

ODHAD ENERGETICKÉHO ZISKU A OPTIMALIZACE ORIENTACE TRUBKOVÝCH VAKUOVÝCH SLUNEČNÍCH KOLEKTORŮ V SOLÁRNÍM SYSTÉMU

Část II — Algoritmus výpočtu a programové vybavení

MAREK LIŠKA*, MILOSLAV SOURAL**

*Společné laboratorium pre základný výskum skla Centra chemického výskumu SAV a Výskumného a vývojového ústavu sklárskeho, ul. SNP 20, 912 50, Trenčín

**Výskumný a vývojový ústav sklársky, ul. SNP 20, 912 50 Trenčín

Došlo 7. 6. 1988

Byl navržen algoritmus a vypracován výpočetní program pro samočinný číslicový počítač, umožňující výpočet energetického zisku a optimalizaci orientace trubkových vakuových slunečních kolektorů v solárním systému.

Demonstruje se využití programu při výpočtu denního průběhu teplot v jednotlivých částech solárního systému a funkce regulačních prvků. Dále jsou uvedeny příklady výpočtu vrstevnicových map energetických zisků a přímého výpočtu optimální orientace vakuových kolektorů ve čtyřech typických měsících.

ÚVOD

V předcházející Části I. předkládané série byly navrženy vztahy, umožňující výpočet ozáření a tepelných ztrát trubkových vakuových kolektorů (TVK). Vzhledem k tomu, že jejich platnost byla ověřena porovnáním s experimentálním měřením, poskytují tyto vztahy reálný základ pro algoritmizaci numerické simulace solárního systému.

Tato část je věnována popisu vytvořených programových prostředků na výpočet energetického zisku a optimalizaci orientace kolektorů na samočinných číslicových počítačích. (Použité symboly a označení jsou vysvětleny v Části I.)

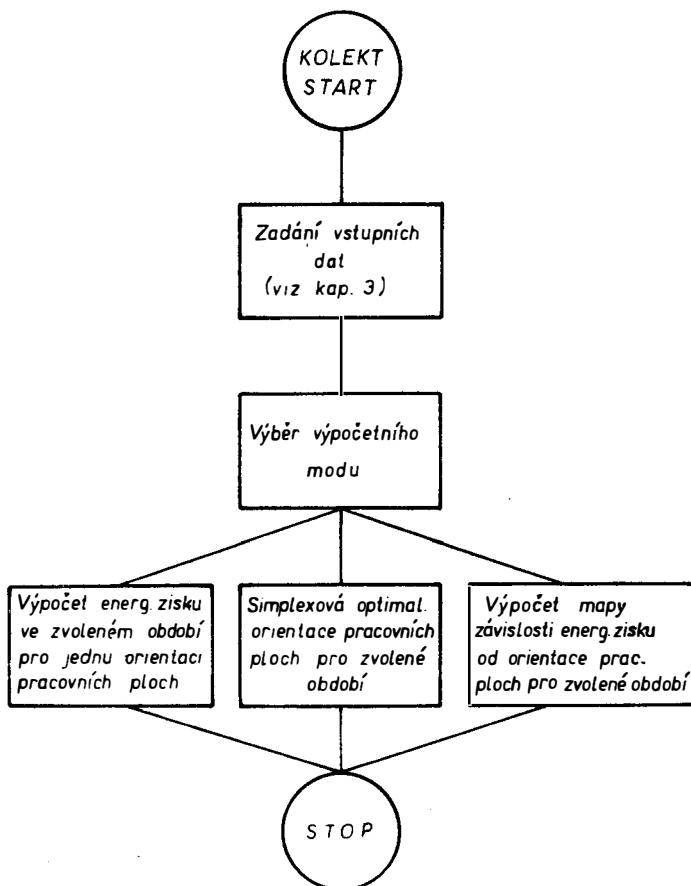
Cílem předkládané práce bylo vypracovat co nejvšeobecnější programové vybavení na simulační popis chování solárního systému. Přitom byl vyžadován výpočet denního a měsíčního energetického zisku a jeho mapování v závislosti na orientaci pracovních ploch kolektoru. Dále byla požadována i možnost přímé optimalizace orientace pro dosažení maximálního energetického zisku ve zvoleném období. Uvedený způsob optimalizace měl vzít v úvahu všechny uvažované parametry pracovního režimu solárního systému.

Důležitý byl též požadavek, aby vypracované programové vybavení umožňovalo s minimálními zásahy řešit některé modelové situace, např. pracovní režimy se zastíněnou zadní stranou kolektoru, simulaci automatického navádění pracovních ploch kolektoru za Sluncem apod.

