

ZÁSOBNÍ A HYDROENERGETICKÝ NÁVRH VODOHOSPODÁŘSKÉ SOUSTAVY

Pavel Čupela

Anotace:

Cílem příspěvku je popsat software a jeho grafické uživatelské rozhraní, zabývající se hydroenergetikou. Představen bude výpočet výkonu, když bude odtok z nádrže řízen na požadovaný výkon turbíny. To znamená, že vnitřní optimalizací je hledán takový průtok na turbínu, aby vypočtený výkon byl maximální a kritériální funkce aby dosahovala minima.

Klíčová slova: grafické uživatelské rozhraní, software, simulační model, soustava nádrží, optimalizace, výkon, zabezpečení.

Pavel Čupela: STORAGE AND HYDROPOWER DESIGN WATER BASINS SYSTEM

Annotation:

The aim of this article is to describe the software and graphical user interface software dealing with hydropower. The calculation of power will be described for the situation of desired turbine power managed by the reservoir outflow. There is used an internal optimization process for finding such turbine outflow to maximize the calculated power. This is done by using appropriate criterial function.

Key words: graphical user interface, software, simulation model, water basins system, optimization, power, assurance.

ÚVOD

Cílem příspěvku je popsat hydroenergetický modul a jeho grafické uživatelské rozhraní, který navazuje na stávající software. Stávající software byl napsán v programu FORTRAN 77 a grafické uživatelské rozhraní bylo vytvořeno ve vývojovém prostředí Microsoft Visual studio 2008 Express editions za použití programovacího jazyka Microsoft Visual C# 2008. Stávající software (SimSoftVS) byl napsán Ing. Pavlem Menšíkem Ph.D. [1].

Samostatné rozšiřování programu probíhá přímo v samotném prostředí stávajícího programu za použití programovacího jazyka FORTRAN 77 a bude přikompilováno ke stávajícímu programu. Uživatelské prostředí je vyvíjeno v objektově orientovaném programovacím jazyce Delphi 7. Hydroenergetický modul ze stanovených zásobních objemů a průtoků vypočítá průměrný měsíční výkon za určitý časový úsek. Tyto veličiny se počítají pomocí rovnic, které byly přikompilovány do hydroenergetického modulu.

POUŽITÉ METODY ŘEŠENÍ

Složité vodohospodářské soustavy je možno nahradit ohodnoceným orientovaným grafem. Na vodohospodářské soustavě, popsané ohodnoceným orientovaným grafem, řešíme buď úlohu optimálního řízení systému, nebo úlohu optimálního rozvoje systému. Tyto úlohy pak můžeme řešit simulačním modelem. Ohodnocený orientovaný graf, obě úlohy a simulační model byli popsány v příspěvcích [3] a [4].

Řízení odtoku z nádrží

Jak je uvedeno v práci Ing. Pavla Menšíka Ph.D. [2] pravidla řízení odtoku vody z nádrží v optimalizačním modelu není třeba zavádět, vychází totiž ze samotného řízení. U simulačního modelu můžeme použít pravidla řízení, která jsou založena na teorii stavu nádrží v systému a vychází se z dispečerských grafů. Jinak je řídicí odtok roven nadlepenému odtoku Op. S tímto počítá stávající software.

V nově přikompilované části programu má uživatel možnost zapnout řízení odtoku na požadovaný výkon, při kterém je hledán průtok na turbínu $O_{T^{i,j}}$. Průtok na turbínu $O_{T^{i,j}}$ musí být

z intervalu $O_{T_{i,j}}^\tau \in \langle \hat{O}_{T_{i,j}}^\tau, \check{O}_{T_{i,j}}^\tau \rangle$. Kde $\hat{O}_{T_{i,j}}^\tau$ je spodní hranice hltnosti a $\check{O}_{T_{i,j}}^\tau$ je horní hranice hltnosti. Stanovení $O_{T_{i,j}}^\tau$ probíhá pomocí optimalizační mřížkové metody s pevným krokem rovnice (1). Hodnota $O_{T_{i,j}}^\tau$ v prvním časovém kroku odpovídá $\hat{O}_{T_{i,j}}^\tau$.

