový objem vzduchu za normálního tlaku na základě průtoku vzduchu uzlem a odvzdušňovacím ventilem:

$$Q_{Pa} = Q_{-1} \cdot \left( \frac{P_{-1} + P_a}{P_a} \right)^{1/\gamma} \cdot w_{-1} + Q \cdot \left( \frac{P + P_a}{P_a} \right)^{1/\gamma} \cdot w - Q_{ov}, \text{ kde váha předchozího a aktuálního kroku je}$$

buď 0,5, nebo 1 a 0, podle toho, zda průtok pro bilancování má být v průběhu kroku konstantní. Objem vzduchu na začátku časového intervalu se přepočte na objem za normálního tlaku (polytropní děj) a přičte se k němu vzduch přiteklu:

$$V_0 = V_{-1} \cdot \left( \frac{P_{-1} + P_a}{P_a} \right)^{1/\gamma} + Q_{Pa} \cdot \text{Pokud nedochází k úplnému odvzdušnění, za předpokladu vratného}$$

polytropního děje se vypočte nový přetlak a teplota:  $P = P_a \cdot \left( \frac{V_0}{V} \right)^\gamma - P_a,$

$$T = (T_{-1} - T_0) \cdot \left( \frac{P_{-1}}{P} \right)^{1-1/\gamma} + T_0, \text{ provede se změna teploty v důsledku výměny tepla s okolím (řídící}$$

proměnná):  $T = T + \Delta T$  a provede se příslušná oprava tlaku:  $P = (P + P_a) \cdot \left(1 + \frac{\Delta T}{T - T_0}\right) - P_a$ . Pokud

dochází k úplnému odvzdušnění, mění se větrník na okrajovou podmínku nulového průtoku.

- Z aktuálního objemu vody se přes charakteristiku zatopených objemů vypočte kóta hladiny nade dnem větrníku, která musí být nezáporná (jinak je hlášena chyba). Pokud není charakteristika zadána, předpokládá se nulová hloubka. Po přičtení ke kótě dna se získá kóta hladiny  $K_h$ . Pokud není povolen výpočet oddělených fází a kóta hladiny je pod kótou uzlu, hlásí se chyba.
- Vypočte se fáze ve větrníku na úrovni zaústění přípojky. Pokud je hladina níže, než je kóta uzlu, nebo je objem vody nulový, jde o plyn. V opačném případě jde o kapalinu.
- Pokud se liší fáze v prvku a fáze z uzlu do prvku, znamená to, že právě dochází k zavzdušnění nebo zavodnění potrubí a do potrubí se odešle příslušné rozhraní.
- Charakteristiku zatopených objemů lze volit buď absolutní (hloubka funkcí objemu), nebo relativní (hloubka funkcí relativního plnění).

Rovnice:

1. Pokud je ve větrníku vzduch, předepíše se tlak (přetlak nad hladinou zvýšený o převýšení hladiny nad kótou uzlu s uvážením ztrát a rychlostní výšky a s uvážením změny tlaku oproti aktuální iteraci vlivem změny průtoku oproti aktuální iteraci, má-li se tato změna s ohledem na vlastnost 7 uvažovat).

$$\frac{P_0 - P}{\rho_0} + (Z_0 - K_h) \cdot g + Q_0 \cdot \frac{\gamma}{\rho_0} \cdot \frac{P}{V} \cdot \frac{\Delta T}{2} = \underline{Q_0} \cdot \left[ Q_0 \cdot \left( -\frac{1}{2 \cdot S_0^2} \right) + \xi \cdot \frac{|Q_0|}{2 \cdot S_0^2} + \frac{\gamma}{\rho_0} \cdot \frac{P}{V} \cdot \frac{\Delta T}{2} \right]$$

Pokud ve větrníku není vzduch, předepíše se nulový průtok:  $\underline{Q_0} = 0$

Poznámky:

- Průtok odvzdušňovacím ventilem je v m<sup>3</sup> za normálního tlaku.
- Zaústění přípojky větrníku se předpokládá na kótě uzlu.
- Počítá se s hustotou v uzlu (neuvažuje se změna hustoty u plynu v důsledku místní ztráty!).

### **Vzdušník:**

Závisle proměnné:

1. Průtok odvzduš. Ventilem. [m<sup>3</sup>/s].

Řídící proměnné:

Vlastnosti:

1. Char. Odvzduš. Ventilu průtok [m<sup>3</sup>/s] = f(přetlak [Bar]).
2. Polytropní exponent n [-] = konst.

Přepočty závislých:

- Vypočte se průtok odvzdušňovacím ventilem (v m<sup>3</sup>/s za normálního tlaku) z charakteristiky ventilu  $Q_0 = f(P)$ . V případě výpočtu oddělených fází není odtok umožněn, pokud fáze v prvku je kapalina. V případě výpočtu bez oddělených fází není odtok umožněn, pokud je zavzdušněný objem nulový.
- Integruje se množství vzduchu přitekajícího do potrubí.

Rovnice:

1. Rovnice kontinuity s linearizovanou závislostí průtoku odvzdušňovacím ventilem na přetlaku:

$$\underline{Q} - \left( \frac{Q}{P} \right) \cdot P_0 = 0, \text{ kde } Q \text{ je průtok odvzdušňovacím ventilem přepočtený z } Q_0 \text{ na průtok ve stlačeném stavu.}$$

Poznámky:

- Charakteristika udává průtok odvzdušňovacím ventilem pro daný přetlak (podtlak) v jednotkách m<sup>3</sup> plynu za normálního tlaku.