POPIS VÝPOČETNÍHO PROGRAMU

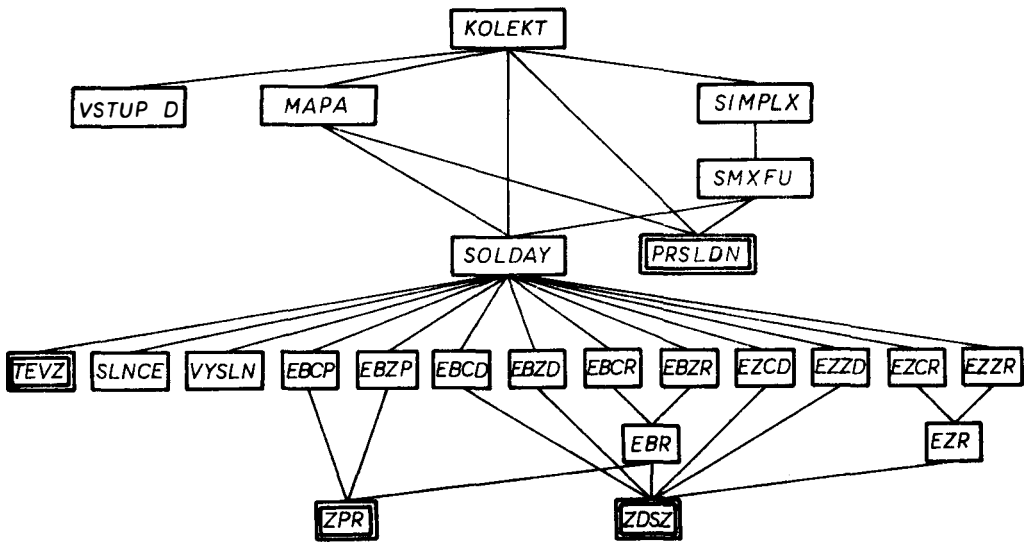
Príslušný software byl vypracován v jazyku FORTRAN pro osobní počítač EPSON QX 20, umožňující interaktivní provoz. Univerzálnost výpočetního programu zaručuje dostatečně všeobecný soubor vstupních dat. Též modulární struktura programu, členěného do většího počtu podprogramů, umožňuje poměrně lehké zavádění modifikací do libovolné části algoritmu.

Základní schéma programu KOLEKT je na obr. 1. Modulární struktura se znázorněním vztahů mezi jednotlivými podprogramy je na obr. 2. Moduly uvedené ve dvojitém rámečku obsahují příkazy DATA s údaji o slunečním ozáření (ZPR, ZDSZ), o teplotě okolí (TEVZ) a o průměrném slunečním svitu (PRSLDN).



Obr. 1. Základní schéma chodu programu KOLEKT.

Z hlavního programu se na začátku výpočtu odevzdá řízení podprogramu VSTUPD, který zabezpečí načtení vstupních dat podle kap. 3. Dále hlavní program nabízí uživateli menu, podle kterého se výpočet větví (obr. 1, 2). Základním podprogramem, realizujícím výpočet denního průběhu teplot a energetického zisku pro 15. den zadaného měsíce a pro oba uvažované typy ozáření, je podprogram SOLDAY. Blokové schéma činnosti podprogramu SOLDAY je uvedeno na obr. 3. Čas východu Slunce získává tento podprogram vyvoláním podprogramu VYSLN, údaje o azimutu a úhlu Slunce poskytuje podprogram SLNCE a o teplotě okolí podprogram TEVZ. Hodnoty ozáření poskytuje podprogramu SOLDAY soubor deseti funkčních podprogramů s mnemotechnicky konstruovanými názvy typu *Exyz*, kde *x* označuje typ slunečního záření. Pro den s přímou složkou slu-



Obr. 2. Modulární struktura programu KOLEKT.

nečního záření je $x \equiv B$ a pro den bez přímé složky záření je $x \equiv Z$. Hodnota y označuje čelní ($y \equiv C$) nebo zadní ($y \equiv Z$) plochu kolektoru. Posléze z odpovídá typu složky ozáření ($z \equiv P$ – přímé, $z \equiv D$ – difúzní a $z \equiv R$ – odražené). Tak např. EBCR je název funkčního podprogramu pro ozáření čelní plochy odraženým zářením za dne s přímým slunečním zářením.

Podprogramy pro výpočet odražené složky ozáření (tj. $z \equiv R$) vyvolávají funkční podprogramy EBR a EZR, které poskytují hodnotu ${}^H E_0$ pro danou lokalitu a čas.