$$O_{T_{i,j}}^\tau = O_{T_{i,j}}^\tau + \left[\left(\overset{\vee}{O}_{T_{i,j}}^\tau - \hat{O}_{T_{i,j}}^\tau \right) / 1000 \right] \quad (1)$$

Když je $O_{T_{i,j}}^\tau \leq \text{ODTOK}_{i,j}^\tau$, potom výpočet pro objem bude počítán dle rovnice (2).

$$V_j^\tau = V_{T_j}^\tau - (\text{ODTOK}_{i,j}^\tau \cdot \Delta t) + (Q1_{i,j}^\tau \cdot \Delta t) + (QPOD_{i,j}^\tau \cdot \Delta t) \quad (2)$$

Pokud je $O_{T_{i,j}}^\tau > \text{ODTOK}_{i,j}^\tau$, rovnice bude mít tvar (3).

$$V_j^\tau = V_{T_j}^\tau - (O_{T_{i,j}}^\tau \cdot \Delta t) + (Q1_{i,j}^\tau \cdot \Delta t) + (QPOD_{i,j}^\tau \cdot \Delta t) \quad (3)$$

Z rovnic (2) a (3) dostaneme hodnotu objemu $V_{i,j}^\tau$, který uvažujeme vždy na konci časového úseku. Ve výpočtu jsou všechny průtoky přenásobeny hodnotou Δt . Hodnotou Δt jsou průtoky převedeny na objemy. Hodnotu objemu $V_{T_{i,j}}^\tau$ na začátku časového kroku získáme pomocí stávajícího softwaru. Dle rovnice (4) se počítá $V_{PRUM_j}^\tau$.

$$V_{PRUM_j}^\tau = (V_j^\tau + V_{T_j}^\tau) / 2 \quad (4)$$

Výpočet výšky H_j^τ je proveden pomocí interpolace z batygrafické křivky zatopených objemů nádrže. Výpočet výšky H_j^τ je popsán v příspěvku [4]. Výkon je počítán dle rovnice (5).

$$P_{VYP_j}^\tau = O_{T_{i,j}}^\tau \cdot \rho \cdot g \cdot H_j^\tau \cdot \eta_t \quad (5)$$

Výpočet optimalizace podle rovnice (1) je prováděn do splnění podmínky $P_{VYP_j}^\tau \leq P_{POZ_j}^\tau$. Jakmile je $P_{VYP_j}^\tau > P_{POZ_j}^\tau$, tak dojde k ukončení výpočtu $O_{T_{i,j}}^\tau$. Optimalizační metodou je nalezen nejvyšší výkon a k němu příslušný největší možný průtok na turbínu $O_{T_{i,j}}^\tau$. Hodnotu $P_{POZ_j}^\tau$ uživatel zadá před výpočtem v grafickém uživatelském rozhraní. Hodnota $P_{POZ_j}^\tau$ jde zadat pro každý měsíc individuálně anebo pro všechny měsíce konstantně,

kde značí:

$\check{O}_{i,j}^\tau$	maximální průtok hranou $h_{i,j}$ na turbínu v časovém kroku τ ,
$\hat{O}_{i,j}^\tau$	minimální průtok hranou $h_{i,j}$ na turbínu v časovém kroku τ ,
$O_{T_{i,j}}^\tau$	hodnotu průtoku na turbínu na hraně $h_{i,j}$ v časovém kroku τ ,
$V_{T_j}^\tau$	objem vody ve vrcholu n_j na začátku časového kroku τ ,
Δt	délka časového kroku jednoho měsíce,
V_j^τ	objem vody ve vrcholu n_j na konci časového kroku τ ,
$V_{PRUM_j}^\tau$	průměrný objem vody ve vrcholu n_j v časovém kroku τ ,
$QPOD_{i,j}^\tau$	podzemní přítok hranou $h_{i,j}$ v časovém kroku τ ,
$Q1_{i,j}^\tau$	průtok hranou $h_{i,j}$ v časovém kroku τ ,
$P_{VYP_j}^\tau$	vypočtený výkon ve vrcholu n_j v časovém kroku τ [W],
ρ	hustotu vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
g	tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
η_t	účinnost turbíny,
H_j^τ	výškový rozdíl hladin ve vrcholu n_j v časovém kroku τ [m].
$\text{ODTOK}_{i,j}^\tau$	odtok hranou $h_{i,j}$ v časovém kroku τ ,

