

## TECHNICKÉ ASPEKTY NOVEJ KONCENTRAČNEJ SOLÁRNEJ TERMOMECHANICKEJ KONVERZIE

### TECHNICAL ASPECTS OF NEW CONCENTRATING SOLAR THERMO- MECHANIC CONVERSION

Ivan Herec, Zdeněk Dostál, Ján Župa, Štefan Grešík\*

*Katedra Experimentálnej elektrotechniky, Elektrotechnická fakulta, Detašované pracovisko v Liptovskom Mikuláši, Žilinská univerzita v Žiline, ul. kpt. J. Nálepku 1390, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovensko*

*\*Vojenský technický ústav Liptovský Mikuláš, ul. kpt. J. Nálepku 1390, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovensko*

**Abstrakt** Článok sa týka technických aspektov novej koncentračnej solárnej termomechanickej konverzie z hľadiska požiadaviek na algoritmy automatizovaného riadenia solárneho tepelného motora pracujúceho na báze modifikovaného Clausiusovho-Rankinovho tepelného obehu. Na základe navrhnutých algoritmov riadenia termodynamických procesov funkčného vzoru solárneho tepelného motora využívajúceho vnútro systémové absorbovanie radiácie privedeného tepla, dvojstupňové generovanie pary a regenerovanie odvedeného tepla bol vykonaný návrh a testovanie riadiacej elektroniky s monolitickým mikroprocesorom s vlastným programovým vybavením.

**Summary** The article concerns technical aspects of new concentrating solar thermo-mechanic conversion from the point of view of automated control algorithms of solar thermal motor working on a principle of modified Clausius-Rankin's thermal circulation. On the basis of the proposed algorithms for controlling of thermodynamic processes of the functional model of the solar thermal motor, which uses internal-system absorption of incoming heat radiation, double-step steam generation and regeneration of out coming heat, the design and the testing of controlling single-chip microprocessor electronics with specially designed software was executed.

## 1. ÚVOD

Hoci energetický potenciál slnečnej energie dopadajúcej na Zem presahuje viac ako 10.000-krát ľudské energetické potreby, má jej praktická využiteľnosť niekoľko limitujúcich faktorov. Pre využívanie priamej slnečnej radiácie sú z technického hľadiska limitujúce merný tok (hustota) priamej slnečnej radiácie a z ekonomického hľadiska celková využiteľná slnečná energia. Merný tok slnečnej radiácie meraný kolmo na smer slnečných lúčov pred vstupom do zemskej atmosféry je  $1353 \text{ W/m}^2$  (slnečná konštanta) a po útlme zemskou atmosférou na zemskom povrchu dosahuje hodnotu približne  $1000 \text{ W/m}^2$ . Využiteľná slnečná energia je charakterizovaná značnou fluktuáciou závislou na množstve faktorov, ako sú geografická poloha, meniace sa ročné obdobia, fázy dňa či atmosférické zmeny (oblačnosť, čistota a s tým súvisiaca priepustnosť ovzdušia) a iné. K uvedenému toku slnečnej radiácie (výkonu slnečného žiarenia), množstvu využiteľnej slnečnej energie a energetickej účinnosti sa vzťahujú aj technické a ekonomické porovnávanie tzv. solárnych technológií, z ktorých najznámejšie sú: fotovoltika, fototermika (slnečné kolektory) a koncentračná solárna energetika.

Fotovoltické články a ploché solárne kolektory využívajú nekoncentrovanú slnečnú radiáciu. Sú to v podstate solárne monoenergetické technológie,

ktoré poskytujú jeden druh energie – fotovoltické články elektrickú energiu a solárne kolektory nízkoenergetické teplo. Fotovoltika je známa svojou energetickou účinnosťou pohybujúcou sa na úrovni 8-16 % a tiež svojou vysokou cenou, zatiaľ čo fototermika je známa relatívne dobrou účinnosťou energetickej premeny presahujúcou 70 %, avšak jej výstupom je len nízkoenergetické teplo, ktoré napríklad nie je možné využiť na produkciu elektrickej energie. Obe tieto technológie sú už komerčne etablované najmä vo vyspelých krajinách s aktívnou podporou obnoviteľných zdrojov a s dobrými slnečnými podmienkami.

Článok sa dotýka oblasti koncentračnej solárnej energetiky (KSE), ktorá je z hľadiska energetického výstupu solárnou multienergetickou technológiou. Jej výstupom môže byť súčasne mechanická práca, elektrická energia a tepelná energia, pričom celková kumulatívna účinnosť môže dosahovať úroveň blízku sa k 90 %. Perspektíva KSE nespočíva však len vo vysokej účinnosti energetickej premeny, ale najmä v jej samotnom technickom riešení, ktoré umožňuje z ekonomického hľadiska dosiahnuť relatívne dobrý pomer ceny a výkonu zariadenia. Technické riešenie KSE taktiež umožňuje vytvárať hybridné solárno-plynové (alebo solárno-vodíkové) riešenia, ktoré umožňujú nepretržitú dodávku energie a tým riešia problém fluktuácie intenzity slnečného žiarenia.

