



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SYSTÉM PRO MĚŘENÍ TEPELNÉ ÚČINNOSTI SOLÁRNÍCH ABSORBÉRŮ

SYSTEM FOR MEASURING OF THERMAL EFFICIENCY OF SOLAR ABSORBERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN ŘIHÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

RNDr. LIBOR MRŇA, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Řiháček

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Systém pro měření tepelné účinnosti solárních absorberů

v anglickém jazyce:

System for measuring of thermal efficiency of solar absorbers

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro deskový solární absorber je klíčovým údajem jeho tepelná účinnost, tedy schopnost měnit dopadající sluneční záření na tepelnou energii. Pro tento účel je potřebné mít k dispozici zařízení měřící tepelnou účinnost na základě rozdílu teplot obíhající teplosměnné kapaliny a jejího průtoku.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce bude návrh a realizace systému pro současné měření tepelné účinnosti pěti vzorků solárních absorberů. Tyto solární absorbery budou umístěny na výkyvném rámu umožňujícím směřování a naklápění vzhledem k dopadajícímu slunečnímu záření. Předpokládá se použití měřící ústředny komunikující s PC. Požaduje se průběžné měření vstupní a výstupní teploty obíhající vody a měření jejího průtoku pro každý instalovaný vzorek absorberu s následným automatickým výpočtem tepelné účinnosti.

Seznam odborné literatury:

1. LADENER, H., SPATE, F. Solární zařízení. Praha: Grada Publishing 2003. ISBN 80-247-0362-9
2. HALLEY, A., HUMM O., VOSS,K. Solární energie. Využití při obnově budov. Praha: Grada Publishing 2001. ISBN 80-7169-580-7
3. MATUŠKA T.: Solární soustavy, Grada Publishing 2005. ISBN 978-80-247-3503-0
4. HAVLÍČEK J. a kol.: Začínáme s Labview, BEN, ISBN 978-80-7300-245-9
5. KREIDL M.: Měření teploty - senzory a měřicí obvody, BEN. ISBN 80-7300-145-4
6. BEJČEK L. a kol.:Měření průtoku a výšky hladiny, BEN. ISBN 80-7300-156-X
7. BOHUMIL B. Elektrická měření pro bakaláře, BEN. ISBN 978-80-7300-405-7

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 7.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Řiháček Jan: Systém pro měření tepelné účinnosti solárních absorberů.

Práce se zabývá měřícím systémem pro stanovení tepelné účinnosti nově vyvinutých typů solárních absorberů. Měřicí aparatura umožňuje současné vnitřní či venkovní zjišťování tepelné účinnosti až u čtyř vzorků absorberů. Důraz je kladen na měření průtoku a změny teploty teplotonosného média. Za tímto účelem je použito snímačů Biotech FCH-m-POM-LC a LM35DZ. Signál snímačů je převeden do PC pomocí měřicí karty NI USB-622. Zde je dále zpracováván navrženým vyhodnocovacím programem. Software je realizován ve vývojovém prostředí LabVIEW. V závěru práce jsou provedena ověřovací měření pro posouzení funkčnosti systému a vyhodnocení tepelné účinnosti různých typů solárních absorberů. Touto cestou je rovněž prokázána vysoká efektivita aplikace absorpční vrstvy nátěrem barvy RABSORB 5.

Klíčová slova: tepelná účinnost, solární absorber, LabVIEW, měření teploty, měření průtoku

ABSTRACT

Řiháček Jan: System for measuring of thermal efficiency of solar absorbers.

The thesis deals with the measurement system for determining the thermal efficiency of the newly developed types of solar absorbers. Measuring equipment allows simultaneous indoor or outdoor thermal efficiency detection of up to four samples absorbers. Emphasis is placed on the flow and heat transfer medium temperature changes. For this purpose is used Biotech FCH-m-POM-LC and LM35DZ sensors. Sensor signal is transferred to a PC using the measuring module NI USB-6221. Here it is further processed by proposed evaluation program. The software is implemented in LabVIEW integrated development environment. In a final part are performed a verification measurements to assess system performance and evaluate the thermal efficiency of various types of solar absorbers. This path is also demonstrated high efficiency applications absorbent layer coating color RABSORB 5.

Keywords: thermal efficiency, solar absorber, LabVIEW, temperature measurement, flow measurement

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŘIHÁČEK, Jan. *Systém pro měření tepelné účinnosti solárních absorberů*. Brno, 2013. 63s, 10 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 22.5. 2013

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu RNDr. Liboru Mrňovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Dále děkuji Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D. z Energetického ústavu FSI VUT v Brně za laskavé zapůjčení snímače globálního ozáření a Ing. Zdeňku Buchtovi, Ph.D. z Ústavu přístrojové techniky AV ČR za spolupráci v oblasti filtrace signálů v LabVIEW.

Tato práce vznikla v rámci projektu VUT FSI Brno č. FSI-S-12-05 „Vývoj technologie pokročilého solárního absorbéru se strukturovaným povrchem a řízenou cirkulací“ (ev.č.:1664).

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

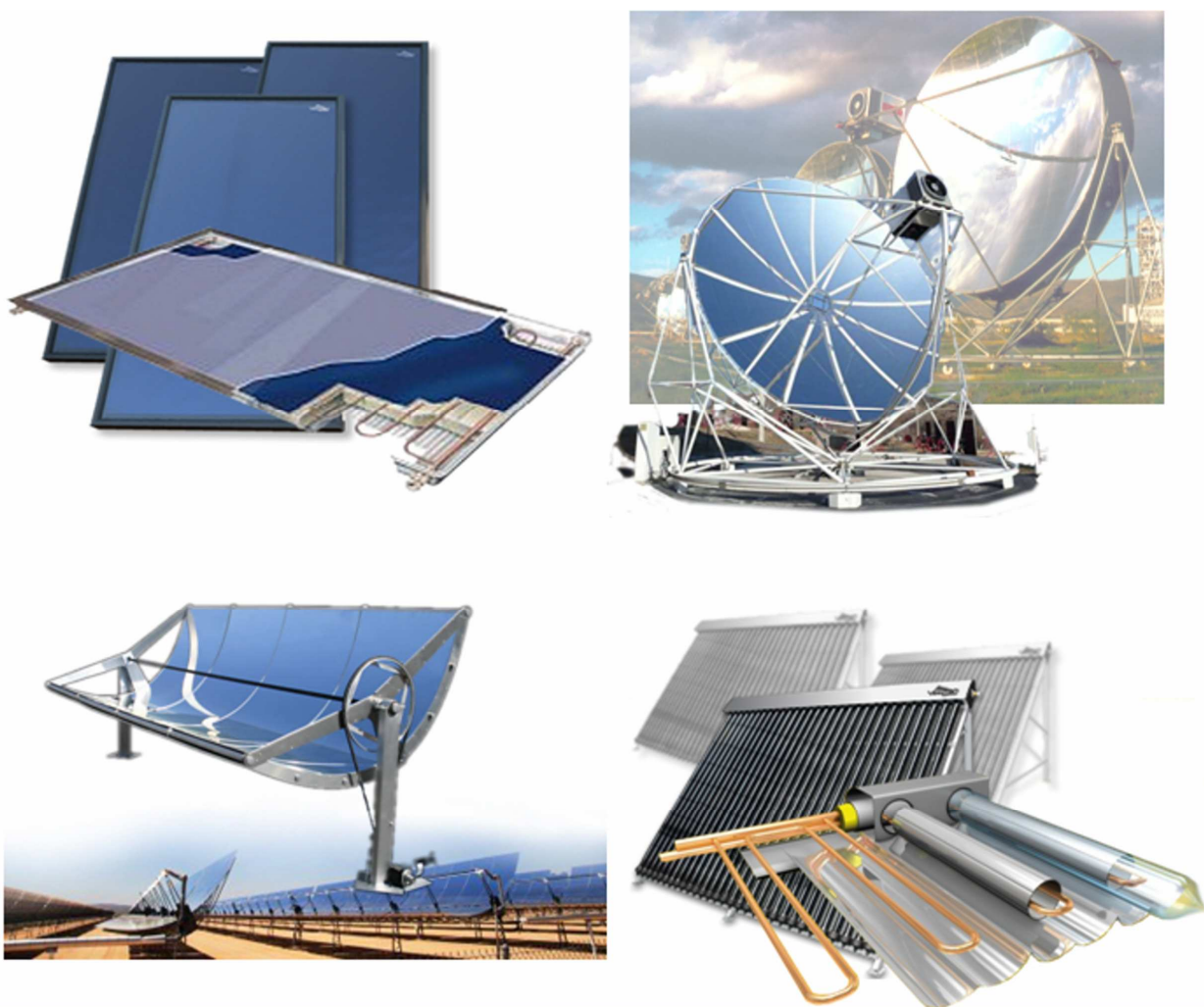
ÚVOD.....	9
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU.....	10
1.1 Rozdělení solárních kolektorů.....	11
1.1.1 Teplonosná látka	11
1.1.2 Zasklení	12
1.1.3 Tlak výplně	13
1.1.4 Absorbér	13
1.1.5 Konstrukce.....	14
1.2 Povrchově strukturovaný absorbér	19
1.2.1 Materiál	20
1.2.2 Výroba	20
1.2.3 Povrchové vrstvy	22
2 TEPELNÁ ÚČINNOST KOLEKTORŮ	24
2.1 Analytické stanovení účinnosti.....	24
2.1.1 Vnější energetická bilance.....	25
2.1.2 Vnitřní energetická bilance.....	27
2.2 Experimentální stanovení účinnosti.....	28
3 NÁVRH MĚŘÍCÍHO SYSTÉMU	31
3.1 Oběhové čerpadlo	32
3.2 Rozvod teplonosné kapaliny	32
3.3 Měření teploty	33
3.4 Měření průtoku	37
3.5 Měření slunečního ozáření	39
3.6 Napájecí zdroj.....	43
3.7 Měřicí karta	43
3.8 Výsledný měřicí systém.....	45
4 NÁVRH MĚŘÍCÍHO PROGRAMU.....	48
4.1 Základní popis LabVIEW	48
4.2 Čelní panel.....	49
4.3 Blokové schéma	52
5 OVĚŘOVACÍ MĚŘENÍ.....	59
5.1 Průběh účinnosti v čase	59
5.2 Proložení regresní křivkou	61
6 ZÁVĚRY	63
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratek	
Seznam použitých obrázků	
Seznam použitých tabulek	
Seznam příloh	

ÚVOD [5], [14], [18], [24], [28], [37], [38], [40], [48]

Neustálé zvyšování ceny energie, jež je obzvlášť v dnešní době nezanedbatelné, a znečišťování životního prostředí při její výrobě vede lidstvo k hledání nových, pokud možno účinných a zároveň obnovitelných zdrojů. Popřípadě ke zkvalitnění výroby energie ze zdrojů stávajících. Slunce, které každou sekundu vyprodukuje tolik energie, která by vystačila na více jak 1000 let spotřeby celého světa, je jedním z nejstálějších a nejspolehlivějších zdrojů energie. Proto se hojně využívá napříč všemi světadíly a v různých aplikacích. Jednou z nejrozšířenějších oblastí využití slunečního záření je ohřev kapalin či plynů pomocí solárních kolektorů.