Kriteriální funkce

Kriteriální funkce rovnice (7) řeší zabezpečení dodávky výkonu, je to tedy rozdíl mezi vypočtenou zabezpečeností a zabezpečeností požadovanou. Vypočtená zabezpečení se počítá dle rovnice (6).

$$Z_{VYP_j}^{\tau} = \frac{P_{VYP_j}^{\tau}}{P_{POZ_j}^{\tau}} \quad (6)$$

$$\left[\pi = \sum_{\forall h_{j,k}; n_j \in U_1} \sum_{\tau=1}^N (Z_{VYP_j}^{\tau} - Z_{POZ_j}^{\tau})^2 \right] \rightarrow MIN \quad (7)$$

kde značí:

- $Z_{VYP_j}^{\tau}$ vypočtenou zabezpečení ve vrcholu n_j v časovém kroku τ [%],
- $P_{VYP_j}^{\tau}$ vypočtený výkon ve vrcholu n_j v časovém kroku τ [W],
- $P_{POZ_j}^{\tau}$ požadovaný výkon ve vrcholu n_j v časovém kroku τ [W],
- $Z_{POZ_j}^{\tau}$ požadovanou zabezpečení ve vrcholu n_j v časovém kroku τ [%].

SOFTWARE

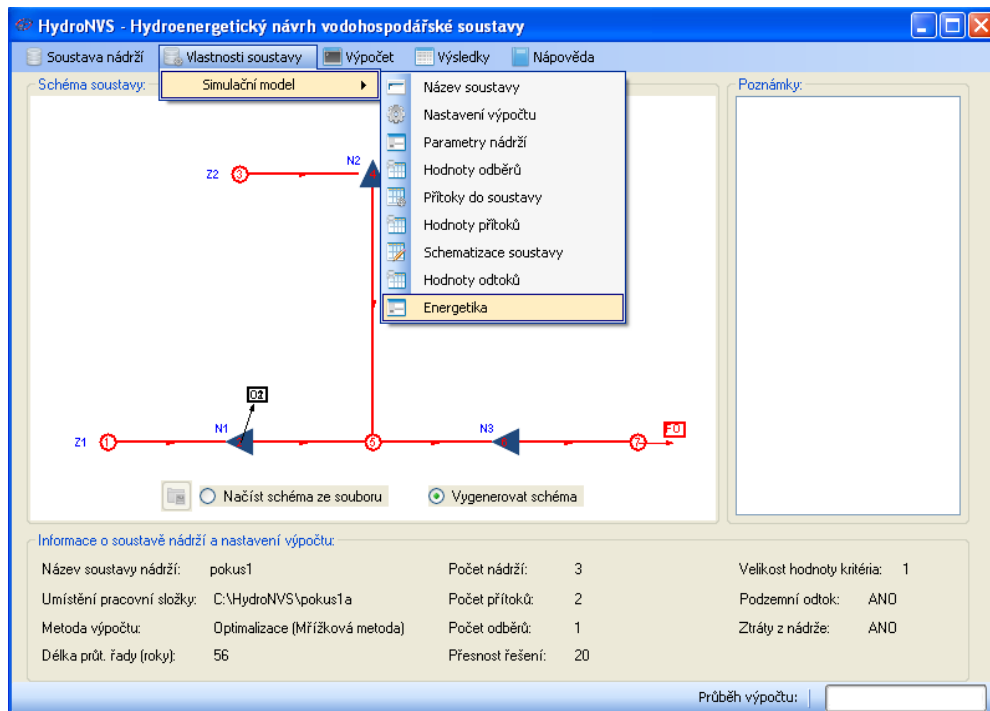
Stávající software je napsán obecně tak, aby pomocí kódových čísel bylo možno zadat libovolnou konfiguraci vodohospodářské soustavy a následně automatizovaně sestavit simulační model. Dále umožní pomocí simulačního modelu najít optimální režim odtoku vody z nádrží spolupracující v rámci vodohospodářské soustavy. Stanovené průtoky a zásobní objemy jsou pak dále využívány.

V hydroenergetickém modulu, spolu s dalšími veličinami, jsou využity k výpočtu požadovaného výkonu.