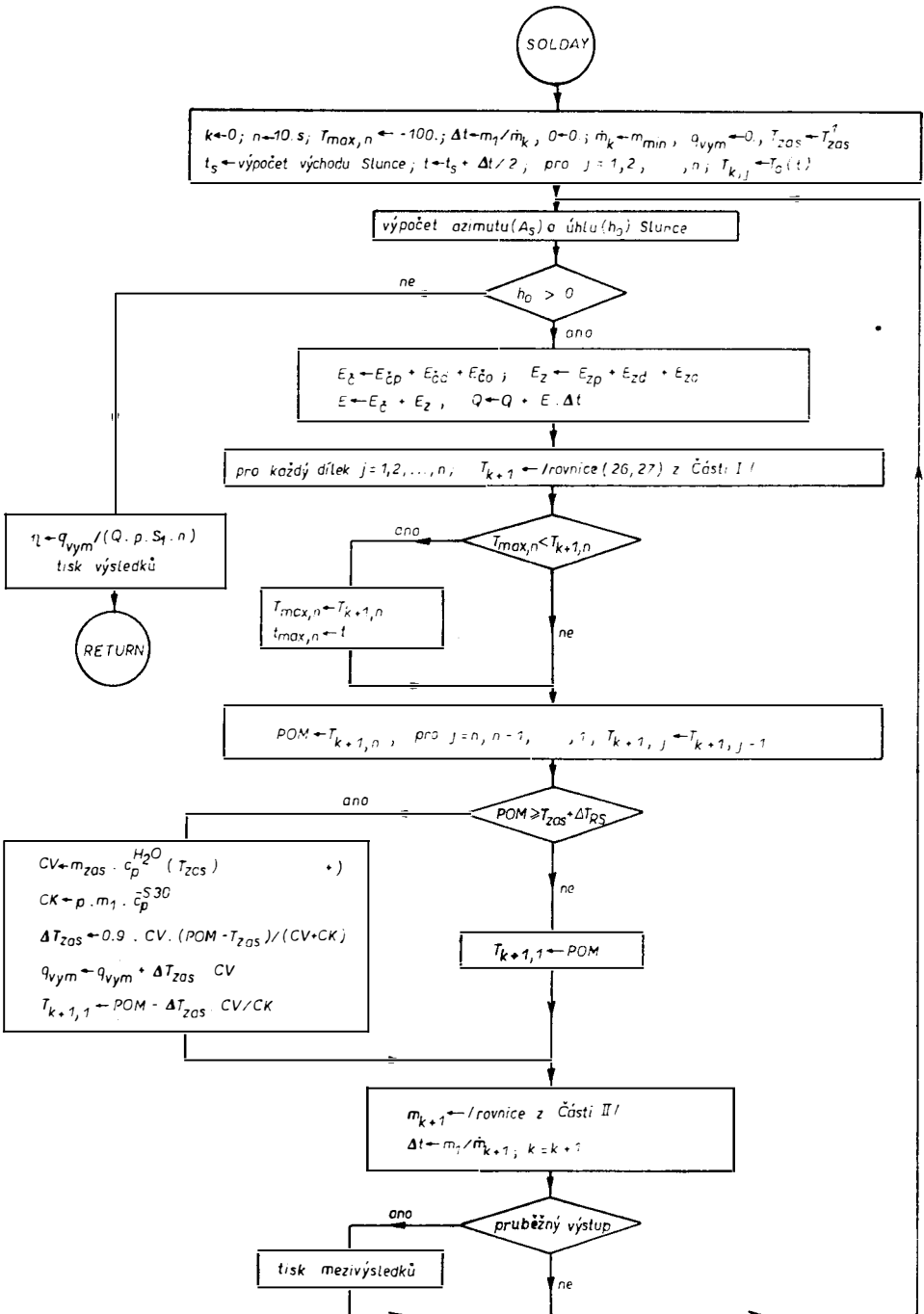
Hodnoty přímého a difúzního ozáření v daném čase, měsíci a lokalitě poskytují funkční podprogramy ZPR a ZDSZ.

Hmotnostní průtok pracovní kapaliny v $(k + 1)$ – kroku \dot{m}_{k+1} je v programu upravován číslicovým analogem P – regulátoru [1]

$$\dot{m}_{k+1} = \min \{ \dot{m}_{\max}, \max [\dot{m}_{\min}, K \cdot \dot{m}_k \cdot (T_{\text{vý}} - T_{\text{vý}}^{\text{optim}})] \} \quad (\text{kgs}^{-1}),$$

kde K je konstanta P – regulátoru, \dot{m}_{\min} a \dot{m}_{\max} jsou limitní hodnoty \dot{m} .

V případě, že uživatel požaduje průběžný výstup, tiskne podprogram v zadaných časových intervalech mezivýsledky (teplota vody v zásobníku a pracovní kapaliny, ozáření, účinnosti apod.). Před ukončením činnosti podprogram tiskne mimo hodnoty energetického zisku a účinnosti solárního systému též množství přečerpané pracovní kapaliny, počet přeprnutí do zkratovaného režimu a dobu provozu v tomto režimu, maximální teplotu pracovní kapaliny během dne a dobu, ve které byla dosažena, sumy energie slunečního záření, dopadlé na čelní i zadní pracovní plochu kolektoru. Uvedené veličiny dovolují navrhnout optimální sériově-paralelní řazení jednotek kolektoru s ohledem na účinnost, přehřívání pracovní kapaliny a způsob regulace chodu čerpadla, zajišťující minimalizaci energetických nároků k přečerpávání kapaliny v obou okruzích solárního systému. Dále je takto možno předběžným výpočtem optimalizovat některé prvky regulace solárního systému.



Obr. 3. Blokové schéma činnosti podprogramu SOLDAY.

V případě, že se požaduje mapování závislosti energetického zisku na orientaci kolektoru, přebírá od hlavního programu řízení podprogram MAPA. Tento podprogram cyklicky vyvolává podprogramy SOLDAY a PRSLDN pro všechny kombinace zadaných ekvidistantních množin sklonů a azimutů kolektorové plochy.

Jestliže cílem výpočtu je nalezení optimální orientace, zodpovídající maximálnímu energetickému zisku v zadaném období několika měsíců, přechází řízení na podprogram SIMPLX. Tento podprogram vykonává simplexovou minimalizaci podle algoritmu navrženého Nelderem [2] s výběrem inicializačního simplexu podle Yarbrové [3]. Hodnotu minimalizované funkce poskytuje v podobě záporné hodnoty celkového energetického zisku funkční podprogram SMXFU, který cyklicky vyvolává podprogramy SOLDAY a PRSLDN.

PŘEHLED VSTUPNÍCH DAT VÝPOČETNÍHO PROGRAMU

a) Ozáření

Data pro výpočet ozáření pracovních ploch kolektoru odpovídají lokalitě Bratislava-Koliba (viz kap. 3 v Části I). Hodnoty ${}^{\text{H}}E_{\text{d}}$ a ${}^{\text{N}}E_{\text{p}}$ byly uloženy ve formě dvojrozměrných polí, přičemž každému měsíci v roce a každé celé hodině dne byla přiřazena příslušná hodnota ozáření ve Wm^{-2} . Ozáření v daném časovém kroku bylo ve výpočetním programu získáno lineární interpolací ze dvou krajních hodnot, uvnitř kterých ležel příslušný časový krok.

b) Průměrný měsíční relativní sluneční svit

Příslušné hodnoty s_{m} pro lokalitu Bratislava-Koliba jsou uvedeny v kap. 4 Části I.