V článku uvedené informácie sa týkajú výskumu a vývoja nového počítačom riadeného solárneho parného piestového motora (SPPM), ktorý je určený na premenu koncentrovanej slnečnej energie na mechanickú energiu. Pomocou solárneho tepelného motora bude možné priamo získavať mechanickú prácu a nízkopotenciálne teplo a nepriamo získavať v spojení s elektrickým generátorom elektrickú energiu

Dostatočnú hustotu tepelného toku je možné dosiahnuť koncentráciou slnečného žiarenia pomocou vežových, žľabových alebo parabolických koncentračných systémov. Napríklad pri 1000-násobnej koncentrácii je možné dosiahnuť hustotu slnečnej radiácie až  $1 \text{ MW/m}^2$ , čo sa už blíži tepelnej hustote na vstupe parného stroja alebo spaľovacieho motora.

Vo svete sú známe prototypové solárne parabolické koncentračné zdroje s použitím Stirlingovho motora (obr. 1) alebo teplovzdušného mriežkového konvertora v ohnisku heliostatu. Solárne Stirlingove motory dosahujú najvyššiu energetickú účinnosť (takmer 30 %) z doposiaľ známych solárnych motorov.



Obr. 1. Jeden z prototypov parabolického solárneho zdroja so solárnym Stirlingovým motorom (USA).

Fig.1. One of prototypes parabolic solar supply with solar Stirling motor (USA).

Na Slovensku sa zariadenia koncentračnej solárnej energetiky doposiaľ v praxi nevyužívajú. Výskumne sa problematikou KSE zaoberajú zakladatelia firmy GoldenSUN Slovakia, s.r.o. Liptovský Mikuláš (GoldenSUN) od roku 2000. Od roku 2003 sa do spoločného výskumu s firmou GoldenSUN v oblasti KSE zapojilo Detašované pracovisko Elektrotechnickej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline so sídlom v Liptovskom Mikuláši a od roku 2005 sa do spolupráce zapojila aj Strojnícka fakulta Žilinskej univerzity v Žiline [2], [4].

## 2. CHARAKTERISTICKÉ ZNAKY A POPIS NOVÉHO SPÔSOBU RIEŠENIA SOLÁRNEHO PARNÉHO PIESTOVÉHO MOTORA

Prvým základným charakteristickým znakom riešenia solárneho parného piestového motora – SPPM je, že teplo sa do hermetického pracovného priestoru motora privádza formou koncentrovanej radiácie slnečného žiarenia cez opticky priepustné veko hlavy valca. Prvá časť slnečného žiarenia je po vstupe do pracovného priestoru motora pohltaná kapilárnym poréznym telesom absorbéra, ktorý sa účinkom pohltenej slnečnej energie zohrieva na tzv. vstupnú teplotu motora. Druhá časť koncentrovaného slnečného žiarenia prechádza cez súbežne orientovanú kapilárnu sústavu absorbéra ďalej do vnútra pracovného priestoru motora, kde je pohltaná kapilárnym poréznym telesom regenerátora. Pomer medzi absorbovaným a prepusteným žiarením absorbéra je možné meniť jeho optickou priepustnosťou.

Do regenerátora je teplo dodávané kombináciou viacerých spôsobov prenosu tepla. Prenos tepla sa uskutočňuje predovšetkým primárnou slnečnou radiáciou prechádzajúcou kapilármi absorbéra, sekundárnou radiáciou absorbéra, kondukciou cez stenu valca, kondukciou a konvekciou plyného prostredia medzi absorbérom a regenerátorom v kľudovom stave motora, konvekciou prehriatej pary medzi absorbérom a regenerátorom hlavne pri kompresnom zdvihu a konvekciou pary kapilármi regenerátora pri jej výstupe z pracovného priestoru motora na konci pracovného cyklu. Je potrebné zdôrazniť, že do procesov prenosov tepla sú zapojené aj tepelné výmeny vnútorných stien pracovného priestoru motora, ktoré sú tvorené najmä piestom, valcom, plášťom a vekom hlavy valca. Tieto tepelné prenosy sa uskutočňujú konduktívne aj konvektívne. Pre činnosť motora je nevyhnutná správna teplota stien pracovného priestoru. Pri fázovej premene kvapaliny na nízkotepelnú paru plášť teplo dodáva do procesu a naopak pri čerpaní tepla z absorbéra plášť teplo odoberá z procesu. Pokiaľ zanedbáme tepelné straty do okolia je v ustálenom pracovnom cykle motora tepelná bilancia plášťa neutrálna.

Z uvedeného popisu vyplýva, že na termodynamických procesoch sa okrem pracovnej látky a telies absorbéra a regenerátora podieľajú aj ostatné súčasti pracovného priestoru motora, ako sú piest, valec a hlava valca s priepustným vekom. Medzi pracovnou látkou a jednotlivými súčasťami pracovného priestoru dochádza k značne zložitým termodynamickým interakciám.