GRAFICKÉ UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ

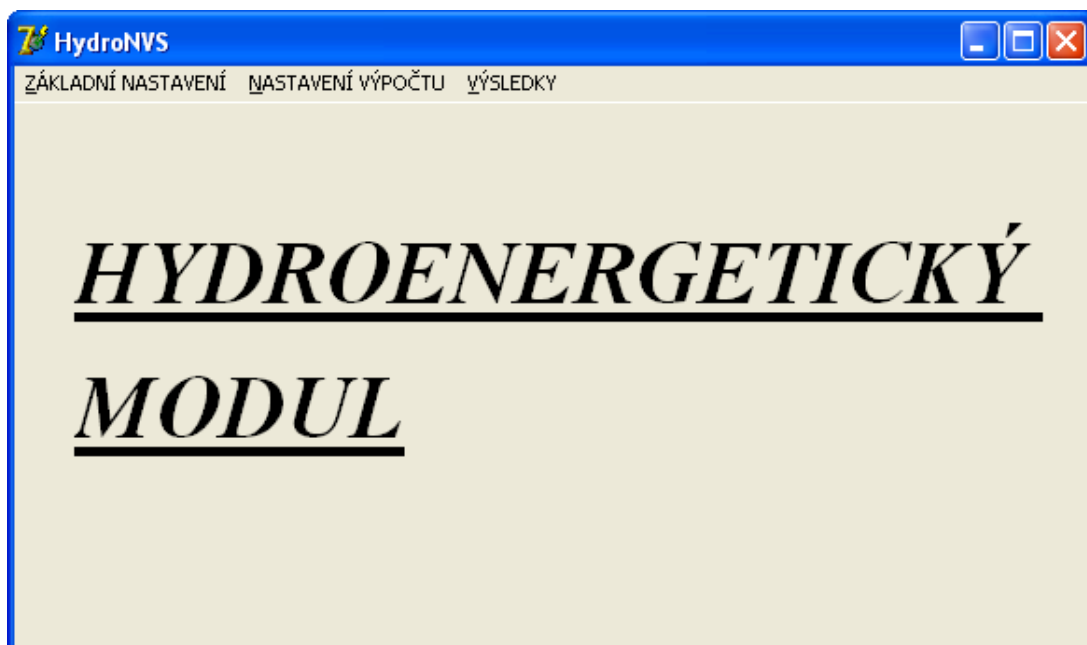
Uživatelské rozhraní hydroenergetického modulu bylo vytvořeno v objektově orientovaném programovacím jazyce Delphi 7. Grafické uživatelské rozhraní umožňuje v jednotlivých dialogových oknech uživateli jednoduše načítat a upravovat jednotlivé vstupní hodnoty, konfigurovat a spouštět výpočet a zobrazovat výsledky.

Na obr. 1 je dialogové okno "Stávajícího softwaru". Zde je naznačeno, jak si uživatel spustí hydroenergetický modul.



Obr. 1 Stávající software - spuštění hydroenergetického modulu

Po kliknutí se otevře dialogové okno "Hydroenergetického modulu", obr. 2. V horní části dialogového okna se nacházejí jednotlivé záložky "ZÁKLADNÍ NASTAVENÍ" a "NASTAVENÍ VÝPOČTU", zde uživatel zadá potřebná data k výpočtu. V poslední záložce "VÝSLEDKY" se zobrazí dosažené výsledky. Po rozkliknutí jednotlivých záložek se zobrazí příslušná dialogová okna.



Obr. 2 Dialogové okno "Hydroenergetický modul"

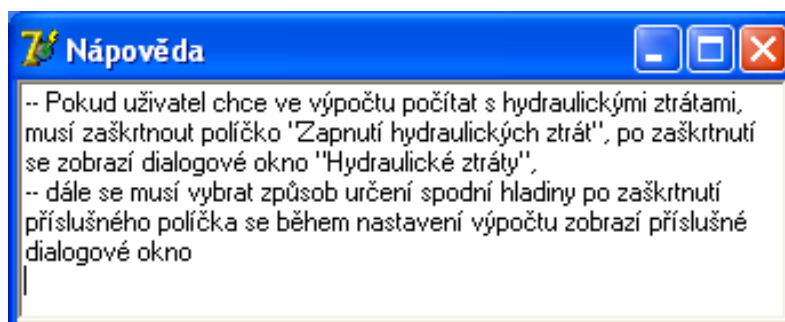
V prvním dialogovém okně "Základní nastavení", obr. 3, uživatel nastaví hustotu vody a tíhové zrychlení. Dále má uživatel možnost zapnutí hydraulických ztrát. Po zaškrtnutí se zobrazí

dialogové okno “Hydraulické ztráty”. Dále má možnost nastavit výpočet spodní hladiny koryta. Buď spodní hladina bude konstantní hodnota anebo se stanoví z měrné křivky průtoku. Pomocí tlačítek “Ulož hodnoty” a “Zavři” se nejprve zapsané hodnoty uloží a poté dojde k zavření dialogového okna.