c) Teploty okolí

Průměrné denní průběhy teplot okolí byly načteny v obdobné formě jako hodnoty ozáření, stejným způsobem byly získány i průměrné teploty okolí v příslušném časovém kroku. Hodnoty T_0 byly pro lokalitu Bratislava-Koliba převzaty z práce [4].

d) Počet paralelních větví a počet kolektorů v sérii

$p = 6$ (v každé paralelní větvi byl zapojen jeden kolektorový rám)

e) Hmotnosti kapalinových náplní a limitní hodnoty průtoku

$m_1 = 0,36$ kg (pro všechny teploty)

$m_{\text{zas}} = 1\,250$ kg

$\dot{m}_{\text{min}} = 30$ kg za hodinu

$\dot{m}_{\text{max}} = 120$ kg za hodinu

f) Koeficient tepelných ztrát

$U = 6,448$ $\text{Wm}^{-2} \text{K}^{-1}$ (tepelné ztráty včetně ztrát propojovacího potrubí jednotlivých segmentů vakuových kolektorů v rámu)

g) Optické vlastnosti kolektoru

$P\alpha_{\text{g}}^0 = 0,975$

$P\tau_{\text{K}}^0 = 0,895$

${}^{\text{D}}\eta_{\text{opt}} = 0,796$

$B = 0,15$

h) Konstanty regulace

$K = 4,5$

$\Delta T_{\text{RP}} = 10$ °C

$\Delta T_{\text{RS}} = 4$ °C

ch) Popis lokality (pro výpočet h_0 a A_s)

$$\varphi = 48^{\circ}10'$$

i) Počáteční teplota vody v zásobníku

$$T_{zas}^1 = 15^{\circ}\text{C} \text{ (pro všechny měsíce)}$$

j) Počáteční teplota pracovní kapaliny

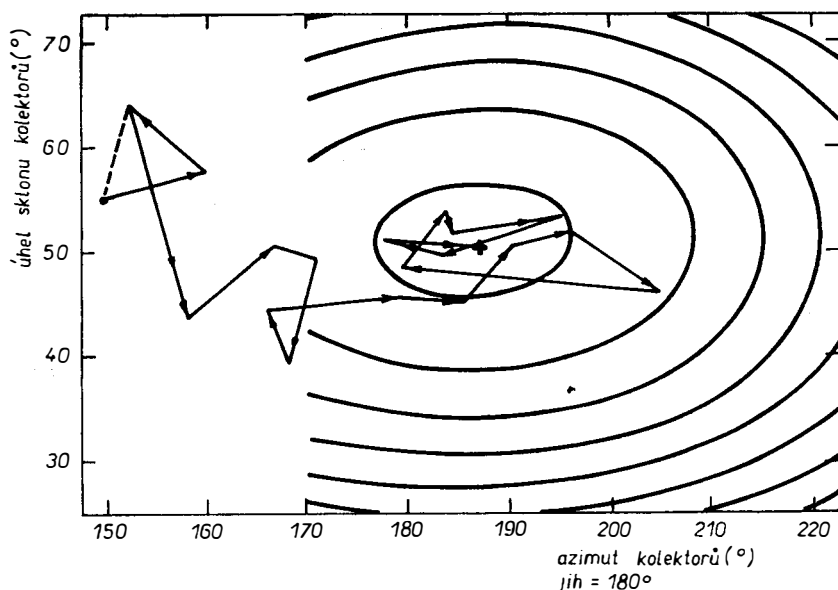
Na začátku výpočtu je pracovní kapalině ve všech dílcích přiřazena okamžitá teplota okolí.

PŘÍKLADY POUŽITÍ POPISOVANÉHO VÝPOČETNÍHO PROGRAMU

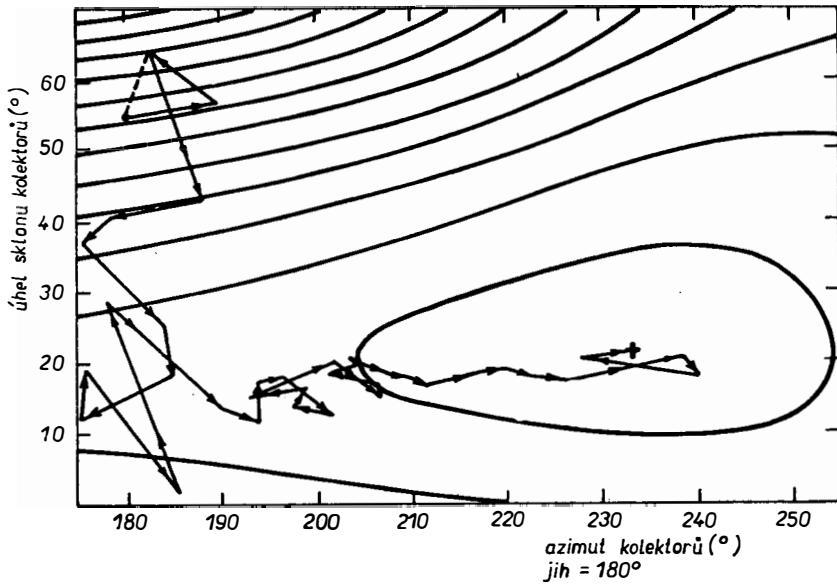
Na obr. 4 až 7 jsou uvedeny části vrstevnicových map energetických zisků solárního systému pro měsíce březen, červen, září a prosinec.