Výroba kolektorů představuje komplexní problematiku, která v sobě zahrnuje několik disciplin, jako jsou tváření, svařování, povrchové úpravy a další. V dnešní době existuje celá škála těmito technologiemi vyráběných typů kolektorů. Ty se liší tvarem, použitým materiálem nebo i způsobem získávání tepelné sluneční energie. Některé příklady jsou vyobrazeny na obr.1. K posouzení jejich efektivnosti je využíváno několika základních ukazatelů. Jedním z nich je i tzv. tepelná účinnost.

Jedná se o parametr, jenž udává s jakou efektivitou a s jakými ztrátami dokáže solární tepelný kolektor, popřípadě jeho absorbér, pohlcovat sluneční záření, které poté mění na teplo. Hodnoty účinnosti kolektorů jsou získávány převážně experimentální cestou pomocí měření vybraných parametrů při jejich činnosti.

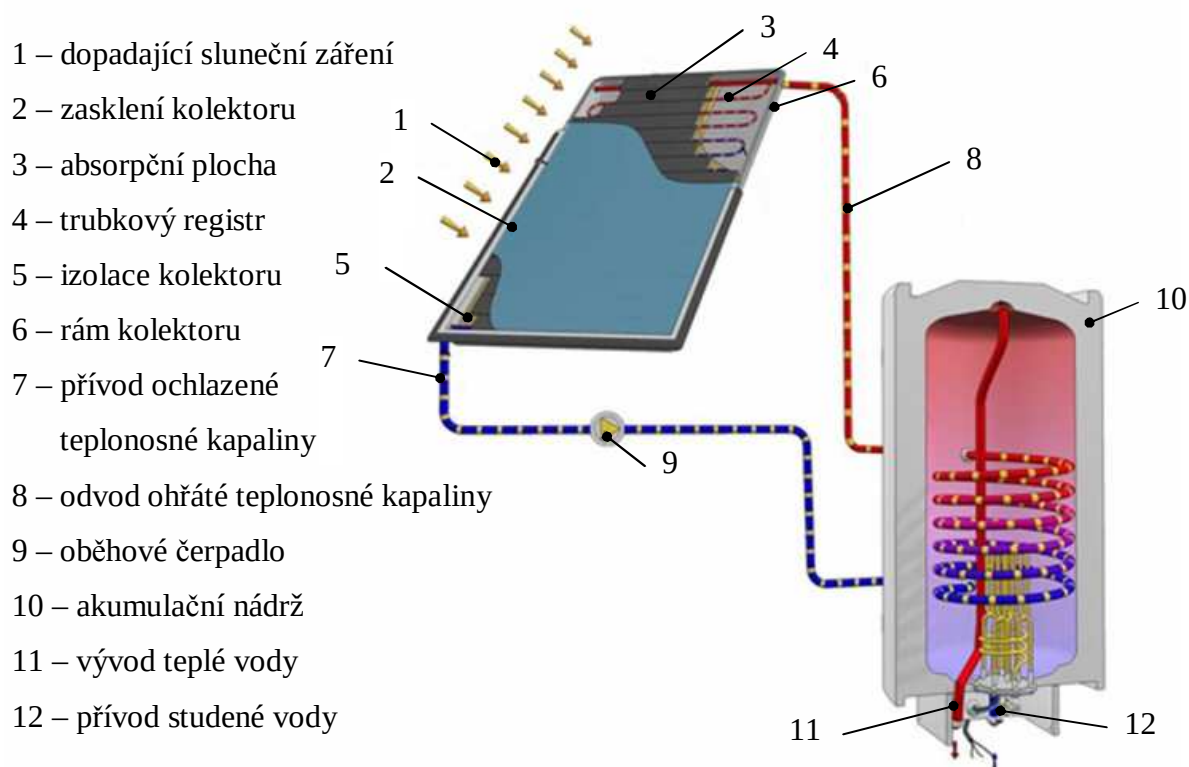


Obr.1 Příklady solárních kolektorů [14], [28], [37], [38], [40], [48]

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [5], [24], [38], [39]

Solární kolektor slouží k absorpci slunečního záření a k přeměně takto získané sluneční energie v tepelnou. Jedná se o tzv. fototermální přeměnu energie. Jinými slovy řečeno, pohlcení sluneční energie povrchem tuhých látek nebo kapalin a jejich ohřev. Při jejím uplatnění dochází po dopadu fotonů slunečního záření k předání jejich energie na dopadající látku a k následnému rozkmitání molekul této látky. Tímto způsobem je vyvíjeno teplo, které lze poté využít.

Tepelná energie je dále distribuována k teponosnému médiu, jež protéká kolektorem a které takto získané teplo odvádí potrubím solárního tepelného systému přes výměník do akumulární nádrže, někdy též nazývané solární zásobník. Odtud už teplem ohřáté médium putuje dle účelu do vodovodního nebo topného systému, do bazénu apod. Nejjednodušší sestavu solárně termálního okruhu popisuje obr.2. Obecně lze říci, že každý tepelný okruh musí nutně obsahovat solární kolektor, jako zdroj ohřevu teponosného média a akumulární nádrž, která může sloužit buďto jen pro uchovávání kolektorem ohřáté látky nebo s jedním i více výměníky tepla pro ohřev druhého, vnějšího okruhu, jako v případě uvedeného obrázku. Pro správnou funkci celého okruhu je nutná i instalace oběhového čerpadla, které zajišťuje cirkulaci teplosměnné látky v okruhu. Kromě těchto základních komponent je samozřejmě využito dalších prvků, jako např. elektronického regulátoru, expanzní nádoby, odvzdušňovacího zařízení apod.

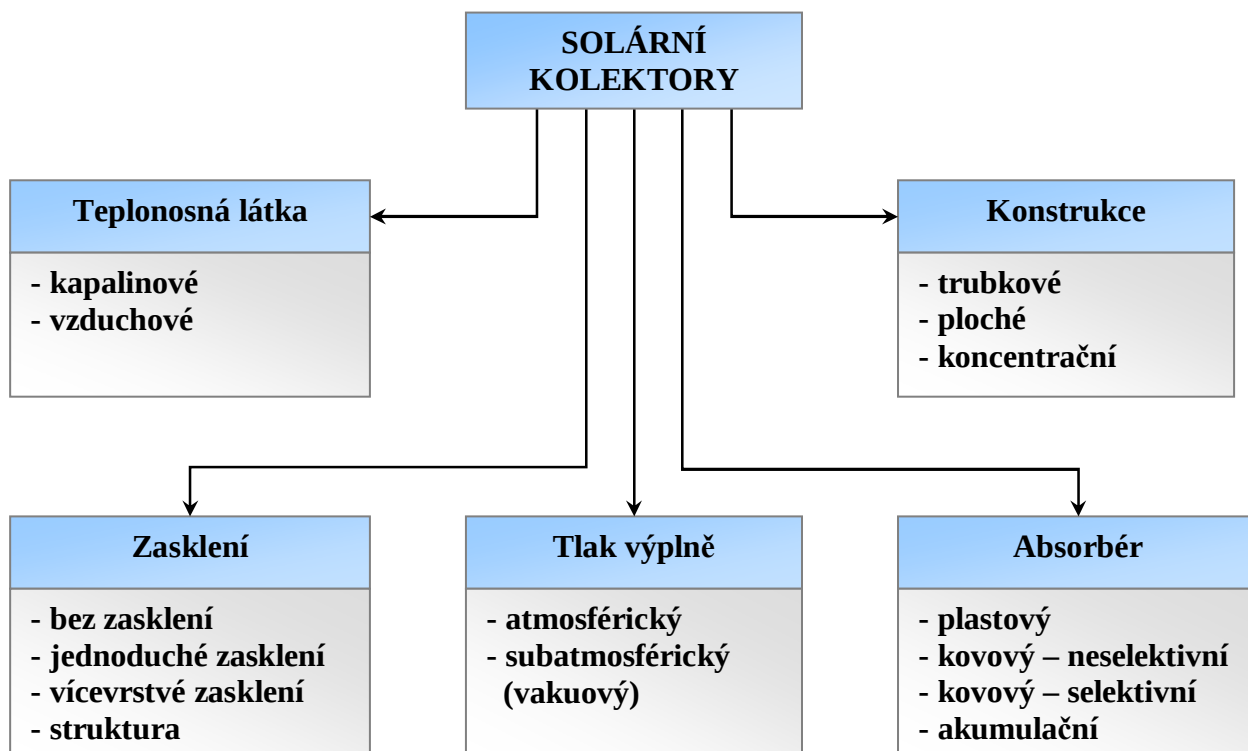


Obr.2 Schéma činnosti solárního tepelného systému [39]

Z výše uvedeného vyplývá, že prvotním členem solárního kolektoru i celého solárního okruhu je absorbér, neboť právě ten zajišťuje celému systému zdroj tepelné energie. Ta se z absorpční plochy odvádí pomocí sítě kanálků, ve kterých proudí teponosná látka, nejčastěji voda. K zamezení tepelných ztrát slouží další prvky. Na zadní a bočních neaktivních stěnách kolektoru, jakož i po celé cestě ohřátého média, je použito tepelné izolace a přední stranu kolektoru v některých případech zakrývá skelná deska. Tvar, rozložení, či případná úplná absence některých výše popsanych částí kolektorů závisí na jejich typu.

1.1 Rozdělení solárních kolektorů [5], [7], [24], [36], [39]

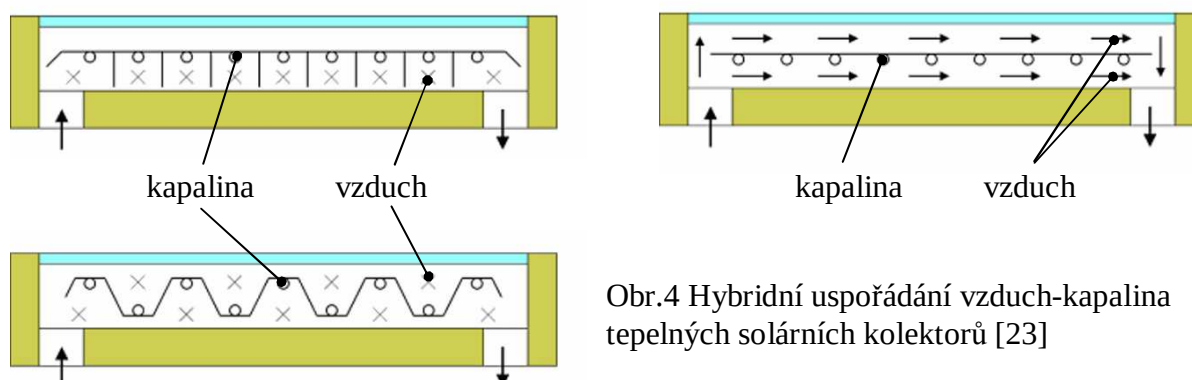
Existuje mnoho aspektů, na jejichž základě jsou poté tepelné solární kolektory děleny. Základní dělení kolektorů dle nejčastěji uváděných parametrů je vyobrazeno na obr.3. Každý typ kolektoru je vhodný pro jiné aplikace. Vhodný či nevhodný výběr určitého typu kolektoru má tedy rozhodující vliv na efektivnost celé instalované tepelné soustavy.