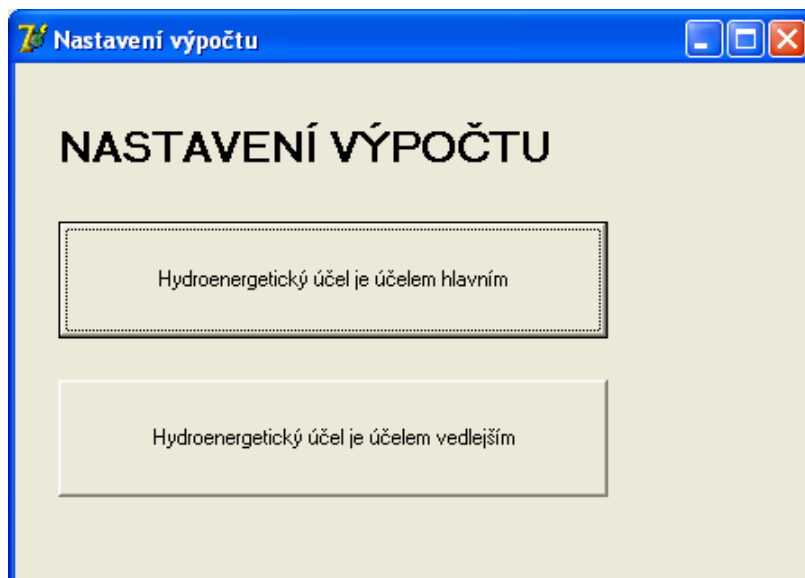
Obr. 3 Dialogové okno “Základní nastavení”

V pravém horním rohu má uživatel nápovědu, po rozkliknutí informačního políčka se mu zobrazí dialogové okno “Nápověda”, obr. 4.



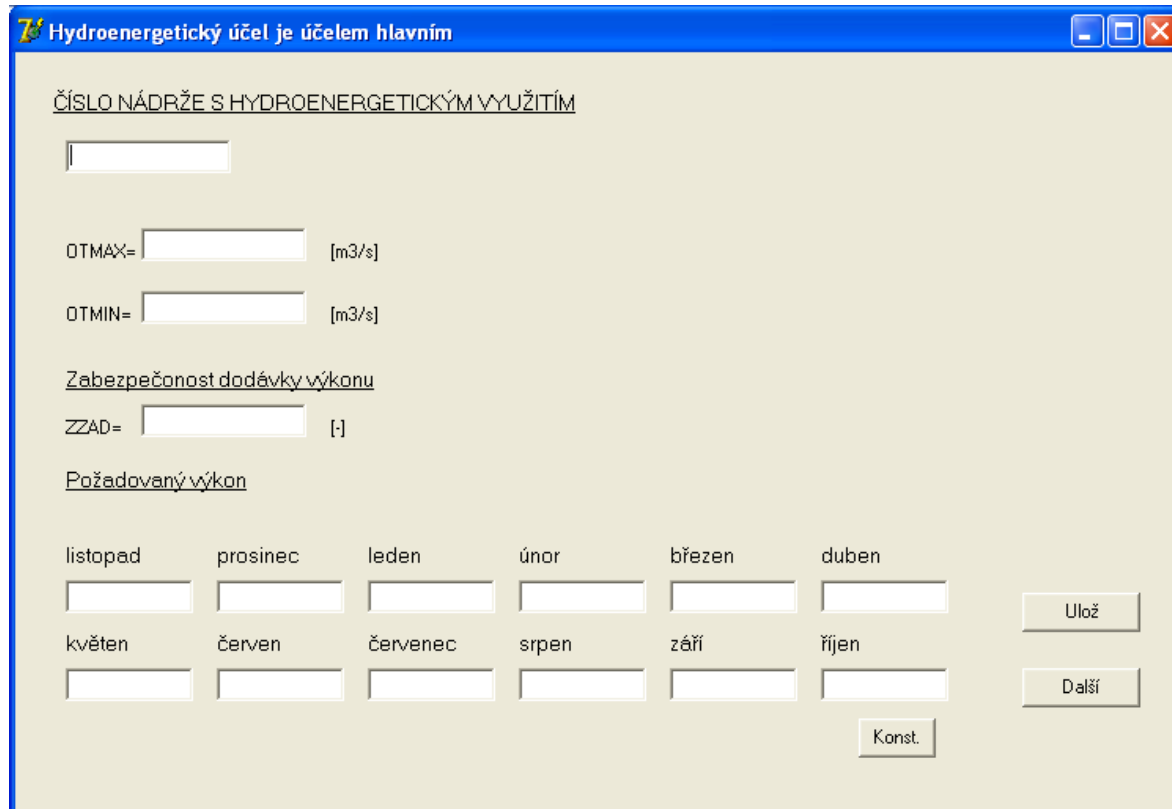
Obr. 4 Dialogové okno “Nápověda”