V březnu činí průměrný energetický zisk při optimální orientaci kolektorů 632 kWh s účinností systému 43,88 %, v červnu 1 409 kWh s účinností 57,50 %, v září 1 023 kWh s účinností 58,04 % a v prosinci 172 kWh s účinností 34,19 %.

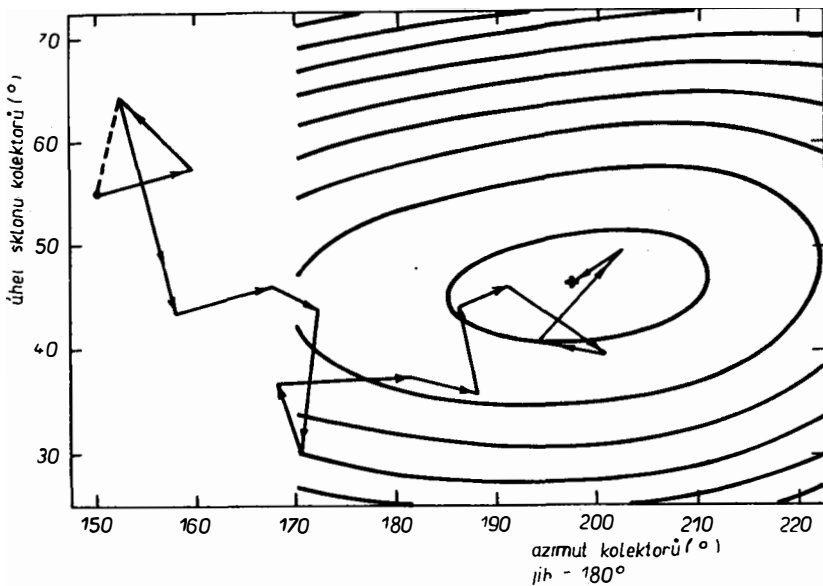
V každém obrázku je dále znázorněno lomenou čarou vyhledání maxima simplexovou metodou. Startovací hodnoty úhlu sklonu a azimutu kolektorů byly pro názornost ilustrace zvoleny ve větším odstupu od předpokládaného maxima. Množství potřebných kroků je dále ovlivňováno počáteční velikostí inicializačního simplexu, samotným průběhem funkce, jejíž maximum je hledáno, a zadanou přesností dosažení cíle. Nevhodně zadané vstupní parametry spolu s plochým průběhem funkční hyperplochy způsobí neúměrně velký potřebný počet kroků,



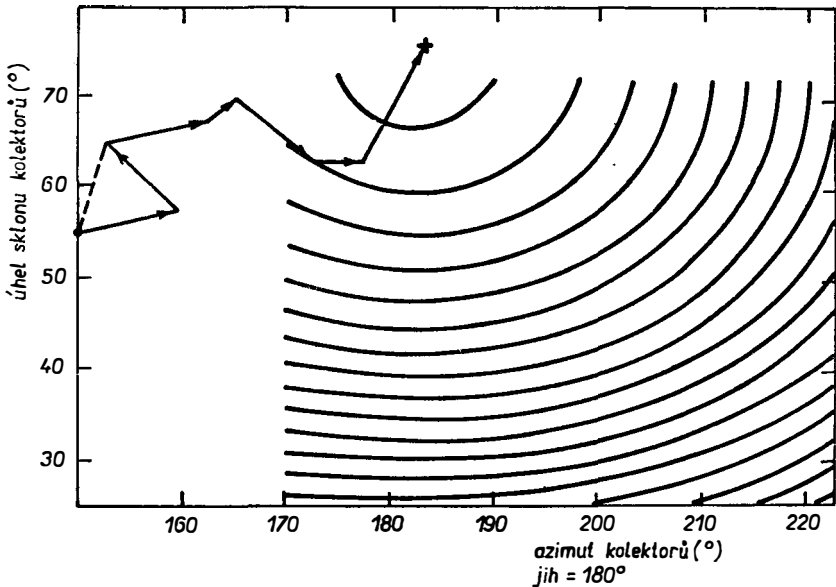
Obr. 4. Vrstevnicová mapa energetického zisku uvažovaného solárního systému pro měsíc březen. Vrstevnice, která nejužšíje ohraničuje maximum, odpovídá hodnotě 630 kWh. Rozdíl jednotlivých vrstevnic činí 10 kWh. Lomenou čarou je na obrázku znázorněno vyhledání maxima simplexovou metodou.



Obr. 5. Vrstevnicová mapa energetického zisku uvažovaného solárního systému pro měsíc červen. Vrstevnice, která nejužěji ohraničuje maximum, odpovídá hodnotě 25 kWh. Rozdíl jednotlivých vrstevnic činí 5 kWh. Lomenou čarou je na obrázku znázorněno vyhledání maxima simplexovou metodou.



Obr. 6. Vrstevnicová mapa energetického zisku solárního systému pro měsíc září. Vrstevnice, která nejužěji ohraničuje maximum, odpovídá hodnotě 1020 kWh. Rozdíl jednotlivých vrstevnic činí 10 kWh. Lomenou čarou je na obrázku znázorněno vyhledání maxima simplexovou metodou.