Druhým základným charakteristickým znakom riešenia SPPM je využívanie dvojestupňového impulzného generovania pary priamo v pracovnom priestore motora. Konverzná kvapalina je vo vhodnom okamžiku polohy piesta - pred hornou

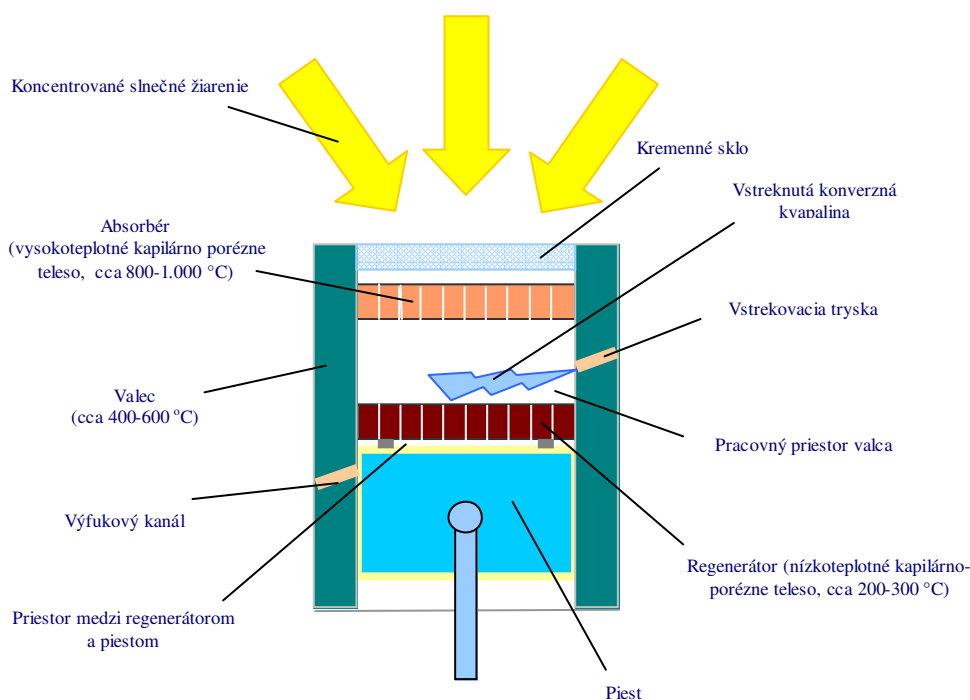
úvraťou tzv. časovane vstrekováná vstrekovacou dýzou na vyparovaciu plochu telesa regenerátora, ktorý kvapaline dodá výparné teplo. Nízko teplotná para potom opúšťa teleso regenerátora a kombinovaným termodynamicko-kinetickým účinkom je pohltaná kapilármi absorbéra – vtlačaná do telesa absorbéra. Dôsledkom je vznik prehriatej pary, ktorá expanduje vo valci a koná prácu.

Tretím základným charakteristickým znakom riešenia SPPM je aplikovanie spôsobu regenerácie odvedeného tepla. Vysvetlenie spôsobu regenerácie tepla nadväzuje na predchádzajúci popis charakteristických znakov SPPM. Viacúčelové kapilárne porézne teleso regenerátora je dištančne upevnené na pieste tak, aby oddeľovalo pracovný priestor motora od zberného priestoru pary. Para môže prechádzať medzi týmito priestormi iba cez súbežne orientovanú kapilárnu sústavu regenerátora.

Po skončení expanzného zdvihu piesta para prechádza kapilármi telesa regenerátora, pričom mu odovzdá časť nespotrebovaného tepla a následne cez piestom časovaný výfukový kanál, vytvorený na bočnej stene valca, opúšťa pracovný priestor motora. Odvedené teplo z pracovného priestoru motora sa zníži o teplo odovzdané do regenerátora. Teplo odovzdané do regenerátora sa opäť vráti na začiatok nasledujúceho pracovného cyklu.

Dôležitým predpokladom pre návrh algoritmov riadenia teplotného a termodynamického systému motora bude definovanie základných tepelných kapacít, tvorených tepelnými kapacitami absorbéra, regenerátora a teplotného média – pracovnej látky.

Predchádzajúci popis princípu riešenia SPPM je znázornený na obr. 2.



Obr. 2. Schematické znázornenie princípu solárneho parného piestového motora s aplikovaným systémom vnútornej regenerácie teplot.

Fig. 2. Schematical visualisation of principle of solar steam piston motor with intra heat regeneration applied system.

Pre potreby analyzovania a vysvetľovania termodynamických dejov SPPM sme zahrnuli do slovej terminológie názvy „teplotné zóny“, respektíve „nízko teplotná zóna“ a „vysokoteplotná zóna“. Nízko teplotná zóna je predstavovaná priestorovou oblasťou telesa regenerátora, ktorá plní funkcie primárnej a sekundárnej absorpcie radiácie, výparníka a tepelného akumulátora, respektíve všeobecne regenerátora. Vysokoteplotná zóna je predstavovaná priestorovou oblasťou telesa absorbéra, ktorá plní funkcie primárneho absorbéra,

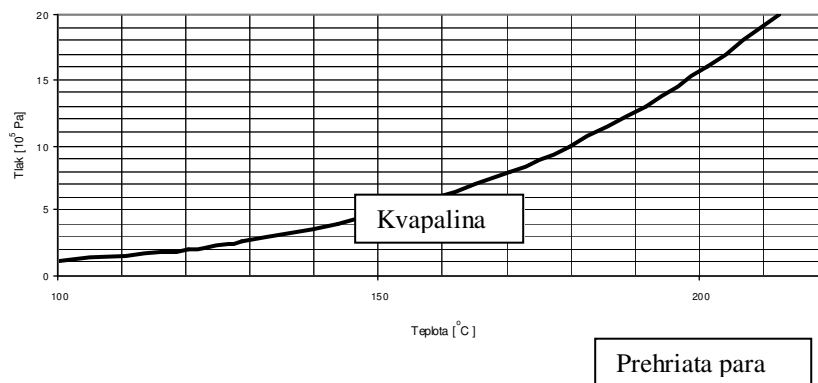
teplotného akumulátora, sekundárneho žiariča a prehrievača pary, respektíve všeobecne absorbéra. Pre vzájomnú výmenu tepla medzi teplotnými zónami je charakteristické, že teplotné zóny sa pri kompresii k sebe približujú a pri expanzii od seba vzdalujú. Tepelné teleso absorbéra a regenerátora sú v podstate špeciálne výmenníky tepla, ktoré sa v navrhnutom vyhotovení a usporiadaní nevyskytujú v žiadnych iných tepelných motoroch.