Po zavření dialogového okna “Základní nastavení” se uživatel dostane zpět do základního okna hydroenergetického modulu. Po otevření dialogového okna “Nastavení výpočtu”, obr. 5, má uživatel možnost vybrat, jestli bude hydroenergetický účel, účelem hlavním nebo vedlejším.



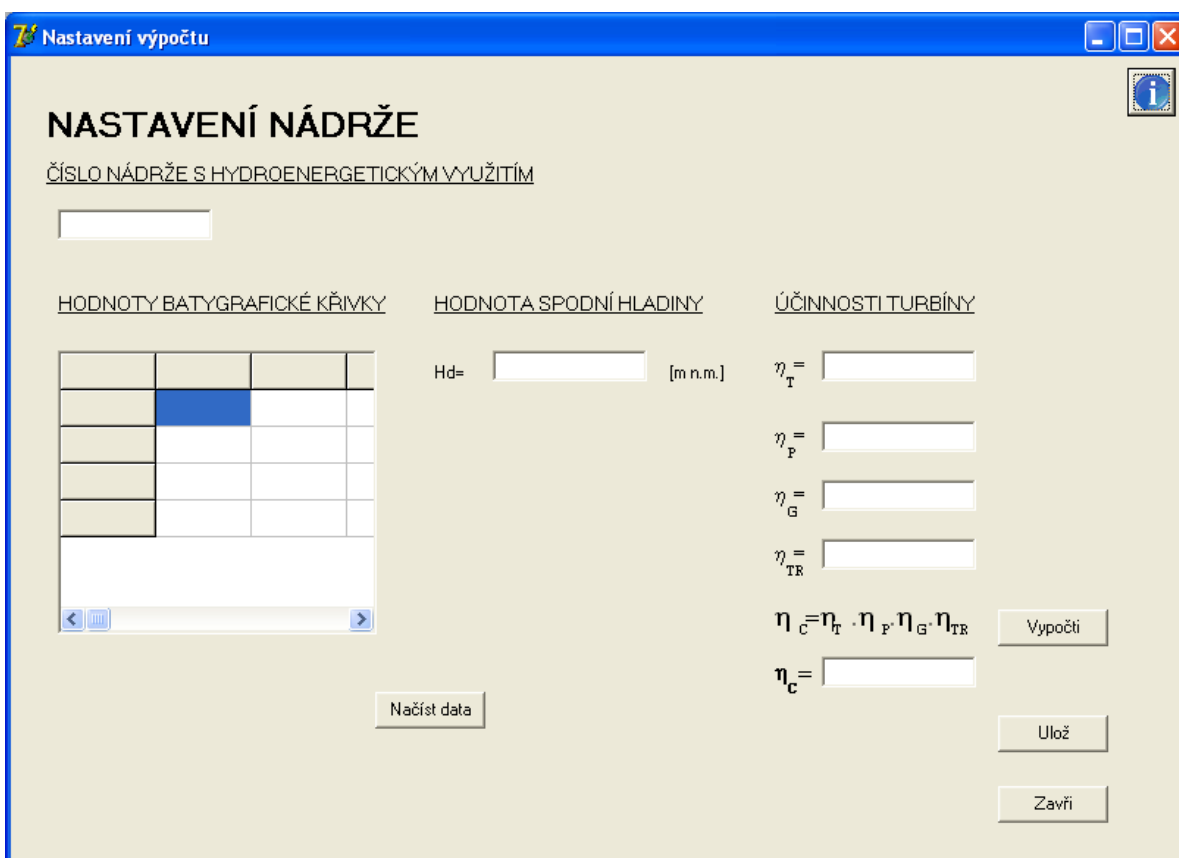
Obr. 5 Dialogové okno “Nastavení výpočtu”