Obr.3 Základní rozdělení solárních kolektorů [24]

1.1.1 Teplonosná látka [23], [24], [38]

Z pohledu teplonosného média se kolektory rozdělují na dvě skupiny. První je použití vzduchu, a to například v cirkulačním vytápění nebo pro předehřev čerstvého vzduchu. Nutno ale dodat, že vzduchové kolektory se používají jen zřídka. V současnosti na našem území převládá využití kapalinových kolektorů, kde teplonosnou látku představuje voda nebo nemrznoucí směs vody a propylenglykolu. V dnešní době se pro zvýšení účinnosti kolektorů začínají využívat tzv. hybridní či duální systémy. Ty v sobě kombinují jako teplonosné látky vzduch i kapalinu, přesněji jde o kombinaci vzduch-voda nebo vzduch-směs vody a propylenglykolu. Příklad hybridního uspořádání takovýchto kolektorů uvádí obr.4.

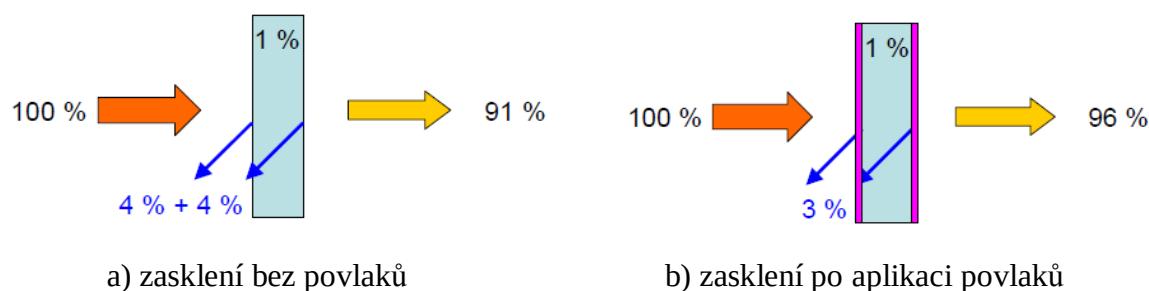


Obr.4 Hybridní uspořádání vzduch-kapalina tepelných solárních kolektorů [23]

Teplonosné médium rovněž určuje parametry absorpční plochy solárního kolektoru. Zatímco při použití kapalinových kolektorů je nutné zajistit co možná největší absorpční plochu, jelikož je nutné maximalizovat tepelný zisk dopadajícího slunečního záření, u vzduchových kolektorů je situace zcela opačná. Plynné médium je mnohem více náchylnější na tepelné ztráty. Proto je nutné plochu absorbéru naopak minimalizovat.

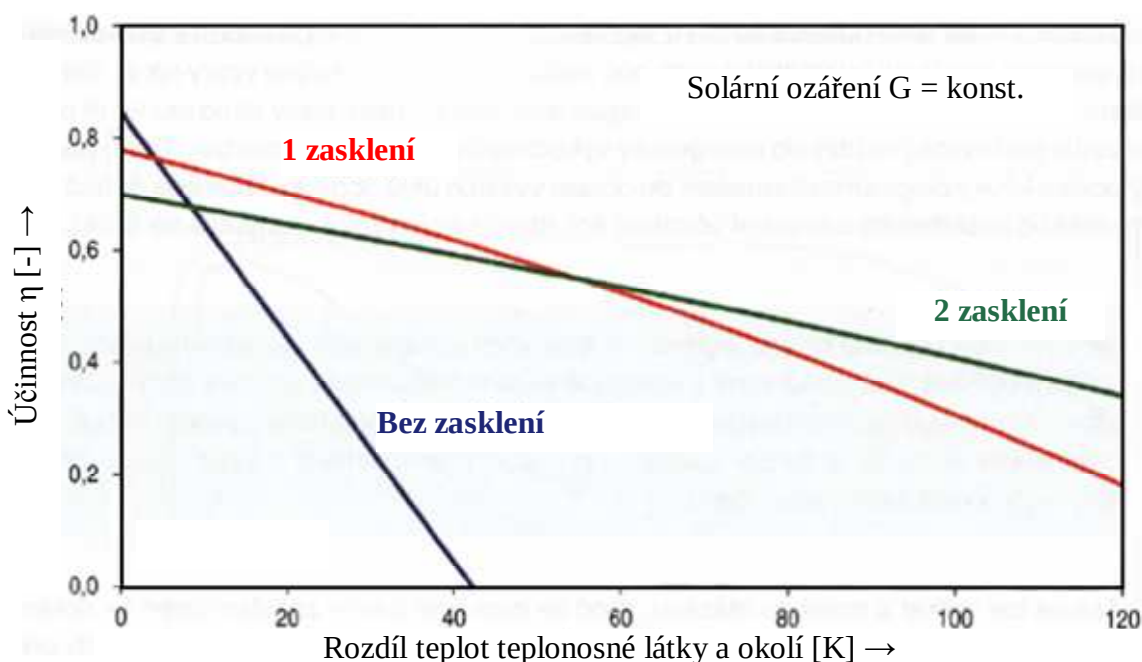
1.1.2 Zasklení [24]

Zasklení je užíváno jako ochrana absorpční plochy kolektoru proti degradaci, ale především pro snížení ztrát kolektoru. I když je potřeba dodat, že omezuje množství slunečního záření, které po průchodu zasklením dopadá na absorbér a tím i množství využitelné energie. Toto negativum je způsobeno pohlcením slunečního záření materiálem zasklení nebo odrazem paprsků od fázových rozhraní zasklení – vzduch tak, jak to dokumentuje obr.5a. Nutnou podmínkou efektivnosti zaskleného kolektoru je propustnost zasklení, udávaná v oblasti vlnových délek záření (0,3 až 3) μm .



Obr.5 Změna propustnosti jednoduchého zasklení aplikací antireflexních povlaků [24]

K omezení ztrát pohlcením záření je použití skel s nízkým obsahem oxidu železa tzv. solárních skel. Odraz slunečních paprsků na jednotlivých rozhraních lze potlačit aplikací povlaků s velmi nízkým indexem lomu tzv. antireflexními povlaky. Jedná se o povlaky na bázi SiO_2 nebo TiO_2 . Zvýšení propustnosti záření po použití zmíněných povlaků ilustruje obr.5b. Ztráty odrazem jsou zvláště patrné při zvyšování úhlu dopadu slunečních paprsků. Za tímto účelem se používá strukturované prizmatické zasklení, nejčastěji s výstupky ve tvaru pyramid na vnitřní straně zasklení. Vliv různého stupně zasklení na účinnost kolektoru popisuje obr.6.



Obr.6 Vliv zasklení na účinnost kolektoru při konstantním slunečním ozáření [24]

Obecně lze konstatovat, že zasklení přispívá účinnosti kolektoru (obr.6), neboť snižuje jeho tepelné ztráty, a to dvojnásobným způsobem. Ztráty sáláním omezuje díky své nepropustnosti dlouhovlnného záření a navíc přispívá k odizolování od okolí díky vzduchové mezeře mezi zasklením a absorpční plochou. Účinnost lze zvýšit užitím násobného zasklení, které rozděluje vzduchovou mezeru a tak snižuje ztráty prouděním a sáláním. Toho se využívá zejména při vyšších hodnotách rozdílu teplot teplotnosné látky a okolí.

1.1.3 Tlak výplně [24]

Podle tlaku v prostoru před absorberem lze dělit solární kolektory na ty s atmosférickým tlakem (cca 10^5 Pa) a na kolektory se sníženým tlakem. U nich se hodnota tlaku pohybuje v rozmezí (10^{-3} až 10^{-4}) Pa.

Jednoznačnou výhodou vytvoření vakua před absorpční plochou je výrazné snížení tepelných ztrát, a tedy zvýšení účinnosti kolektoru. To ovšem klade vyšší nároky na konstrukci, přesněji na těsnost kolektoru. Nutnost dokonalého utěsnění kolektorů vymezuje pro jejich konstrukční materiály jisté podmínky. Materiály nesmí propouštět molekuly a atomy plynů vzduchu a i při zvýšených teplotách nesmí být jejich parciální tlak větší, než vytvořené vakuum. Z toho vyplývá nepoužitelnost organických látek, jako jsou plasty, dále zinku, fosforu a některých dalších přísad kovů.

1.1.4 Absorbér [2], [5], [13], [17], [24], [39]

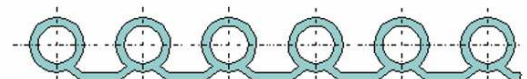
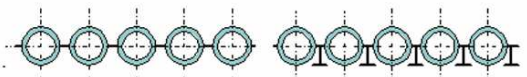
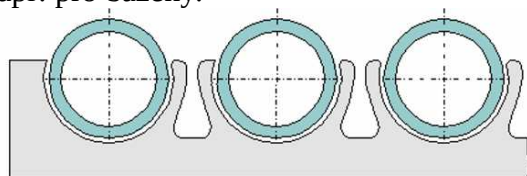
Z hlediska přeměny sluneční energie na tepelnou je absorbér nejdůležitější součástí tepelných solárních kolektorů. Právě na jeho povrchu dochází k přímé přeměně sluneční záření-teplo. Z hlediska ekonomiky výroby i energetické účinnosti jsou k výrobě absorbérů a jejich povrchů užívány různé materiály.

• Plastové absorbéry

Tento typ absorbérů tak, jak je uveden na obr.7, je vyráběn z polymerů typu polyethylenu nebo polypropylenu. Dalším používaným materiálem je syntetický kaučuk. Konstruuji se téměř výhradně jako nezasklené, a to v provedení plochém nebo trubkovém, které lze snadno přizpůsobit jakémukoliv povrchu. Průřezy takovýmito absorbéry znázorňuje obr.8. Ačkoliv jsou levné, snadno smontovatelné, jejich nízká životnost a tepelná i tlaková odolnost je předurčuje především pro sezónní ohřev vody např. pro bazény.