Pomocou teplotných zón je možné jednoduchšie vysvetliť prebiehajúce procesy SPPM.

Tepló vstupuje do pracovného priestoru motora na strane vysokoteplotnej zóny a vystupuje z neho na strane nízkoteplotnej zóny. Transport pracovnej látky do pracovného priestoru motora je uskutočňovaný časovaným vstrekaním konverzej kvapaliny do oblasti nízkoteplotnej zóny, kde sa kvapaline dodáva výparné teplo, dôsledkom ktorého sa kvapalina zmení na nízkoteplotnú paru. Nízkoteplotná para je v ďalšej časti pracovného cyklu premiestnená do oblasti vysokoteplotnej zóny, kde sa v zlomku sekundy zmení na vysokoteplotnú paru - prehriatu paru. Nasleduje polytropická, respektíve zjednodušená izotermicko-adiabatická expanzia a stroj koná prácu. Po skončení expanzného zdvihu piesta je para premiestnená do oblasti nízkoteplotnej zóny, kde odovzdá časť nespotrebovaného tepla akumuláciou do regenerátora a následne opúšťa pracovný priestor motora. Z predchádzajúceho popisu je zrejmé, že akým spôsobom je v navrhovanom SPPM aplikovaný spôsob regenerácie tepla, prispemí ktorej sa výrazne zvyšuje tepelná účinnosť

pracovného cyklu. Ďalej je zrejmé, že tepelná účinnosť bude priamo úmerná nielen teplote vysokoteplotnej zóny, ale aj rozdielu teplôt vysokoteplotnej a nízkoteplotnej zóny [2].

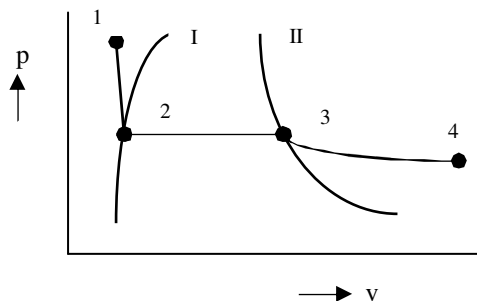
Na obr. 3 je znázornená teoretická závislosť tlaku nasýtenej vodnej pary v závislosti na teplote v uzatvorenom pracovnom priestore motora. Táto závislosť je nezávislá na tretej stavovej veličine, t.j. na spoločnom objeme škodlivého priestoru a objemu valca daného zdvihom piesta. Podľa známeho Gibbsovho fázového pravidla má rovnováha medzi kvapalinou a parou iba jeden stupeň voľnosti a to teplotu, ktorej zodpovedá tlak nezávisle na objeme. Toto pravidlo platí iba pre množinu bodov tvoriacich znázornenú krivku. Z toho vyplýva, že množina bodov nad krivkou patrí kvapalnej fáze a množina bodov pod krivkou plynnej fáze (oblasť prehriatej pary). Zjednodušene povedané pri impulznom generovaní pary v pracovnom priestore motora prechádza pracovná látka postupne fázovými premenami z oblasti kvapalnej fáze cez krivku nasýtenej pary do oblasti prehriatej pary.



Obr. 3. Teoretická závislosť tlaku nasýtenej vodnej pary v závislosti na teplote.

Fig. 3. Theoretical dependency of saturation water steam pressure vs. Temperature.

Pre lepšie pochopenie fázových premen je vhodný rovnovážny diagram v súradniciach  $p$ - $v$ , v ktorom sú znázornené dve medzné krivky koexistencie kvapalnej a plynnej fázy, obr. 4.



Obr. 4. Fázový  $p$ - $v$  diagram.

Fig.4.  $P$ - $v$  phase diagram.

Medzná krivka I prislúcha merným objemom kvapalnej fázy a medzná krivka II prislúcha merným objemom plynnej fázy. Po vstreknutí elementárneho množstva kvapaliny do valca klesne jej tlak zo stavu

1 na stav 2, pričom jej objem iba nepatrne narastie, pretože kvapalina je málo stlačiteľná. V stave 2 začne premena kvapaliny na plynú fázu – nasýtenú paru. Medzi stavmi 2 a 3 je oblasť varu kvapaliny. Zväčšovaním objemu za konštantného tlaku ubúda vriacej kvapaliny a pribúda nasýtenej pary. Merné objemy zmesi vriacej kvapaliny a nasýtenej pary ležia na úsečke 2-3. V stave 3 je všetka kvapalina premenená na nasýtenú paru a jej merný objem je zhodný s merným objemom celej sústavy.