Po zakliknutí prvního políčka se zobrazí dialogové okno “Hydroenergetický účel je účelem hlavním“, obr. 6. Uživatel nejprve zadá číslo nádrže, u které má být proveden výpočet. Poté zadá hodnoty OTMAX a OTMIN. Tyto hodnoty určují rozpětí průtoku, který bude pouštěn na turbínu. Další zadanou hodnotou je ZZAD, která představuje zabezpečení podle dosaženého výkonu. V dalších 12 políčkách uživatel nastaví hodnotu požadovaného výkonu. Požadovaný výkon může být zadán v každém měsíci individuálně anebo konstantně. Pomocí tlačítka “Ulož” se zapsané hodnoty uloží a pomocí tlačítka “Další” se zobrazí dialogové okno “Nastavení nádrže“, obr. 7.

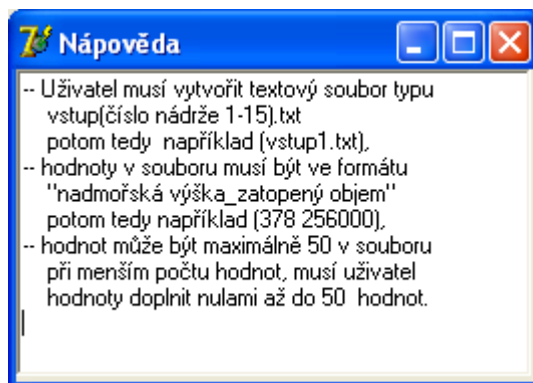


Obr. 6 Dialogové okno “Hydroenergetický účel je účelem vedlejším”

V dialogovém okně “Nastavení nádrže“, obr. 7, uživatel postupně bude zadávat vstupní hodnoty. K usnadnění zadávání vstupních hodnot má uživatel k dispozici nápovědu, obr. 8, ve které je popsán postup jak si správně připravit jednotlivé vstupy, aby byli ve správném formátu a šli tak správně načíst. Nápověda dále obsahuje i postup jak má uživatel postupovat krok po kroku. Po přečtení uživatel tedy nejprve zadá číslo nádrže, kde má být proveden hydroenergetický výpočet. Dále se musí načíst hodnoty batygrafické křivky. V druhém sloupci uživatel nastaví hodnotu spodní hladiny - H_d . V posledním sloupci se nastaví jednotlivé účinnosti, a to η_t - účinnost turbíny, η_P - účinnost převodu, η_G - účinnost generátoru, η_{TR} - účinnost transformátoru. Po zadání dílčích účinností se vypočte η_C - účinnost celková, pomocí tlačítka “Vypočti“. Po zmačknutí tlačítka “Ulož“, se hodnoty uloží a buňky se následně vymažou a uživateli se tak umožní nastavit další nádrž. Po nastavení všech nádrží se hydroenergetický modul pomocí tlačítka “Zavři“, ukončí. A může být proveden výpočet.



Obr. 7 Dialogové okno “Nastavení nádrže“



Obr. 8 Dialogové okno “Nápověda“

Na obr. 9 je druhá alternativa dialogového okna “Nastavení nádrže“, kde je uživateli umožněno výšku spodní hladiny počítat pomocí měrné křivky průtoku spodního koryta. Opět má uživatel k dispozici nápovědu, obr. 10. Ovšem za předpokladu, že má dostatečná data pro sestavení této křivky. Ne vždy jsou tyto hodnoty volně k dispozici.