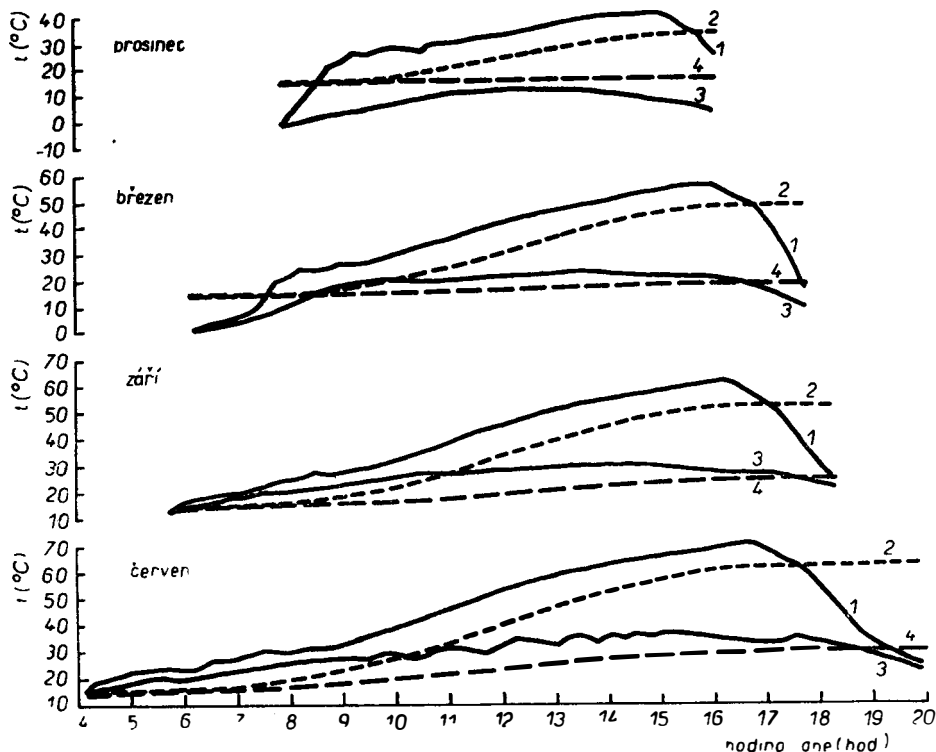
Obr. 7. Vrstevnicová mapa energetického zisku uvažovaného solárního systému pro měsíc prosinec. Vrstevnice, která nejnižší ohraničuje maximum, odpovídá hodnotě 170 kWh. Rozdíl jednotlivých vrstevnic činí 10 kWh. Lomenou čarou je na obrázku znázorněno vyhledání maxima simplexovou metodou.

jak je vidět v případě měsíce června. V případě měsíce března a částečně září mohla být optimalizace ukončena podstatně dříve, neboť z praktického hlediska byla zadána přesnost výpočtu příliš vysoká.

Na obr. 8 jsou ve čtvrt hodinových intervalech 15. dne uvažovaných měsíců zaznamenány teploty pracovní kapaliny na výstupu kolektorů a teploty vody v zásobníku jak pro den s nepřetržitým slunečním svitem, tak pro den bez přímého slunečního záření. Z uvedených průběhů teplot je možné zjišťovat důležité informace pro návrh solárního systému, jako jsou např. potřebné hmotnostní průtoky pracovní kapaliny, sériovo-parallelní řazení kolektorů, způsob regulace systému apod.

Upravením teplot okolí tak, aby odpovídaly extrémním reálným hodnotám v měsících červen a červenec, lze zjistit, nemůže-li dojít k překročení maximální provozní teploty, která je daná typem pracovní kapaliny a tepelnou odolností prvků solárního systému (čerpadla, spojovací hadice apod.). Zásadně je však nutné, aby kolektory byly konstruovány tak, aby nedošlo k jejich poškození při nezabezpečení odběru energie (např. při výpadku čerpadel). Teploty stagnace totiž mohou dosahovat velmi vysokých hodnot. U vakuových kolektorů se jedná o teploty přesahující 200 °C, z tohoto důvodu je propojovací potrubí rámu kolektoru řešeno odpovídajícím způsobem.

Z průběhu teplot pracovní kapaliny na výstupu kolektorů v den bez přímého slunečního záření a zavedením střední okamžité teploty vody v zásobníku pro daný měsíc lze odhadnout maximální energetické ztráty vlivem střídající se oblačnosti.