Ďalším zväčšovaním objemu sa stane para prehriatou a jej tlak má klesajúci priebeh. Celý priebeh 1-2-3-4 v znázornenom  $p$ - $v$  diagrame je úplnou izotermou fázových premen kvapalnej fázy v plynú a naopak (kondenzácia).

Ďalej uvažujeme stav, keď všetka kvapalná fáza sa zmenila na plynú fázu a začína proces tzv. čerpania tepla pracovnou látkou z vysokoteplotného telesa - absorbéra. Pracovná látka sa musí dostať do dostatočného povrchového a objemového tepelného kontaktu s absorbérom. Tepelný kontakt absorbéra je

závislý na rôznych parametroch a stavoch motora. Predpokladom účinnej tepelnej výmeny je dostatočný tlak a prúdenie pracovnej látky v pracovnom priestore motora. Dôležitou súčasťou tepelných prenosov motora je, že pracovná látka odovzdáva časť tepla do regenerátora a stien pracovného priestoru motora pre nasledujúci cyklus generovania pary. Skôr ako dôjde k expanzii pracovnej látky vo valci uvažujeme stav kvaziizochorickej výmeny tepla medzi absorbérom a pracovnou látkou, pri ktorej stúpa pracovná teplota a tlak vo valci. So stúpajúcim tlakom sa zlepšuje súčiniteľ tepelného prenosu (konvekcia tepla) medzi absorbérom a pracovnou látkou. Začiatok expanzie má charakter izobarickej expanzie, pri ktorej sa zväčšuje objem pracovnej látky pri konštantnom tlaku a pri spomalenom zvyšovaní teploty. Ďalej nasleduje úsek izotermickej expanzie, pri ktorej sa zväčšuje objem pracovnej látky pri konštantnej teplote a začínajúcom poklese tlaku. Posledný úsek expanzie má charakter adiabetickej expanzie, pri ktorej klesá tlak aj teplota pracovnej látky. Pri adiabetickej expanzii motor koná prácu iba na úkor vnútornej energie pracovnej látky. Tepelné straty

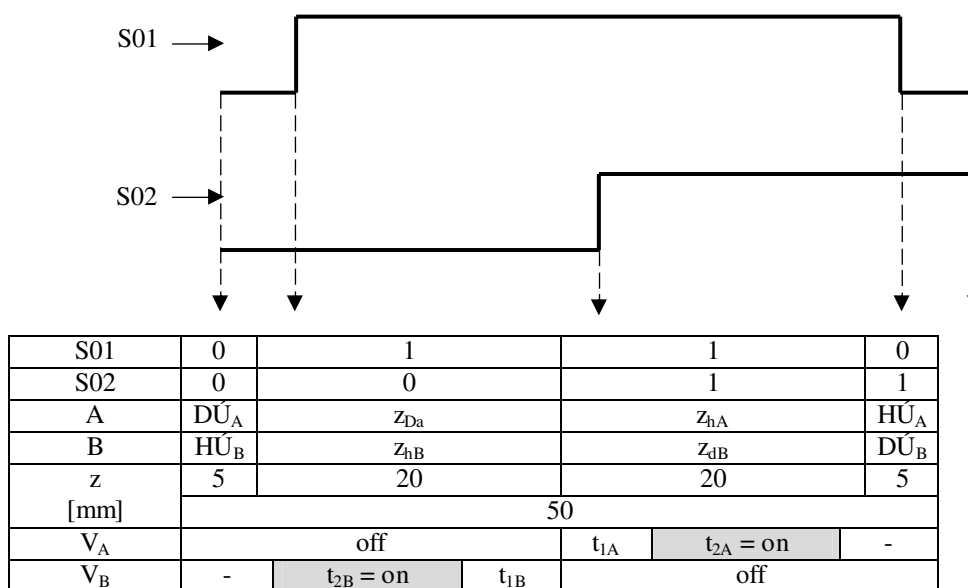
stenami pracovného priestoru motora a straty trením piesta vo valci je potrebné minimalizovať [3].

### 3. ZÁVERY PRE NÁVRH RIADIACICH ALGORITMOV FUNKČNÉHO VZORU TEPELNÉHO MOTORA (FV TM)

Pre riadiace algoritmy sú potrebné merania vstupnej teploty motora - teploty vysokoteplotnej zóny, výstupnej teploty motora - teploty nízokoteplotnej zóny, strednej teploty stien pracovného priestoru - teploty valca a teploty okolia.

Navrhnuté snímače teplôt:

- S11 - snímač strednej teploty telesa absorbéra ( $\vartheta_A$ ), ktorým je nepriamo meraná vstupná teplota  $\vartheta_1$ ;
- S12 - snímač strednej teploty valca ( $\vartheta_V$ );
- S13 - snímač strednej teploty pracovnej látky - teploty pary ( $\vartheta_p$ ) v jednej zbernej komore výstupného kanála na boku valca, ktorým je meraná výstupná teplota  $\vartheta_2$ ;
- S14 - snímač teploty okolia ( $\vartheta_o$ ).



Obr.5. Polohovanie vstrekovania dvojčinného (dvojvalcového) piestového FV TM.

Fig. 5. Injection positioning of piston two-phase (two-cylindrical) FV TM.