NASTAVENÍ NÁDRŽE

ČÍSLO NÁDRŽE S HYDROENERGETICKÝM VYUŽITÍM

ČÁRA ZATOPENÝCH OBJEMŮ

MKP SPODNÍHO KORYTA

ÚČINNOSTI TURBÍNY

$\eta_T =$

$\eta_P =$

$\eta_G =$

$\eta_{TR} =$

$\eta_c = \eta_T \cdot \eta_P \cdot \eta_G \cdot \eta_{TR}$

$\eta_c =$

Obr. 9 Dialogové okno “Nastavení nádrže“

Nápověda

- Uživatel musí vytvořit textový soubor typu vstup(číslo nádrže 1-15).txt potom tedy například (vstup1.txt).
- hodnoty v souboru musí být ve formátu "nadmořská výška_zatopený objem" potom tedy například (378 256000).
- hodnot může být maximálně 50 v souboru při menším počtu hodnot, musí uživatel hodnoty doplnit nulami až do 50 hodnot.
- dále musí vytvořit textový soubor typu mkpvstup(číslo nádrže 1-15).txt potom tedy například (mkpvstup1.txt).
- hodnoty v souboru musí být ve formátu "nadmořská výška_průtok" potom tedy například (378 2.5).
- hodnot může být maximálně 50 v souboru při menším počtu hodnot, musí uživatel hodnoty doplnit nulami až do 50 hodnot.

Obr. 10 Dialogové okno “Nápověda“

Po provedení výpočtu se uživatel vrátí zpět do dialogového okna “Hydroenergetického modulu“, kde si v poslední záložce otevře dialogové okno “Výsledky“. Výsledky jsou prozatím v textovém souboru poznámkového bloku.

ZÁVĚR

Přikompileovaný hydroenergetický modul obsahuje rovnice pro výpočet hydroenergetiky. Uživatelské rozhraní pro hydroenergetický modul bylo vytvořeno v objektově orientovaném programovacím jazyce Delphi 7.

Poděkování

Řešená úloha je výsledkem specifického výzkumu FAST-S-12-19/1649 „Zásobní a hydroenergetická funkce soustavy nádrží v podmínkách nejistotou zatížených členů vstupních hydrologických řad.“

LITERATURA

- [1] MENŠÍK, P.: SimSoftVS: Simulační model zásobní funkce vodohospodářské soustavy. In Zborník súťažných prác mladých odborníkov. BRATISLAVA. 2011. 8 s. ISBN 978-80-88907-76-3.
- [2] MENŠÍK, P.: Automatizace řešení zásobní funkce vodohospodářské soustavy. Disertační práce. Brno. 2012. 186 s.
- [3] ČUPELA, P. Hydroenergetické využití vodohospodářské soustavy nádrží – rozšíření softwarové aplikace. In *Zborník súťažných prác mladých odborníkov*. Bratislava: 2012. s. 1-10. ISBN: 978-80-88907-81-7.
- [4] ČUPELA, P. HydroNVS: Hydroenergetické využití vodohospodářské soustavy nádrží. In Zborník súťažných prác mladých odborníkov. Bratislava: 2013. s. 1-9. ISBN: 978-80-88907-85-5.
- [5] STARÝ, M.: Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 02). Brno : VUT v Brně - Fakulta stavební. 2006. 120 s.
- [6] STARÝ, M.: Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01). Brno: VUT v Brně - Fakulta stavební. 2006. 117 s.

Pavel Čupela: STORAGE AND HYDROPOWER DESIGN WATER BASINS SYSTEM

The aim of this article is to describe the software and graphical user interface software dealing with hydropower. The calculation of power will be described for the situation of desired turbine power managed by the reservoir outflow. There is used an internal optimization process for finding such turbine outflow to maximize the calculated power. This is done by using appropriate criterial function. The mathematical part of the software was made in the programming language FORTRAN 77 and the graphical user interface was created in the development environment of the Microsoft Visual C# 2008. The extension of the software has been developed within the environment of already existing software by using the programming language FORTRAN 77. The graphical user interface of the Hydropower module was set up in the programming language Delphi 7. Hydropower module will allow the calculation of effective power and generated energy for a certain period of time.

Ing. Čupela Pavel

Ústav vodního hospodářství krajiny Fakulta stavební VUT v Brně
Žižkova 17, 602 00 Brno, Česká republika
cupela.p@fce.vutbr.cz