Obr.7 Příklad plastového absorbéru [17]



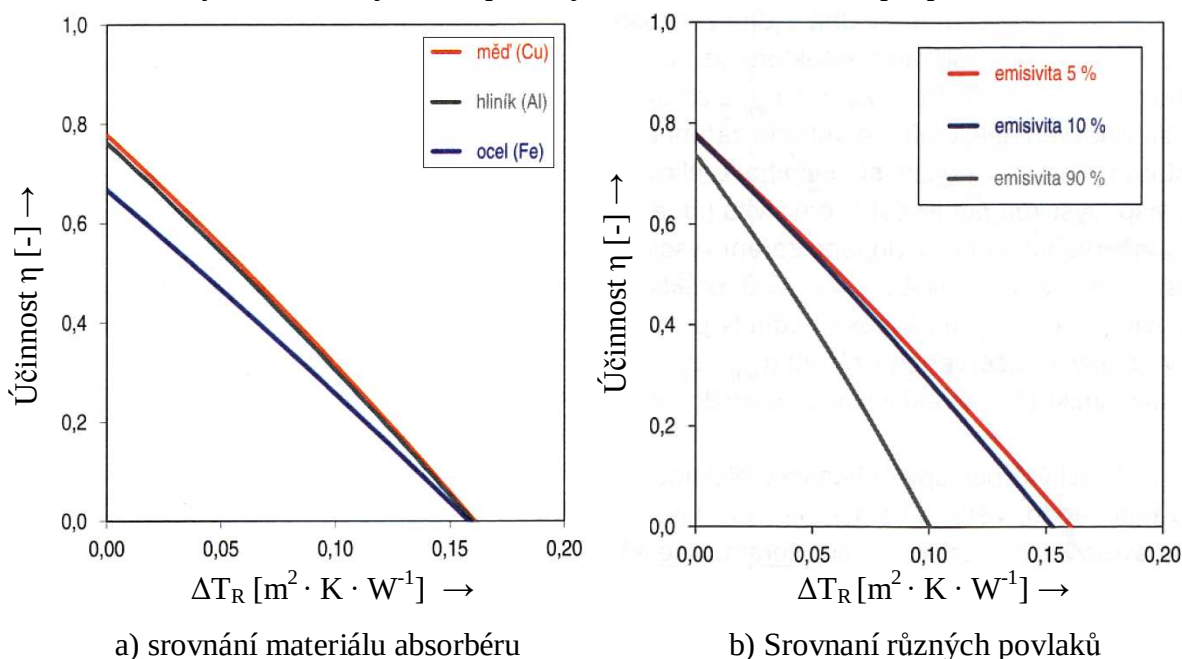
a) Trubkové provedení

b) Ploché provedení

Obr.8 Průřezy plastových absorbérů [2]

• Kovové absorbéry

Použití kovových absorpčních ploch je dnes standardem. Problémem všech materiálů absorberu je zajištění co nejvyšší účinnosti při odvodu tepla do teplotnosného média. Z tohoto důvodu jsou nejpoužívanějšími materiály hliník a měď, jež mají vysokou tepelnou vodivost (Al 250 a Cu 390) W/(m·K). Obr.9a uvádí srovnání závislosti účinnosti na tzv. redukovaném teplotním spádu ΔT_R , kterýžto pojem je níže vysvětlen, při stejné tloušťce absorpčních ploch, ale rozdílném materiálu. Absorbéry z těchto materiálů dosahují tloušťek nejčastěji (0,2 až 0,4) mm. V zásadě se dá říci, že čím nižší je tepelná vodivost použitého materiálu, tím vyšší tloušťku je nutné pro stejnou účinnost odvodu tepla použít.



Obr.9 Srovnání účinnostních křivek různých materiálů absorberu a jeho povlaků [24]

Ke zvýšení účinnosti a efektivnosti absorberů jsou tyto navíc povlakovány. Rozeznávají se spektrálně neselektivní nebo selektivní povlaky, které jsou využívanější. Spektrálně selektivní povrchy se vyznačují vysokou účinností pohlcení slunečního záření spektra krátkých vlnových délek (0,3 až 3) μm , resp. vysokou pohltivostí ($\alpha_T \approx 1$). Další vlastností je minimální vyzařování tepelného záření v dlouhovlnné oblasti (nad 3 μm), resp. nízká emisivita ($\varepsilon_T \approx 0$). Tím omezují některé tepelné ztráty. Porovnání vlivu emisivity na účinnost je zobrazeno v závislosti účinnosti na redukovaném teplotním spádu (obr.9b). Na první pohled je z uvedených průběhů patrné, že křivka emisivity 90 % (neselektivní povrch) vykazuje daleko nižší účinnost, než křivky (5 a 10) %, které představují selektivní povrchy.

V současnosti je nejvíce využíváno vícevrstevných cermetových povlaků, jež dávají absorpčnímu povrchu charakteristické černé nebo tmavě modré zabarvení. Tloušťka v dnešní době používaných povlaků nepřekračuje 300 nm. K jejich výrobě jsou používány nejrůznější metody, jako např. napařování, naprašování, galvanické pokovení, potahování fóliemi atd.

1.1.5 Konstrukce [5], [13], [23], [24], [25], [36], [38], [41], [42], [43], [45]

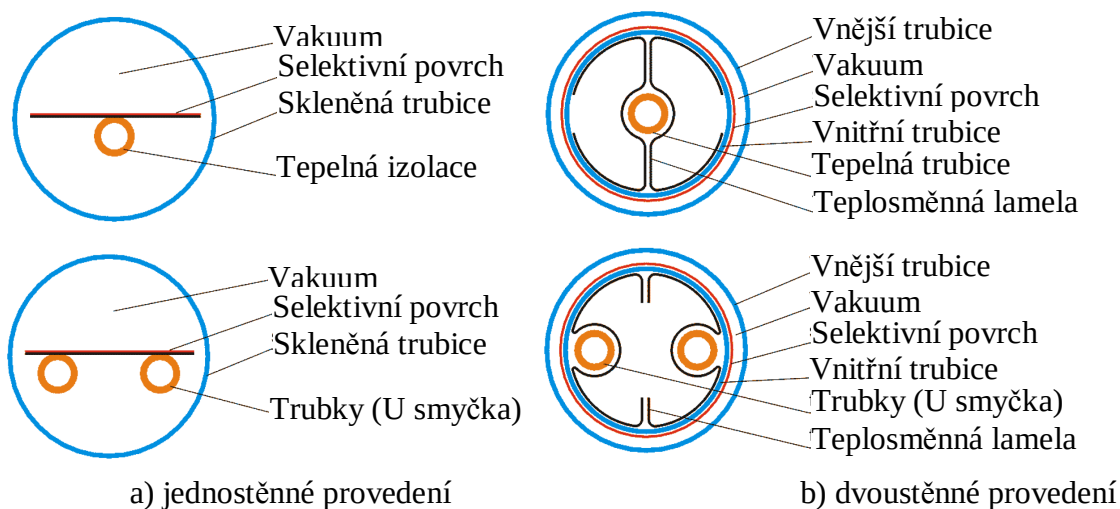
Mezi nejzásadnější rozdělení kolektorů patří to konstrukční. Podle konstrukce se rozeznává několik typů kapalinových kolektorů. Každý z nich je specifický svými výhodami i nedostatky. Rozličné konstrukce předurčují každý jeden konstrukční typ solárních kolektorů pro různé využití. Níže jsou uvedeny základní typy konstrukčních řešení kolektorů v souladu z dříve zmíněným rozdělením (obr.3).

• Trubicové kolektory

Trubicové kolektory jsou v principu skleněné trubice, upevněné vedle sebe ke kostře kolektoru, jak je vidět na obr.10. V trubicích je ve většině případů snížen tlak pod $1 \cdot 10^{-3}$ Pa. Díky vakuu uvnitř každé skleněné trubky, které funguje jako izolace, jsou minimalizovány tepelné ztráty. Kolektory mají dvě základní konstrukční varianty. Trubice mohou být, jak ilustruje obr.11, buďto jednoduché s plochým absorbérem nebo zdvojené s válcovým absorbérem. V případě zdvojeného provedení je vakuum mezi skleněnými stěnami trubek.

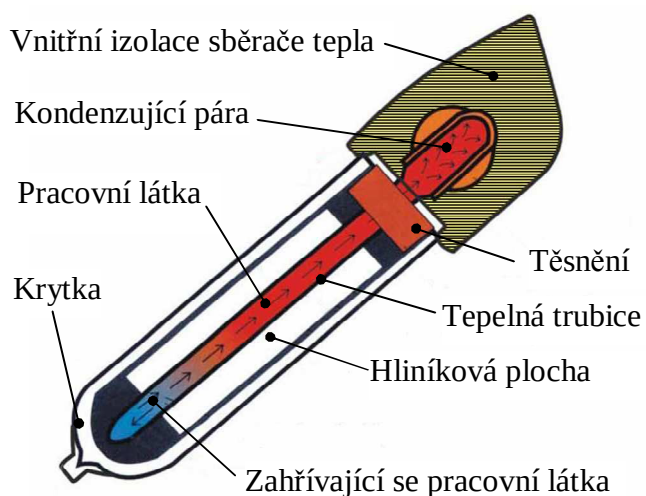


Obr.10 Příklad trubicového kolektoru [13]



Obr.11 Příklady uspořádání absorbérů trubicových kolektorů [24]

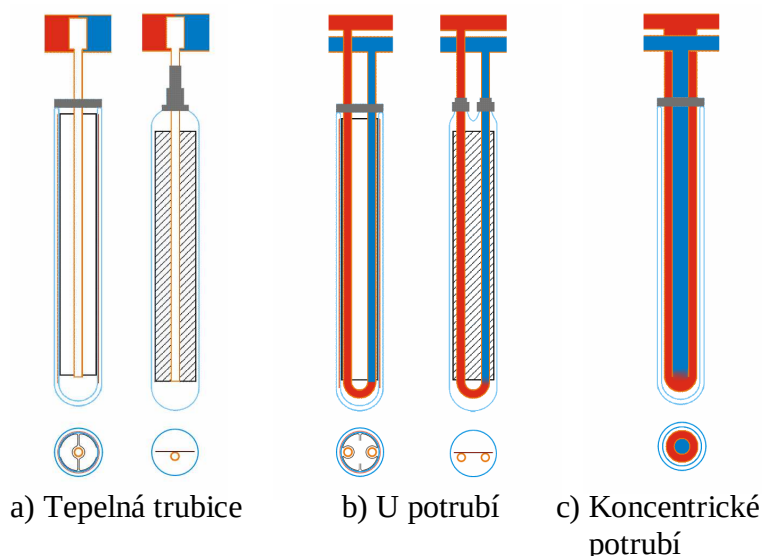
Podle způsobu odvodu tepelné energie využívají trubicové solární kolektory několik možných konstrukčních řešení, pomocí nichž se dále dělí typy s jednoduchým a dvojitým zasklením.



Obr.12 Princip tepelné trubice [43]

Prvním je tzv. tepelná trubice, jejíž princip je uveden na obr.12 a konfigurace pro jednostěnné či dvoustěnné provedení kolektorů na obr.13. Uvnitř hermeticky uzavřené tepelné trubice se nachází pracovní látka, jako např. voda, líc, propan-butan atd., která je vlivem ohřevu slunečními paprsky přes absorbér na jedné straně trubice (výparníku) zahřívána a poté odpařována. Pára se přesouvá k chladnější části, kde kondenzuje a předává teplo, získané při odpaření. V kapalném skupenství pracovní látka stéká zpět do výparníkové strany trubky a cyklus se opakuje. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost sklonu trubic (20 až 25)°.