#### A) Podprogramy snímání teplôt

$\vartheta_A$  - teplota absorbéra (rozsahy I: 20 až 200 °C a II: 100 až 1000 °C)

$\vartheta_V$  - teplota valca (rozsah 60 až 600 °C)

$\vartheta_p$  - teplota pary (rozsah 40 až 400 °C)

$\vartheta_o$  - teplota okolia (rozsah -50 až +50 °C)

Snímání teplôt bude pomocou termočlánkov Konštantán - Fe. Každý signál bude normovaný operačným zosilňovačom na jednosmerné napätie 0

až 5 V. Požaduje sa zobrazovanie teplôt na monitore.

#### B) Podprogram štartu

Pred štartom sú piesty A a B v kľude. Riadiaca jednotka (RJ) vyhodnotí polohy piestov podľa výstupných stavov snímačov S01 a S02 (binárneho polohového kódu S01 S02). Význam binárnych kombinácií 00, 10, 11, 01 je uvedený na obr. 5.

Motor má štartovať valcom A pri polohových kódach 11 alebo 01 a valcom B pri polohových

kódoch 10 alebo 00. Parametre vstrekovania (okamžik nástupnej hrany a dĺžka vstrekovacích impulzov ( $V_A$ ,  $V_B$ ) budú predvolené na základe experimentálneho overenia.

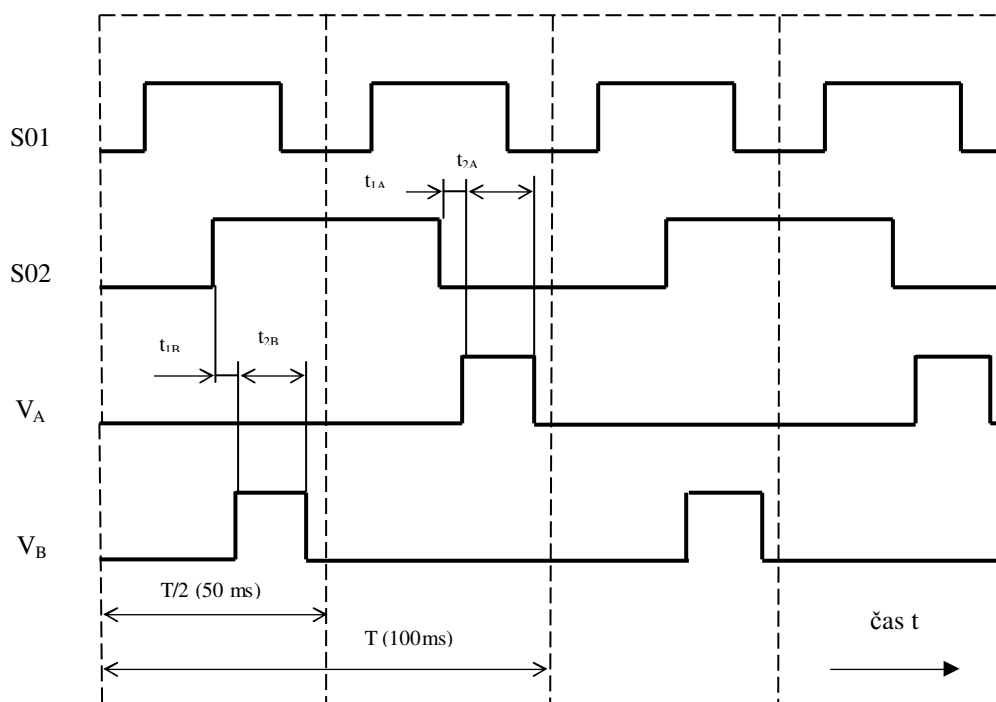
Pri hladkom štarte motor po štartovacom vstrekovacom impulze prejde do programu kontinuálneho chodu. Aktívny piest pri hladkom štarte dokončí zdvih, čo je signalizované polohovým kódom 00 pre piest A a polohovým kódom 01 pre piest B.

V praxi budú nastávať stavy, keď po štartovacom impulze nedôjde k pohybu príslušného piesta alebo jeho pohyb bude nedostatočný na dosiahnutie úplného zdvihu. Pravdepodobnou príčinou sťaženého štartu môže byť zavzdušnenie vstrekovacej sústavy. V takom prípade bude chýbať vstrekovacia dávka alebo bude nedostatočná pre

rozbeh motora. Ak do hraničného časového intervalu od vstrekovacieho impulzu piest nedosiahne plný zdvih, RJ zopakuje vstrekovací impulz, napríklad po 1 sekunde a tak to opakuje až pokiaľ piest nevykoná plný zdvih, maximálne napríklad 10 vstrekovacích impulzov.

### C) Podprogram nepretržitého (kontinuálneho) chodu

Polohovanie a časovanie vstrekovania je znázornené na obr. 5 a 6. Pri prvotných testovaniach motora predpokladáme manuálne zadávanie parametrov vstrekovania  $t_1$  a  $t_2$  - u finálnej verzii predpokladáme samočinné optimalizované nastavovanie. Pri prvých skúškach je možné predpokladať aj manuálny rozbeh – roztočenie motora.



Obr. 6. Časovanie vstrekovania FV TM.

Fig. 6. Injection timing of FV TM.