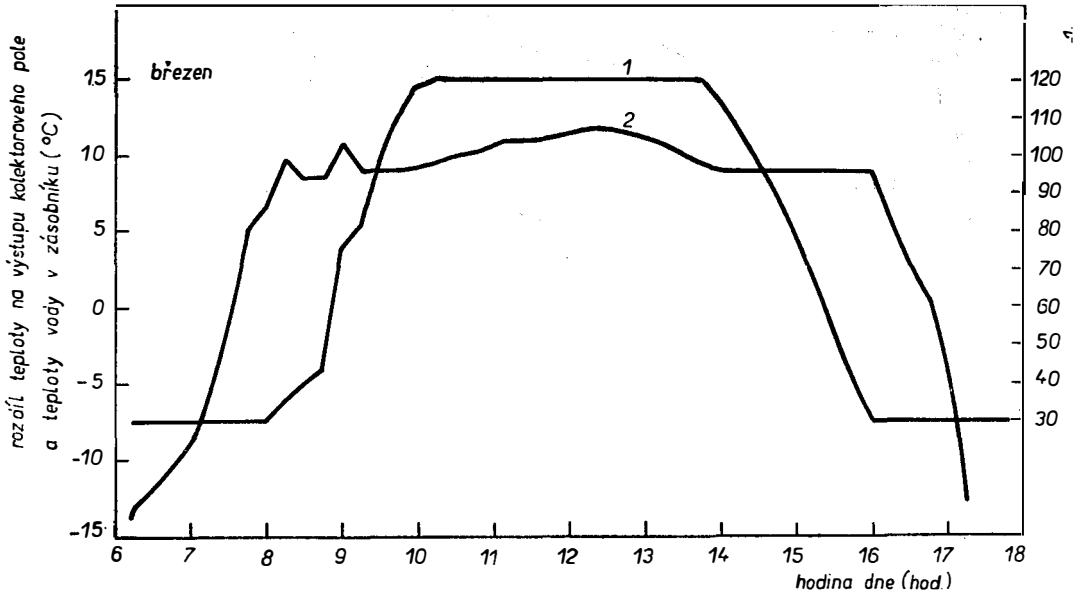


●br. 8. Průměrné denní průběhy teplot: 1 — pracovní kapaliny na výstupu kolektorového pole, 2 — teploty vody v zásobníku pro den s nepřetržitým slunečním svitem a obdobné závislosti pro den bez přímého slunečního záření (3 — pracovní kapalina, 4 — voda v zásobníku).

Obr. 9 dokumentuje regulaci systému a průtoků při průměrném březnovém dni s nepřetržitým slunečním svitem.

Z obrázku je patrné, že maximální navržený průtok 120 kg za hodinu je pro udržení optimální teploty na výstupu kolektoru nedostatečný. Při dnu s celodenním slunečním svitem je pravděpodobnost zvýšení teplot okolí oproti průměrným poměrně vysoká. Proto lze předpokládat i větší překročení optimální teploty (a tím zvýšení tepelných ztrát), než je z obrázku zřejmé. U solárního systému je na druhé straně možné postřehnout určitou autoregulaci potřebných výstupních teplot vlivem teploty vody v zásobníku. Proto také maximální rozdíl teploty pracovní kapaliny na výstupu z kolektorů a teploty vody v zásobníku ani v měsíci červnu nepřesahuje 14 až $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$, jak lze zjistit z obr. 8.

Uvedené příklady ilustrují různé způsoby použití vytvořeného programového vybavení. Spotřeba strojového času činí v závislosti od roční doby pro počítač EPSON QX 20 20 až 40 min. na jeden denní chod, reprezentující příslušný měsíc. Při složitějších úlohách je proto nezbytné využít výkonnější počítač. Z tohoto důvodu byl program KOLEKT přepracován pro provozování na počítačích řady EC. Spotřeba strojového času na počítači EC 1040 pod operačním systémem OS činí v závislosti od ročního období 12 až 22 sekund na jeden denní chod. Touto verzí programu je vhodné řešit úlohy rozsáhlejšího mapování závislosti energetické-



Obr. 9. Průměrný denní průběh 1 — průtoku pracovní kapaliny a 2 — rozdílu teplot na výstupu kolektorového pole a teploty vody v zásobníku pro březnový den s nepřetržitým slunečním svitem.

ho zisku na orientaci kolektorů, zatímco verze pro malé počítače umožňuje pohodlně a efektivně získávat obraz o denním průběhu teplot a jiných parametrech solárního systému, případně s použitím simplexové metody a při vhodné volbě počátečních podmínek přímo optimalizovat orientaci kolektorů.

ZÁVĚR

Vytvořením programového vybavení pro numerickou simulaci chování solárního systému vznikl praktický nástroj, použitelný při návrzích a projektování solárních systémů.

Kvantitativní charakter vypracované metody může významnou měrou přispět k spolehlivosti posuzování aplikovatelnosti solárních systémů v jednotlivých konkrétních podmínkách.

Použití vytvořeného programového vybavení na optimalizaci některých aspektů provozního režimu solárního systému bude předmětem další části předkládané práce.

Literatura

- [1] Niederliński A.: *Číselnicové systémy pro řízení technologických procesů, část II. Použití*. SNTL, Praha 1984.
- [2] Nelder J. A., Mead R.: *Comp. J.* 7, 308 (1965).
- [3] Yarbrow L. A., Deming S. N.: *Anal. Chim. Acta* 73, 391 (1974).
- [4] *Klíma a bioklíma Bratislavy*. VEDA, Bratislava 1979.

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРИБЫЛИ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОРИЕНТАЦИИ ТРУБЧАТЫХ ВАКУУМИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В СОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ

II. Алгоритм расчета и обеспечение программой

Марек Лишка*, Милослав Соурал**

**Общая лаборатория для основного исследования стекла Центра химического исследования САН и Научно-исследовательского и проектного института стекла, ул. SNP 20, 912 50 Тренчин*

***Научно-исследовательский и проектный институт стекла, ул. SNP 20, 912 50 Тренчин*

Была проведена алгоритмизация метода математической симмуляции деятельности солярной системы, предложенного в первой части. В языке Фортран разработали программное управление, представляющее возможность расчета суточного хода температур и энергетической прибыли солярной системы на базе трубчатых вакуумированных коллекторов. Далее с помощью программы можно проводить съемку зависимости энергетической прибыли от ориентации коллекторов для заданного периода. Также предоставляется возможность проводить прямую расчет оптимизации ориентации, основывающийся на максимизации энергетической прибыли симплексным методом.

В работе приводятся примеры суточного хода температур рабочей жидкости на выходе поля коллекторов, нагреваемой воды в аккумуляторе для суток с непрерывным солнечным блеком и для суток без прямой солнечной радиации для месяцев март, июнь, сентябрь и декабрь (рис. 8). Функция регуляционных элементов иллюстрируется на суточном ходе течения рабочей жидкости, изображенном вместе с различием температур на выходе поля коллекторов и в аккумуляторе (рис. 9). В приводимых месяцах изображаются карты с рельефом в горизонталях энергетической прибыли в зависимости от ориентации коллекторов (рис. 4—7). В картах с рельефом в горизонталях изображается в виде ломаной линии ход симплексной оптимизации ориентации коллекторов.