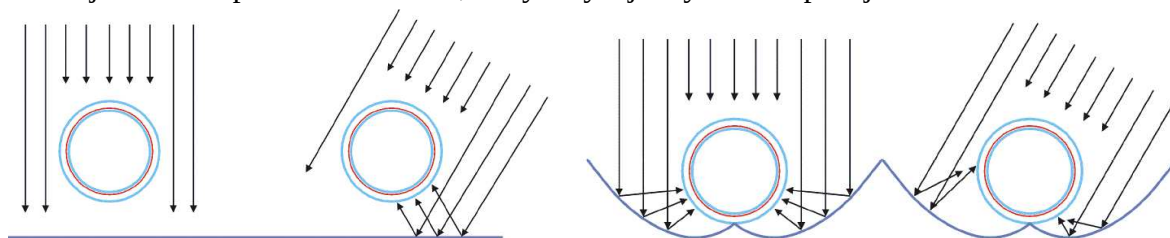
Další možností jsou přímo protékané kolektory. Zde je využíváno buďto tzv. koncentrické potrubí (trubka v trubce) nebo U trubka (Obr.13). U koncentrického potrubí je vnitřní trubkou přiváděno teplotnosné médium, v prostoru mezi trubkami přijímá teplo z absorberu a ohřáté je odváděno. Důvod trubky ve tvaru U je pouze zvětšit dráhu, na které teplotnosná kapalina zvyšuje svoji teplotu přestupem tepla z absorberu do trubky.



Obr.13 Příklady konstrukce trubkových kolektorů [24]

Výhoda trubkového provedení kolektoru spočívá v možnosti naklápět absorber, v případě plochých, okolo os trubek, ve kterých jsou umístěny. U válcových absorberů nutnost naklápění dokonce úplně odpadá. Není tedy nutné polohovat celé kolektory podle úhlu dopadu slunečních paprsků. Naopak nevýhodou je celková křehkost zařízení a tudíž možnost celkem snadného mechanického poškození. Dále pak vyšší cena oproti ostatním.

Ke zvýšení ziskovosti trubkových kolektorů, mohou být tyto vybaveny zrcadlovými plochami (Obr.14), jež odráží nevyužitě sluneční paprsky do absorberu a tím prakticky zvětšuje aktivní plochu kolektorů, tedy zvyšuje využití dopadajícího slunečního záření.



Obr.14 Využití odrazových ploch u trubkových kolektorů [24]

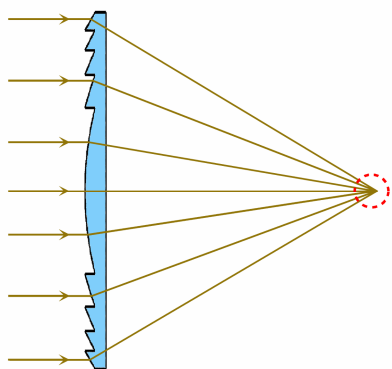
• Koncentrační kolektory

Druhým využívaným systémem solárních kolektorů jsou tzv. koncentrační nebo též soustředující kolektory. Jak název napovídá, tyto kolektory se snaží o koncentraci slunečního záření odrazem za použití zrcadel nebo lomem, pro něž se používají čočky. Těmito způsoby usměrněné paprsky slunečního záření dopadají do ohniska, tedy na absorpční plochu.

Systémy používající zrcadla lze podle způsobu usměrnění paprsků (do bodu či přímky), resp. dle tvaru absorberu, dále rozdělovat na soustředující kolektory s bodovým nebo lineárním ohniskem. Příklady takovýchto kolektorů uvádí obr.15 (vlevo kolektor s bodovým, vpravo s lineárním ohniskem).



Obr.15 Koncentrační solární kolektory [24], [38]



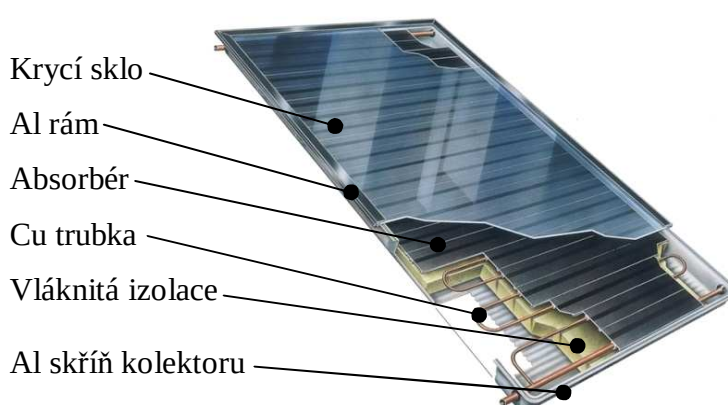
Obr.16 Fresnellova čočka [41]

Některé soustředující kolektory využívají též tzv. Fresnellovu čočku viz obr.16. V ní dochází k lomu dopadajících slunečních paprsků, které jsou tak směřovány do ohniska čočky. Zde je umístěn absorbér. Jedná se o typ koncentračních kolektorů s lineárním ohniskem.

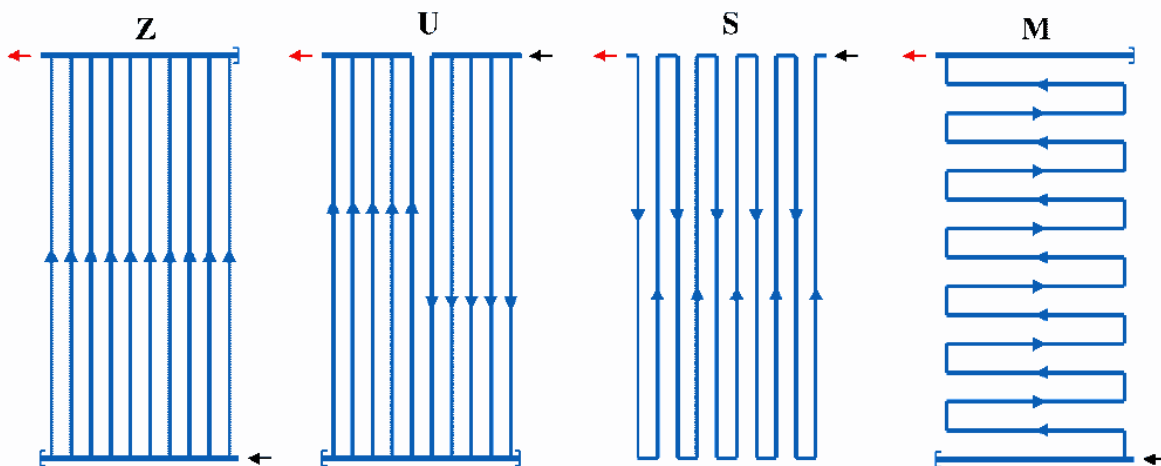
Výraznou nevýhodou koncentračních kolektorů je nutnost jejich polohování v závislosti na současné poloze slunce což klade zvýšené nároky na konstrukci a automatizaci pohybového mechanismu, což samozřejmě prodražuje celý systém. I proto jsou předurčeny především pro průmyslové účely.

• Ploché kolektory

Plochý kolektor tvoří rovinná, nejčastěji hliníková nebo měděná deska (absorbér), na níž je ve většině případů nanesena absorpční vrstva. Absorbér může být konstruován jednoduše nebo děleně ve formě lamel. Pod ním se nachází meandrovitá struktura, tvořená sítí trubek (obr.18) pro přívod a odvod teplotného média. Schéma konstrukce takového kolektoru je na obr.17.



Obr.17 Schéma plochého solárního kolektoru [42]



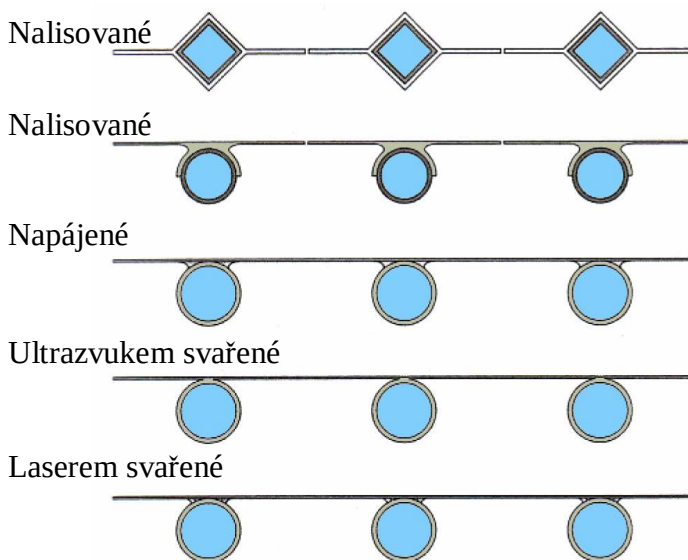
Obr.18 Varianty trubkového registru plochých kolektorů [24]

Nejjednodušším typem plochého kolektoru je tzv. nekrytý, nebo také nezasklený kolektor. Odstranění zasklení na cestě slunečních paprsků na jedné straně působí pozitivně, neboť odpadá ztráta odrazem právě od případného zasklení. Na druhou stranu ale nic nebrání odchodu tepla přední stranou absorbérů (tepelným ztrátám). Účinnost kolektoru je tak výrazně ovlivňována změnou teploty okolí nebo změnou rychlosti větru. Jinými slovy řečeno, tyto kolektory jsou vhodné zvláště pro nízkoteplotní ohřev. Tedy pro ohřev, kdy je malý rozdíl mezi teplotou venkovní atmosféry a ohřátou kapalinou (viz kapitola 1.1.2).

Dalším typem je, při použití zasklení absorpční plochy čirým nebo texturovaným solárním sklem, zasklený atmosférický kolektor. Jak sám název napovídá, je sice použito zasklení, které zmenšuje některé tepelné ztráty kolektoru, ale mezi sklem a absorpční plochou je běžný atmosférický tlak, což oproti případnému vakuu značně usnadňuje výrobu i údržbu, na úkor vyšší účinnosti. Některé prameny připouštějí i možnost použití dvojího zasklení, a to ve formě dvojskla či jako sklo s fólií. Zasklené atmosférické kolektory jsou vůbec nejrozšířenějším typem kolektorů. Uvádí se až 80% podíl na celkovém množství prodávaných kolektorů. U zasklených kolektorů se používá řízená ventilace k zabránění kondenzace vodí páry na vnitřní straně skla, což samozřejmě neplatí pro vakuové zasklení.

Posledním základním typem jsou, jak už bylo zmíněno, zasklené vakuové kolektory. Ty využívají sníženého tlaku mezi absorberem a zasklením k účinnějšímu potlačení tepelných ztrát (oproti atmosférickým kolektorům). Použití vakua přináší kromě benefitů i různé nevýhody. Například tělo kolektoru je nutné vyztužit, aby odolalo nízkému tlaku a nezbortilo se. Navíc je pro udržení vakua bezpodmínečně nutné zajistit naprostou těsnost kolektoru. Toho je většinou docíleno samosvornými částmi, u nichž při snížení tlaku dochází ke zvýšení sevření, a tedy i utěsnění. Po odčerpání může být zbylý vzduch nahrazen inertním plynem, jako je argon.