#### Legenda k obr. 5 a obr. 6:

S01 – optický snímač polohy č. 1

S02 – optický snímač polohy č. 2

A – piest A

B – piest B

z – zdvih piestov A, B ( $z_{max} = 50$  mm)

$V_A$  – budiaci impulz EM ventilu valca A

$V_B$  – budiaci impulz EM ventilu valca B

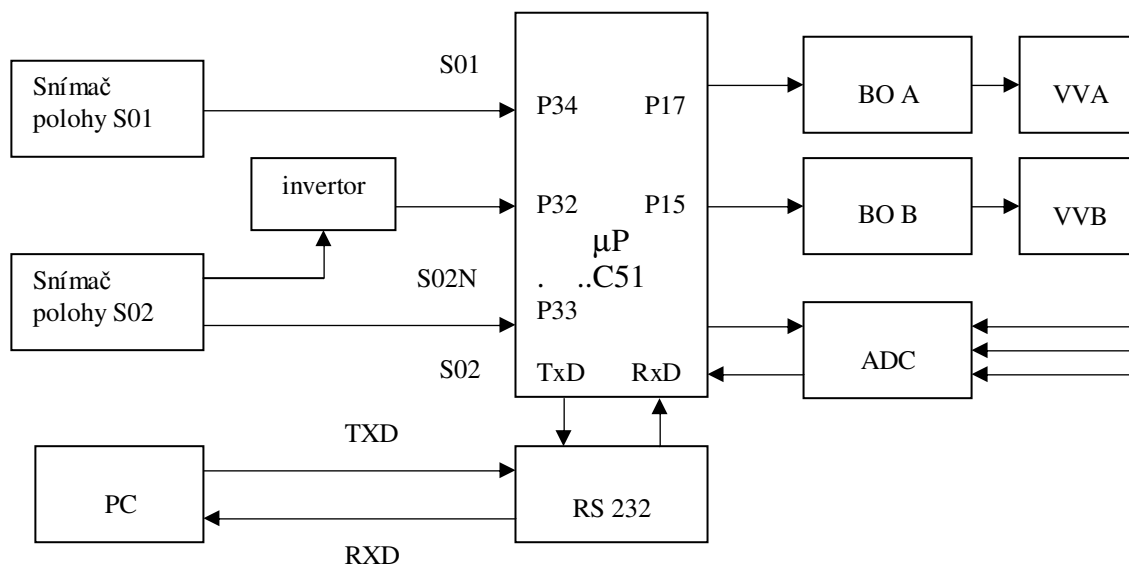
$t_{1A}$ ,  $t_{1B}$  – začiatok vstrekovacích impulzov valcov A, B adresovaný signálom S01, S02 a synchronizovaný signálom S02

$t_{2A}$ ,  $t_{2B}$  – dĺžka vstrekovacích impulzov valcov A, B

T – perióda otáčok n motora pri použití kľukového hriadeľa, kde  $n = 1/T$  (napríklad pre  $n = 600$  otáčok za minútu je  $T = 100$  ms)

## 4. NÁVRH HARDWAROVÉHO RIEŠENIA

Navrhované hardwarové riešenie rešpektuje základné požiadavky na algoritmus riadenia funkčného vzoru solárneho termomotora (FV TM). Pre splnenie týchto požiadaviek sa javí veľmi výhodne použiť zapojenie s monolitickým mikroprocesorom s vlastným programovým vybavením, obr. 7. Modifikovaním riadiaceho SW možno jednoducho meniť algoritmus riadenia motora. Zadávanie parametrov motora (štart, rozbeh, stop, predstih, dĺžka trvania vstrekovacích impulzov atď.) je možné prostredníctvom sériového rozhrania RS232 [2].



Obr. 7. Blokové zapojenie elektroniky riadenia FV TM.  
Fig. 7. Block diagram of FV TM control circuit.

#### Legenda k obr. 7:

S01 - signál optického snímača polohy (HÚ resp. DÚ

valcov A resp. B)

S02 - signál optického snímača polohy (stredná poloha

valcov A resp. B)

S02 - invertovaný signál optického snímača S02

µP - riadiaci monolitický mikropočítač

RS232 - interface pre pripojenie nadradeného systému (napr. PC)

P15 a P17 - binárne výstupy budiacich impulzov

P32 až P34 - binárne vstupy snímačov polôh

BO A - budiaci obvod vstrekovacieho ventilu A,

BO B - budiaci obvod vstrekovacieho ventilu B,

VVA - vstrekovací ventil valca A,

VVB - vstrekovací ventil valca B,

ADC - analógovo - digitálny prevodník pre meranie

teplôt motora

## 5. POPIS KOMUNIKAČNÉHO PROTOKOLU

Riadiaci SW je členený do jednotlivých častí – podprogramov. Aktivovanie resp. výber jednotlivých podprogramov si užívateľ volí prostredníctvom nadradeného systému napr. PC s príslušným ovládacím programom. Nastavenie základných parametrov riadenia chodu FV TM je prostredníctvom sériového rozhrania RS232.

Nastavenie: Prenosová rýchlosť B = 9600 Bd, jeden ŠTART bit, jeden STOP bit, bez PARITY

Parametre riadenia:

**START DB1 DB2 DB3 DB4 CS END**

Význam jednotlivých BYTE-ov je uvedený v nasledujúcom popise:

**START** - 02 H

**DB1** - nastavenie režimu práce motora

Rozsah ( 00.... 05) kde :

00 – STOP, zastavenie chodu motora

01 – ŠTART, resp. rozbeh TM a automaticky prechod

do režimu 02

02 - kontinúálny režim – momentálne prístupný len cez

režim 01

03 - manuálny režim dvojčinného vstrekovania

(0....50Hz)

04 - manuálny režim jednočinného vstrekovania valca A

(0....25Hz)

05 - manuálny režim jednočinného vstrekovania valca B

(0....25Hz)

*Poznámka:* Do režimu 02 prejde motor automaticky po dosiahnutí minimálnych otáčok motora 0,2 ot./sek.