Разработанное программное управление предоставляет возможность оптимизировать режим хода солярных систем и их проект в согласии с потребностями потребителя.

Рис. 1. Основная схема хода программ KOLEKT.

Рис. 2. Модулярная структура программы KOLEKT.

Рис. 3. Блок-схема деятельности подпрограммы SOLDAY.

Рис. 4. Карта с рельефом в горизонталях энергетической прибыли рассматриваемой солярной системы для месяца март. Горизонталь, которая наиболее узко ограничивает максимум, отвечает величине 630 кеч. Различие отдельных горизонталей составляет 10 кеч. Через ломаную линию на рисунке изображается поиск максимума с помощью симплексного метода.

Рис. 5. Карта с рельефом в горизонталях энергетической прибыли рассматриваемой солярной системы для месяца июнь. Горизонталь, которая наиболее узко ограничивает максимум, отвечает величине 1400 кеч. Различие отдельных горизонталей составляет 25 кеч. Через ломаную линию на рисунке изображается поиск максимума с помощью симплексного метода.

Рис. 6. Карта с рельефом в горизонталях энергетической прибыли солярной системы для месяца сентябрь. Горизонталь, которая наиболее узко ограничивает максимум, отвечает величине 1020 кеч. Различие отдельных горизонталей составляет 10 кеч. Через ломаную линию на рисунке изображается поиск максимума с помощью симплексного метода.

Рис. 7. Карта с рельефом в горизонталях энергетической прибыли рассматриваемой солярной системы для месяца декабрь. Горизонталь, которая наиболее узко ограничивает максимум, отвечает величине 170 кеч. Различные отдельных горизонталей составляет 10 кеч. Через ломаную линию на рисунке изображается поиск максимума с помощью симплексного метода.

Рис. 8. Средние суточные ходы температур: 1 — рабочей жидкости на выходе поля коллекторов, 2 — температуры воды в аккумуляторе для суток с непрерывным солнечным блеском и подобные зависимости для суток без прямой солнечной радиации (3 — рабочая жидкость, 4 — вода в аккумуляторе).

Рис. 9. Среднедневной ход 1 — течения рабочей жидкости и 2 — различия температуры на выходе поля коллекторов и температуры воды в аккумуляторе для суток в марте с непрерывным солнечным блеском.

ESTIMATING THE ENERGY YIELD AND OPTIMIZING THE ORIENTATION OF TUBULAR VACUUM SOLAR COLLECTORS IN A SOLAR SYSTEM

Part II. — Calculation Algorithm and Software

Marek Liška,* Miloslav Soral**

*Joint Laboratory for Basic Research of Glass, Centre of Chemical Research of the Slovak Academy of Sciences and Glass Research and Development Institute, ul. SNP 20, 912 50 Trenčín

**Glass Research and Development Institute, ul. SNP 20, 912 50 Trenčín

The method of mathematic simulation of the solar system function, suggested in Part I, was algorithmized. Software in the Fortran language was developed to calculate the daily course of temperatures and energy yield of the solar system based on tubular evacuated collectors. The program further allows the dependence of energy yield on the collector orientation for a given period to be established. Direct calculation of optimum orientation, based on seeking the maximum energy yield by the simplex method, is also possible.

Examples are given of the daily course of temperature for the working liquid at the outlet from the collector field, those of water in the storage tank for days with continuous sunshine and for those without direct solar radiation for March, June, September and December (Fig. 8). The function of the control element is illustrated on the daily course of the working liquid flow, plotted jointly with the temperature difference between the collector field outlet and the storage tank (Fig. 9). Contour maps of the energy yield in terms of collector orientation are shown for the given months (Figs. 4 through 7). The broken lines in the contour maps indicate the progress of simplex optimization for the collector orientation.

The software developed allows the operation schedule of solar systems to be optimized and designed according to the particular user's requirements.

Fig. 1. Basic schematic diagram of the KOLEKT program.

Fig. 2. Modular structure of the KOLEKT program.

Fig. 3. Block diagram of the SOLDAY subprogram.

Fig. 4. Contour map of energy yield achieved by the solar system for March. The contour situated closest around the maximum corresponds to 630 kWh. The difference between the individual contour lines amounts to 10 kWh. The broken line in the diagram represents the seeking of maximum by the simplex method.

Fig. 5. Contour map of energy yield for the solar system for June. The contour line closely surrounding the maximum corresponds to 1 400 kWh. The difference between the individual contour lines amounts to 25 kWh. The broken line in the diagram shows the seeking of the maximum by the simplex method.

Fig. 6. Contour map of energy yield of the solar system for September. The contour line which surrounds closely the maximum corresponds to 1 020 kWh. The difference between the individual contour lines amounts to 10 kWh. The broken line in the diagram illustrates the seeking of the maximum by the simplex method.

Fig. 7. Contour map of energy yield of the solar system for December. The contour line closest around the maximum corresponds to 170 kWh. The difference between the individual contour lines amounts to 10 kWh. The broken line in the diagram illustrates the seeking of the maximum by the simplex method.

Fig. 8. Mean daily course of temperatures; 1 — temperature of the working liquid at the outlet from the collector field, 2 — water temperature in the storage tank for a day with continuous sunshine and similar relationships for a day without direct sunlight (3 — working liquid, 4 — water in storage tank).

Fig. 9. Khe mean daily course of 1 — working liquid flow rate and 2 — temperature difference between the collector field outlet and water temperature in the storage tank for a March day with continuous sunshine.