Problémem, se kterým se ploché kolektory potýkají je oproti některým jiným typům poměrně nízká účinnost. Fakt, že kolektor netvoří volné segmenty jako v případě trubicových kolektorů, ale plocha, působí často velké problémy při ustavování kolektorů. Je totiž nutné zabezpečit vhodnou polohu pro pokud možno kolmý dopad slunečních paprsků na absorpční plochu. Dalším nedostatkem je ve většině případů pouze liniový styk mezi absorberem a trubicou s teplotonosnou kapalinou. Některé příklady konstrukčních řešení napojení trubkového registru na absorber uvádí obr.19.



Obr.19 Možnosti napojení absorbér-trubka [24]

I přes tyto potíže jsou obecně ploché typy v dnešní době nejpoužívanějšími solárními kolektory, jak ukazuje tab.1. Z ní je též patrný každoroční nárůst dodávek a instalace kolektorů jako celku, uvádí se nárůst o cca (25 až 30) % každý rok.

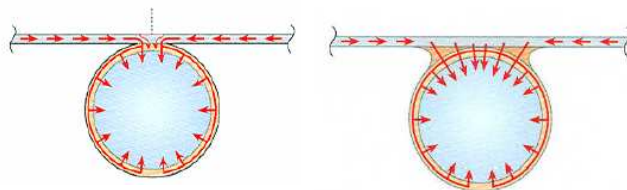
Tab.1 Plocha instalovaných solárních kolektorů v ČR v m² [25]

Typ kolektorů	Instalovaná plocha [m ²]						
	Rok						
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Ploché zasklené	52 228	60 657	73 768	90 647	109 547	136 047	175 847
Trubicové vakuové	6 000	7 768	10 121	13 663	19 763	28 263	40 063
Koncentrační	727	745	805	805	805	805	815
Celkem	58 599	69 170	84 694	105 115	130 115	165 115	216 725

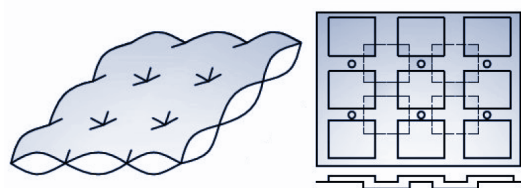
1.2 Povrchově strukturovaný absorbér [24], [29], [33], [42]

Při řešení problému nízké účinnosti plochých kolektorů je nutné brát na zřetel jejich dva základní konstrukční nedostatky. Jak bylo výše nastíněno, jedná se o liniový styk trubkového registru s absorbérem a neschopnost zajištění kolmosti na něj dopadajících paprsků.

První problém, tedy styk absorbér-trubka, je zvláště patrný z obr.20, kde je vlevo uveden onen liniový kontakt a vpravo částečné řešení zvýšení přechodu tepla v podobě napájeného spoje. Je zřejmé, že v případě zvětšení kontaktní plochy dochází k daleko lepšímu odvodu tepelné energie. Nejedná se ale o jediné možné řešení. Odvod ohřátého

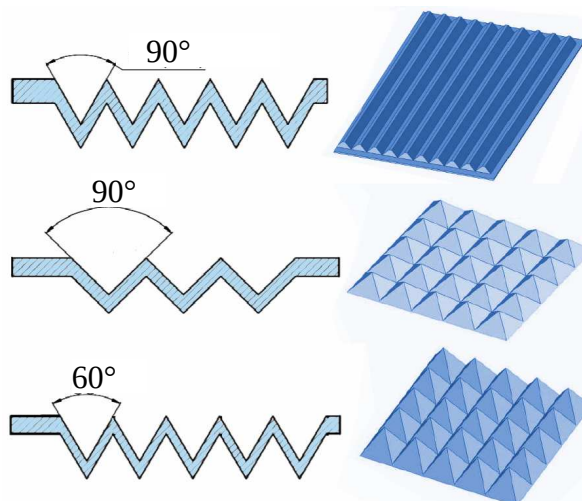


Obr.20 Řešení styku absorpční plochy a trubky [24]

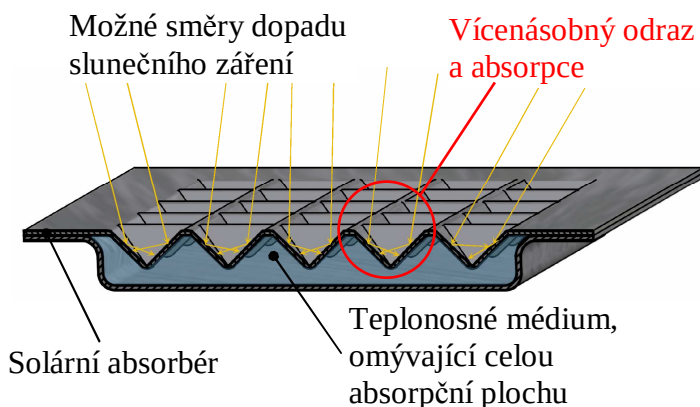


Obr.21 Přímé protékání absorbérů [42]

Dalším nedostatkem je naprosto plochý rovný povrch absorbérů, u kterého nelze zabezpečit požadovaný kolmý dopad slunečních paprsků, jež je pro maximální účinnost nezbytný. Řešením je zaměnit rovný povrch za určité reliéfy. Ty mají hned dva efekty. Nerovnosti umožňují zachytit více slunečního záření, navíc zvětšují teplosměnný povrch a tím také množství tepelné energie, které je ve výsledku předáno teplonosné látce. Variant prostorové struktury absorbérů je celá řada. Některé uvažované možnosti jsou vyobrazeny na obr.22.



Obr.22 Strukturované povrchy absorbérů [33]



Obr.23 Absorbér se strukturovaným povrchem [29]

S použitím obou výstupů zkvalitnění plochých kolektorů, vycházející z předešlé analýzy, byly na půdě Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně a Ústavu přístrojové techniky Akademie věd ČR vyvinuty nové typy povrchově strukturovaných absorbérů, jež mají výše popsané nedostatky odstranit a docílit tak zlepšených účinnostních parametrů. Řez jedné možné varianty absorbérů uvádí obr.23.

1.2.1 Materiál [8], [29]

Za předem definovaných kritérií, jako je dostatečná tepelná vodivost, tažnost, svařitelnost a cenová dostupnost, byl pro výrobu absorbérů zvolen plech tloušťky 0,5 mm z austenitické chromniklové oceli X5CrNi18-10 (ČSN 41 7240, DIN 1.4301, AISI 304). Chemické složení použitého materiálu uvádí tab.2.

Tab.2 Chemické složení oceli X5CrNi18-10 v % [29]

%C	%Cr	%Ni	%Mn	%P	%S	%Si	%Co	%Cu	%N
0,069	17,836	8,622	0,790	0,036	0,005	0,440	0,036	0,259	0,062

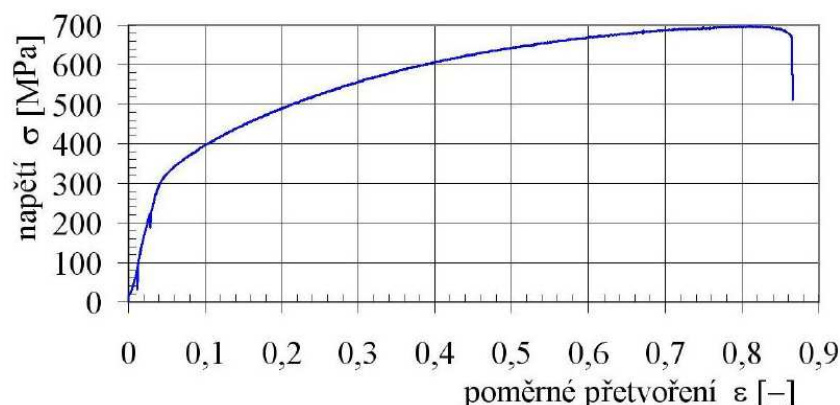
Materiál má výborné korozivzdorné i poměrně dobré tepelně vodivostní vlastnosti, jež jsou shrnuty společně s dalšími významnými fyzikálními charakteristikami v tab.3.

Tab.3 Mechanické vlastnosti oceli X5CrNi18-10 [29]

Mez kluzu	$R_{p0,2}$	[MPa]	291
Mez pevnosti	R_m	[MPa]	700
Tažnost	A_5	[%]	50

Tab.4 Fyzikální vlastnosti oceli X5CrNi18-10 [8]

Měrná hmotnost při 20°C	ρ	[kg · m ³]	$7,9 \cdot 10^3$
Měrná tepelná kapacita	c_p	[J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	500
Tepelná vodivost	λ	[W · m ⁻¹ · K ⁻¹]	15



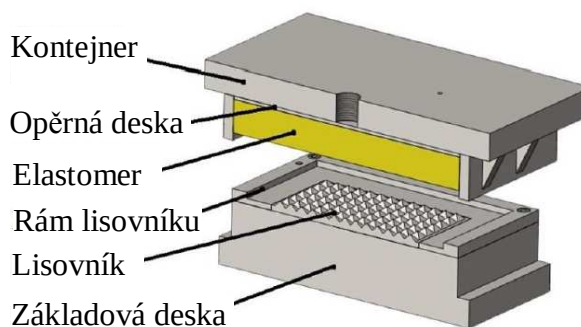
Obr.24 Průběh tahové zkoušky oceli X5CrNi18-10 [29]

Korozivzdornost materiálu je velmi důležitým hlediskem, neboť se počítá s vystavením jeho povrchu povětrnostním vlivům, kterým musí odolávat. Pro vyrobiteľnost solárních panelů je také benefitem jeho zaručená svařitelnost a dobrá tažnost. Naměřené mechanické vlastnosti, zjištěné tahovou zkouškou dle normy ČSN EN 10002-1 jsou uvedeny v tab.4. Průběh tahové zkoušky na trhačím stroji ZD 40, jak ji vyhodnotil program M-TEST z pěti vzorků, potom znázorňuje obr.24.

1.2.2 Výroba [27], [29], [33], [44]

Zhotovení absorbérů uvažovaných tvarů z obr.23 lze rozdělit do tří základních etap. Za prvé je nutné z přístřihů plechu zvoleného materiálu vylisovat potřebný tvar, tedy dno a absorpční část absorbérů, který je posléze opatřen otvory se závity pro přívod a odvod teplotnosné kapaliny a svařen.

Tvářecí část zahrnuje lisování plechového polotovaru nepevným nástrojem, a to polyuretanovými čtvercovými deskami tloušťky 25 mm. Tato metodika byla zvolena na základě faktu, že se jedná o kusovou prototypovou výrobu s nutností variace vyráběných tvarů. Princip nástroje ozřejmuje obr.25. Při sevření dochází k upnutí plechu rámem a současnému zatlačování lisovníku přes tvářený plech do bloku elastomeru.