**DB2** - nastavenie oneskorenia začiatku vstrekovacích

impulzov, tzv. predstih

Rozsah: 0°....90° (00H....5AH, t.j. 00D....90D)

[°], kde: 00H = 0 ° - nulový predstih, t.j. vstrekovanie nastáva v hornej úvrati piestov

5AH = 90° maximálny predstih, t.j. 90° pred hornou úvratou piestov.

**DB3** - nastavenie dĺžky trvania vstrekovacích impulzov

valcov A a B v [ms]

Rozsah: 0ms....50ms, kde (00H .... 32 H, t.j. 00D ....50 D) [ms]

*Poznámka:* Ak sa nastaví hodnota trvania vstrekovacieho impulzu väčšia, ako oneskorenie začiatku vstrekovania, potom je doba vstrekovacieho impulzu rovná dobe oneskorenia začiatku vstrekovacieho impulzu.

**DB4** - nastavenie opakovacej frekvencie budiacich impulzov v manuálnom režime  
Rozsah: 0Hz...50Hz kde (00H...32H, t.j. 00 D ....50 D) [Hz]  
**END** - 03 H

## 6. TESTOVANIE VSTREKOVACEJ SÚSTAVY

Testovanie bolo vykonané s touto zostavou:

- Elektromagnetické ventily REGADA, typ: 2VE1, 2M ( 2 ks).
- Vstrekovacie dýzy VeeJet Spraying Systems, typ: H1/8VV-SS11004 (2 ks).
- Budiaca elektronická súprava GoldenSUN, typ: BES AB-03
- Hydraulický akumulátor 1 l/ 4 bar.

### A. Testovanie minimálnej šírky vstrekovacích impulzov (4. BYTE – DB3)

Testovanie pri dvojčinnom vstrekaní pri vstrekovacej frekvencii 1 Hz (01H) každého kanála. Skúškou zistená minimálna šírka budiacich impulzov pre kanály A a B 6 ms (06H).  
Zodpovedajúce nastavenie kódov: 02H 03H 5AH  
**06H 01H 03H**

### B. Testovanie maximálnej frekvencie vstrekovania (5. BYTE – DB4)

Testovanie pri dvojčinnom vstrekaní pri šírke budiacich impulzov 8 ms (08H).  
Skúškou zistená maximálna frekvencia každého kanála A a B 22 Hz (16H)  
Zodpovedajúce nastavenie kódov: 02H 03H 5AH

Budenie [ms]	6	8	16	32
Impulzná dávka [cm <sup>3</sup> ]	0,14	0,22	0,32	0,47

08H **16H** 03H

### C. Testovanie vstrekaného množstva

Pretlak 2 bar, frekvencia na kanál 2 Hz

## 7. ZÁVER

Hlavným cieľom článku bolo informovať o novom spôsobe solárnej termomechanickej konverzie. Pomocou všeobecnej teórie termodynamických cyklov a doterajších poznatkov o navrhovanej solárnej termomechanickej konverzii bolo možné definovať vstupné predpoklady ovplyvňujúce parametre skutočného solárneho tepelného motora. Základným predpokladom dosiahnutia konkurencieschopných parametrov motora je dôkladne teoretické a praktické zvládnutie prebiehajúcich fyzikálnych procesov. Vzhľadom k vysokej zložitosti a vysokým nárokom nie je možné problematiku zvládnuť bez profesionálne navrhnutého počítačového spôsobu riadenia.

Ďalší výskum v danej oblasti má byť zameraný na analýzu, optimalizáciu a praktické experimentálne overenie fyzikálnych procesov nového spôsobu solárnej termo-mechanickej konverzie a automatizovaného spôsobu riadenia funkčného vzoru solárneho motora s využitím vnútroštruktúrového absorbovania radiácie privedeného tepla, dvojstupňového generovania pary a regenerovania odvedeného tepla.

Súvisiacou problematikou výskumu má byť výskum špeciálnych kapilárnych poréznych materiálov teplotne a termodynamicky vhodných pre použitie v skúmanej parnej termo-mechanickej konverzii, ako aj vhodných materiálov pre ďalšie konštrukčné prvky motora a heliostatu [1], [2].

## LITERATÚRA

- [1] Herec, I. - Župa, J.: Výskum solárnych a solárno-plynových termických energetických zdrojov. In: Electrical and Electronic Engineering, Vol.2/2003, No.1, pp. 55-60, Zborník Elektrotechnickej fakulty Žilinskej univerzity, Žilina, 2003
- [2] Župa, P. - Kušnir, V.: Podnikateľský zámer GoldenSUN Slovakia, s.r.o.. Bratislava, 6. 6. 2005
- [3] Horák, Z. – Krupka, F.: Fyzika – príručka pro vysoké školy technického směru. SNTL/ALFA, Praha 1, 1981
- [4] Cenk, M. – kol.: Obnovitelné zdroje energie. FCC PUBLIC, Praha 8, 2001