### **Vzdušník2:**

Závisle proměnné:

1. Průtok odvzduš. Ventilem. [m<sup>3</sup>/s].

Řídící proměnné:

Vlastnosti:

1. Char. Odvzduš. Ventilů: průtok [m<sup>3</sup>/s] = f(přetlak [Bar]).
2. Polytropní exponent: n [-] = konst.

Přepočty závislých:

- Tlak v prvku se uvažuje podle uzlu, kterým odtéká z prvku tekutina.
- Vypočte se průtok odvzdušňovacím ventilem (v m<sup>3</sup>/s za normálního tlaku) z charakteristiky ventilu  $Q_0 = f(P)$ . V případě výpočtu oddělených fází není odtok umožněn, pokud fáze v prvku je kapalina. V případě výpočtu bez oddělených není odtok umožněn, pokud je zavzdušněný objem nulový.
- Integruje se množství vzduchu přitekajícího do potrubí.

Rovnice:

1. Rovnost poloh čáry energie:  $\underline{Q1} \cdot \frac{Q1}{2 \cdot S1^2} - \underline{Q0} \cdot \frac{Q0}{2 \cdot S0^2} + \frac{P1}{\rho} - \frac{P0}{\rho} = g \cdot (Z0 - Z1)$ .

2. Rovnice kontinuity s linearizovanou závislostí průtoku odvzdušňovacím ventilem na přetlaku:

$$\underline{Q0} + \underline{Q1} - \left( \frac{Q}{P} \right) \cdot \frac{P0 + P1}{2} = 0, \text{ kde } Q \text{ je průtok odvzdušňovacím ventilem přepočtený z } Q_0 \text{ na}$$

průtok ve stlačeném stavu.

Poznámky:

- Charakteristika udává průtok odvzdušňovacím ventilem pro daný přetlak (podtlak) v jednotkách m<sup>3</sup> plynu za normálního tlaku.
- Pokud dojde k zavzdušnění do protékající kapaliny, hlásí se chyba (míšení fází není dovoleno).

### **Zpětná klapka:**

Závisle proměnné:

Řídící proměnné:

Vlastnosti:

1. Otevírací přetlak 0-> 1 [Bar] = konst.
2. Zavírací průtok 0-> 1 [m<sup>3</sup>/s] = konst.
3. Rychlost zpětného proudění 1-> 0 [m/s] = f(zpomalení [m/s<sup>2</sup>]).
4. Tlakový spád [Bar] = f(rychlost [m/s]).

Přepočty závislých:

Rovnice:

0. Rovnost průtoků:  $\underline{Q0} = \underline{Q1}$  v otevřeném stavu, předpis průtoku v uzavřeném:  $\underline{Q0} = 0$ .

1. V otevřeném stavu rozdíl tlaků daný otevíracím přetlakem nebo charakteristikou tlakového spádu, pokud je zadána:  $\underline{P0} - \underline{P1} = \Delta P + (Z1 - Z0) \cdot g \cdot \rho$ . V uzavřeném stavu předpis průtoku:  $\underline{Q1} = 0$ .

Poznámky:

- Aby byl prvek otevřený, musí platit obě z následujících podmínek:
  - o Prvek je otevřen, pokud rozdíl tlaků ve směru 0->1 je větší, než otevírací přetlak zmenšený o přesnost.
  - o Prvek je otevřen, pokud je průtok ve směru 0->1 větší než zavírací průtok zmenšený o přesnost. Pokud je zadán předpis pro výpočet rychlosti zpětného proudění, je jako kritérium použit průtok vyplývající z této rychlosti, přičemž zpomalení se počítá jako průměrné zrychlení od okamžiku, kdy byl průtok naposledy větší nebo roven uzavíracímu průtoku.
- Zpomalení je kladné při snižování rychlosti v kladném směru. Zpětná rychlost je uvažována jako kladná při proudění v záporném (uzávěrovém směru).
- Pokud je otevírací přetlak kladné číslo a není zadána charakteristika tlakového spádu, v otevřeném stavu se udržuje tlakový spád rovný otevíracímu přetlaku. Pokud je charakteristika tlakového spádu zadána, tlakový spád je v otevřeném stavu počítán z rychlosti. Charakteristika tlakového spádu musí být taková, aby pro žádný průtok nebyl tlakový spád menší, než otevírací přetlak – v opačném případě dojde při takovém průtoku k uzavření prvku.

## Změny

Níže jsou zaznamenány pouze věcné změny obsahu (tj. nikoliv změny formálního charakteru):

- 21. 11. 2020 Doplněn popis interpolací v části [Vzorce](#).
- 15. 5. 2020 Doplněn popis v části [Karta Zobrazení](#).
- 19. 3. 2020 Doplněn popis nového prvku [Kontrolní ventil](#):.  
Aktualizován popis práce s prvky.  
Odstraněn popis prvku Nádrž2 a aktualizován popis prvků [Nádrž](#): a [Velká nádrž](#):
- 20. 2. 2020 Doplněny vlastnosti [Potrubí](#): pro výpočet s bočním odtokem.
- 19. 11. 2019 Přidána kapitola [Optimalizace](#).
- 15. 9. 2019 Doplněn popis cyklu While(conditionExpr; trueExpr) – Dokud je hodnota argumentu conditionExpr logická pravda, provádí se trueExpr. Jako výstup je vrácen výsledek posledního provedení trueExpr. Pokud je již při první iteraci hodnota conditionExpr logická nepravda, vrací se numerická hodnota NaN. Při překročení maximálního počtu iterací (nastaveno implicitně na  $10^6$ ) se generuje chyba.
- 9. 5. 2019 Přidána kapitola Soubory programu.  
Přidána kapitola Výpočet oddělených fází.