Obr.25 Schéma lisovacího nástroje [29]

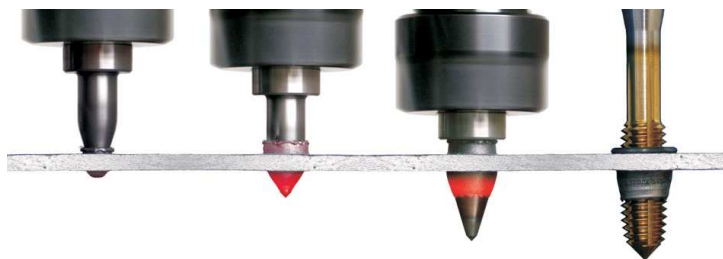
Takto jsou vyrobeny na přístřihu plechu prolisy, jež odpovídají tvarům výstupků lisovníku. Protože je plech pevně upnut, jeho tvarování se děje pouze na základě ztenčení stěny. Geometrii takto vyrobených uvažovaných tvarů prolisů dokumentuje již prezentovaný obr.20. Stejnou cestou, ale s jiným tvarem lisovníku je postupováno i při výrobě zadní části absorbéru. Na obr.26 jsou uvedeny obě již vylisované části, za použití hydraulického lisu CZK 600, stejně jako příklady vylisovaných perforací.



a) horní a spodní část absorbéru

b) příklady perforací

Obr.26 Ukázky vylisovaných částí absorbéru [29], [33]

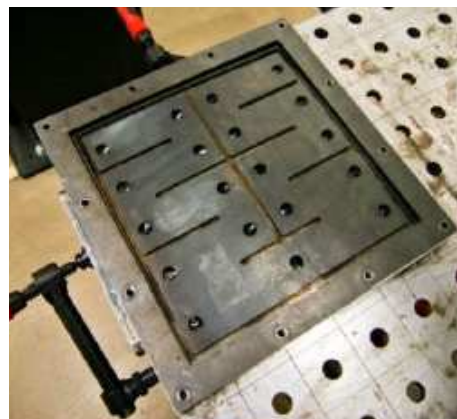


Obr.27 Princip technologie Flowdrill [27]

Před další etapou, kdy dojde ke svaření těchto výlisků je nutné zadní část opatřit otvory pro přívod a odvod teplotné kapaliny, které by po svaření byly jen obtížně vyrobitelné. Pro tento účel je výhodné použít technologii tzv. Flowdrill. Jak ukazuje obr.27, jedná se o výrobu otvorů a závitů různých

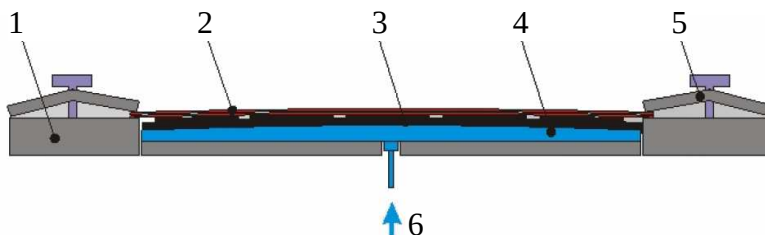
průměrů za použití speciálních hrotů, otáčejících se rychlostí cca (1000 až 3000) ot/min podle vyráběného otvoru nebo závitů.

Následuje spojení obou získaných dílců svařením. Bylo použito metody laserového svařování v tzv. penetračním režimu, kdy je možné svařit dva i více na sebe položených plechů. Navíc tato metoda umožňuje vyrobít meandrovitou strukturu pro řízený průtok kapaliny. To bylo ovšem odzkoušeno pouze na rovném, nikoliv strukturovaném povrchu. Postup spočívá v upnutí vylisovaných plechů do přípravku (obr.28, 29) a svaření za pomoci vláknového laseru YLS 2000 s maximálním výkonem 2 kW na výstupu. V případě výroby meandrovité struktury spočívá postup ve svaření a poté vyduť systému hydroform.

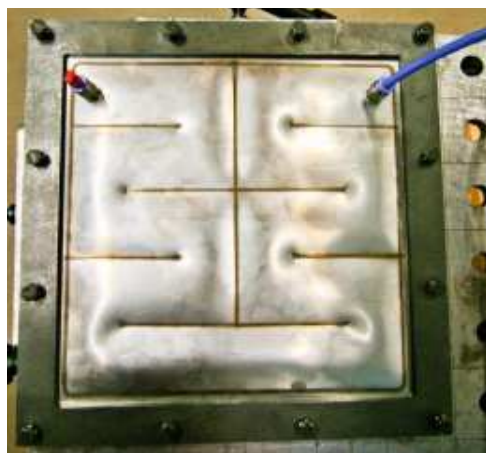


Obr.28 Svařovací přípravek [27]

- 1 – základový rám
- 2 – dvojice svařovaných plechů
- 3 – plovoucí svařovací šablona
- 4 – vzduchový polštář
- 5 – upínací kleština
- 6 – přívod stlačeného vzduchu



Obr.29 Svařovací přípravek pro přitlačení plechů [27]

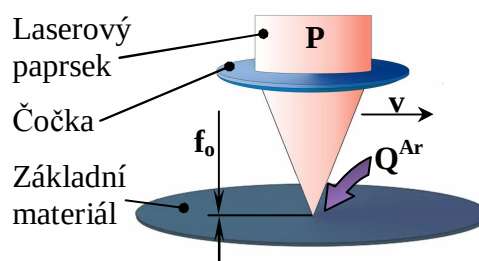


Obr.30 Vydutí absorbéru [27]

Aby došlo k těsnému přilnutí dvou na sebe položených plechů a nedocházelo ke špatným průvarům díky mezerám mezi materiály, byl použit přípravek pro svařování dle obr.29. V prostoru pod přístřihy se nachází membrána, která po přivedení stlačeného vzduchu vytvoří jakýsi polštář, který pevně přitiskne oba plechy k sobě. Poté lze již svařovat bez možných defektů. Parametry svařování jsou uvedeny v tab.5 a na obr.31. Po svaření stačí pouze pro vydutí absorbéru natlakovat vnitřní prostor. To se děje přivedením kapaliny o tlaku cca 5 barů do dutiny absorbéru jedním z otvorů, zhotovených Flowdrillem (obr.30). Druhý otvor je pochopitelně zaslepen.

Tab.5 Parametry při svařování dílců absorbérů [27]

Svařovací výkon	P	[W]	800
Svařovací rychlost	v	[mm · s ⁻¹]	30
Poloha ohniska vůči svařovanému povrchu	f _o	[mm]	0
Ochranná atmosféra: Ar-průtok	Q ^{Ar}	[l · s ⁻¹]	12

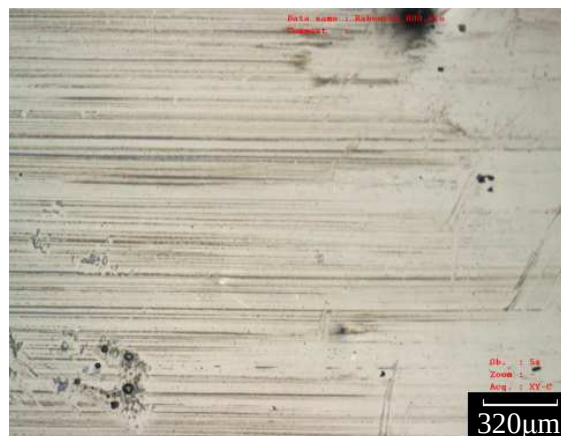


Obr.31 Parametry svařování [44]

1.2.3 Povrchové vrstvy [12], [18], [35], [46]

Zvýšení absorpce tepelného slunečního záření v makroblasti, tj. prolisy určitých tvarů, lze ještě zvýšit v mikroblasti zdrsněním povrchu těchto prolisů. Zde je možné využít dvou metod.

Levnější variantou z uvažovaných, je pouhé otryskání povrchu výlisků. Výhodou metody je nenáročnost na úpravu povrchu před vlastním tryskáním. Princip je velmi jednoduchý. V tryskacím stroji TS 01 byly na povrch absorbéru ze vzdálenosti 250 mm a pod tlakem 0,4 MPa vzduchem urychlovány částice hrubého korundu. Korundové částice se jeví jako nejvhodnější prostředek, neboť jsou velmi ostrohranné. Při tryskání sice degradují, ale při svém rozpadu vytvářejí opět menší ostrohranná tělíska. Za použití hrubozrnného korundu lze zvýšit drsnost tryskaného povrchu až na Ra 25 μm. Po otryskání je možné, ke zvýšení absorpce, takto upravený povrch opatřit nástřikem speciální absorpční černé barvy RABSORB 5. Mikrosnímek takového povrchu uvádí obr.32. Makrodetaily tryskaných, jakož i dalších povrchů jsou potom uvedeny níže na obr.34.

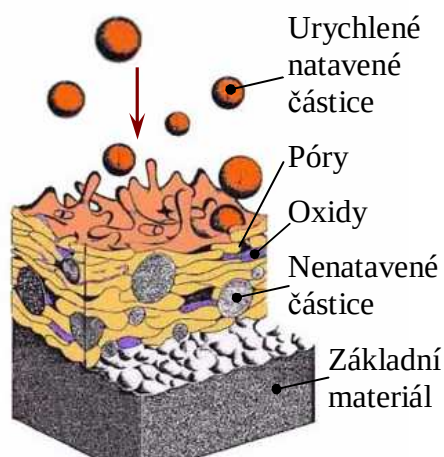


Obr.32 Povrch absorbéru s nástřikem barvy RABSORB 5

Dražší, ale účinnější způsob, jak docílit zdrsnění povrchu absorbéru, spočívá v aplikaci žárového nástřiku. Touto metodou vznikají na povrchu absorbéru nejen nerovnosti typu důlků, dutin a výstupků, ale navíc může přispívat k efektivnosti pohlcování slunečního záření vlastnostmi vhodně zvoleného přídavného materiálu, tj. jeho absorpcí nebo indexem lomu.

V principu se jedná o urychlení natavených částic přídavného materiálu směrem k základnímu materiálu, na kterém po dopadu, deformaci a následném rychlém ochlazení vytvoří nový povrch o heterogenní lamelární struktuře. V ní se mohou dle obr.33 vyskytovat kromě natavených částic také částice nenatavené, ale i oxidy a póry, které působí negativně na užité vlastnosti vytvořeného povrchu.

Metodou žárových nástřiků bylo zhotoveno několik variant povlaků, viz tab.6, přičemž hlavním kritériem výběru vhodných přídavných materiálů byla především jejich tepelná vodivost a absorpce. Další z tohoto hlediska vhodné materiály, kromě použitých, jsou vyobrazeny v příloze 1.

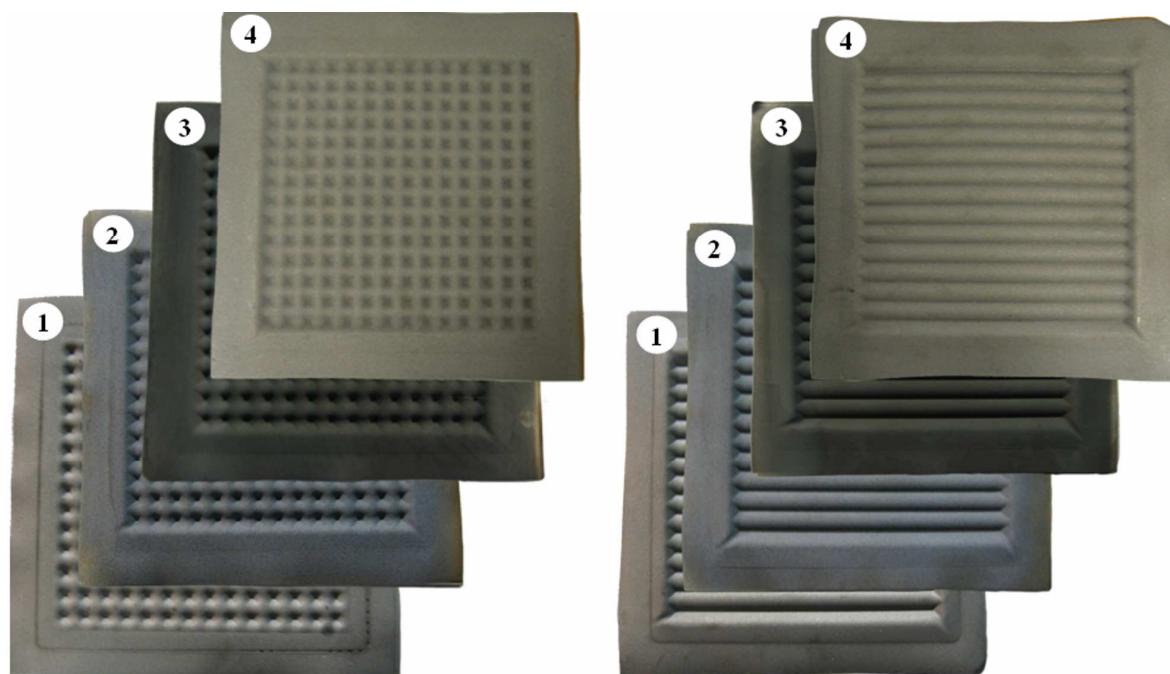


Obr.33 Řez žárovým nástřikem [12]

Tab.6 Použité přídavné materiály žárových nástřiků [18], [35], [46]

Druh povlaku	Tepelná vodivost [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Použitá metoda
Al ₂ O ₃ + 3%TiO ₂	$\lambda(\text{Al}_2\text{O}_3) \approx 30$; $\lambda(\text{TiO}_2) \approx 11$	plazmový nástřik
Cr ₂ O ₃	$\lambda(\text{Cr}_2\text{O}_3) \approx 5,17$	
Ni + 3%Al	$\lambda(\text{Ni}) \approx 58$; $\lambda(\text{Al}) \approx 230$	obloukový nástřik

Po zhotovení těchto povrchů v kombinaci s různými tvary prolisů vzniká celá řada možných variací absorbérů. Příklady jsou zobrazeny na obr.34. Detailnější zobrazení všech vzorků absorbérů je uvedeno v příloze 2. Aby bylo možné vyhodnotit vliv použitých povrchů na efektivitu, s jakou absorbér pohlcuje sluneční záření a mění jej v teplo, je nutné stanovit pro každý případ použitého povrchu tepelnou účinnost absorbéru.



a) jehlancovité prolisy

b) žebrovité prolisy

Stav povrchu (povlak): 1 – otryskáno, 2 – Al₂O₃ + 3%TiO₂, 3 – Cr₂O₃, 4 – Ni + 3%Al.

Obr.34 Příklady variant tvarů a povrchů absorbérů

2 TEPELNÁ ÚČINNOST KOLEKTORŮ [6], [7], [24]

Ke stanovení souhrnných charakteristik solárních tepelných kolektorů je používáno několik základních ukazatelů a jejich případné změny při měnících se provozních podmínkách, jako je například změna teploty okolí, rychlosti větru atd., tedy:

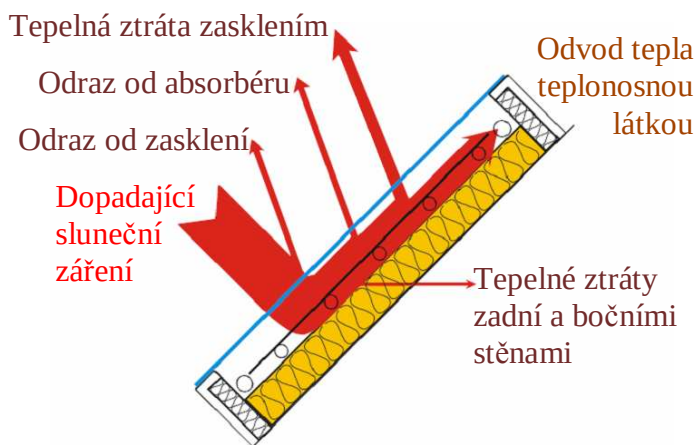
- modifikátor úhlu dopadu κ_θ – popisuje změnu účinnosti kolektoru při změně úhlu dopadu slunečních paprsků,
- tepelná kapacita C a časová konstanta τ_c – udávají tepelnou setrvačnost kolektoru a její vliv na jeho výkon,
- tepelný výkon $\dot{Q}_U$ odvedený užitečný tepelný tok kolektoru,
- tepelná účinnost η .

Tepelná účinnost, jež je jednou z nejkompexnějších charakteristik kolektorů, udává podíl pohlceného (využitého) slunečního záření ku celkovému dopadajícímu záření. Na základě tepelné účinnosti je dále možné stanovit tepelný výkon toho kterého kolektoru či absorberu za daných provozních podmínek.

Tepelnou účinnost solárních kolektorů lze stanovit dvěma způsoby. Analyticky za použití teoretických vztahů energetické bilance jednotlivých tepelných toků a fyzikálních vlastností uvnitř kolektoru anebo experimentálně za předem definovaných podmínek.

2.1 Analytické stanovení účinnosti [7], [24]

Tato metoda v základu využívá pro stanovení účinnosti kolektoru diferenciální rovnici energetické rovnováhy, jež je uvedena ve vztahu 2.1. Na kolektor dopadají sluneční paprsky, které se zčásti odrazí a zčásti jsou kolektorem absorbovány, a tak přeměněny v teplo. Tato energie je částečně odváděna teplonosným médiem, částečně akumulována samotným tělem kolektoru a odtud v podobě tepelných ztrát předána do okolí tak, jak pro plochý kolektor naznačuje obr.35. Tento děj lze popsat jako změnu tepla v čase (levá část rovnice 2.1) nebo ho člen po členu rozepsat tak, jak je tomu v pravé části rovnice.



Obr.35 Energetická bilance kolektoru [24]

$$\frac{dQ}{dt} = \dot{Q}_s - \dot{Q}_{zo} - \dot{Q}_{zt} - \dot{Q}_U, \quad (2.1)$$

kde: $\frac{dQ}{dt}$ je změna tepelného obsahu kolektoru a teplonosné látky za čas [W],

$\dot{Q}_s$ je sluneční ozáření absorpční plochy kolektoru [W],

$\dot{Q}_{zo}$ je ztrátový tepelný tok vlivem optických ztrát [W],

$\dot{Q}_{zt}$ je ztrátový tepelný tok vlivem tepelných ztrát [W],

$\dot{Q}_U$ je odvedený užitečný tepelný tok [W].

Tímto způsobem lze popsat reálné chování kolektoru při dynamických změnách. Ať už se jedná o změnu průtoku teplonosného média, proměnlivou intenzitu ozáření kolektoru nebo jiné vlivy.

V zásadě existují dva přístupy pro analytické stanovení účinnosti kolektoru. Pokud je uvažováno s přenosem tepla neboli s tepelnými toky mezi okolím a povrchem absorbéru kolektoru, jedná se o tzv. vnější energetickou bilanci. Druhou možností je zaměřit se na přenos tepla mezi absorbérem a teplotonosným médiem, který se odehrává uvnitř kolektoru, tedy na vnitřní energetickou bilanci.

2.1.1 Vnější energetická bilance [7], [24]

Jedná se o přenos tepla z okolí do kolektoru, ale i naopak. Matematicky ji lze za předpokladu ustáleného stavu, kdy platí rovnice 2.2, s vyjádřením odvedeného užitečného tepelného toku $\dot{Q}_U$ stanovit dle vztahu 2.3.

$$\frac{dQ}{dt} = 0, \quad (2.2)$$

$$\dot{Q}_U = \underbrace{G \cdot A_C \cdot \tau \cdot \alpha}_{\dot{Q}_S} - \underbrace{U_P \cdot A_C \cdot (T_{ABS} - T_E) + U_Z \cdot A_C \cdot (T_{ABS} - T_E) + U_B \cdot A_B \cdot (T_{ABS} - T_E)}_{\dot{Q}_{ZT}}, \quad (2.3)$$

kde: G je globální sluneční ozáření [$W \cdot m^{-2}$],
 A_C je referenční plocha kolektoru [m^2],
 τ je propustnost slunečního záření případným zasklením [-],
 α je pohltivost slunečního záření absorbérem [-],
 U_P je součinitel prostupu tepla přední stranou kolektoru [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],
 T_{ABS} je střední povrchová teplota absorbéru [K],
 T_E je teplota okolního vzduchu [K],
 U_Z je součinitel prostupu tepla zadní stranou kolektoru [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],
 U_B je součinitel prostupu tepla bočními stěnami kolektoru [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],
 A_B je plocha bočních stěn kolektoru [m^2].

Sluneční ozáření absorpční plochy kolektoru, vyjádřené pomocí hemisférického slunečního ozáření G a referenční plochy kolektoru A_C je po vynásobení ztrátovými koeficienty τ a α převedeno na optické ztráty. Dalšími členy ve vztahu 2.3 jsou určeny tepelné ztráty, přesněji ztráty přední, zadní a bočními stěnami těla kolektoru. Jestliže jsou členy tepelných ztrát upraveny, dospěje se ke zjednodušení podle vztahů 2.4, 2.5 a 2.6.

$$\dot{Q}_{ZT} = U_P \cdot A_C \cdot (T_{ABS} - T_E) + U_Z \cdot A_C \cdot (T_{ABS} - T_E) + U_B \cdot A_B \cdot (T_{ABS} - T_E), \quad (2.4)$$

$$\dot{Q}_{ZT} = (U_P \cdot A_C + U_Z \cdot A_C + U_B \cdot A_B) \cdot (T_{ABS} - T_E), \quad (2.5)$$

$$\dot{Q}_{ZT} = U \cdot A_C \cdot (T_{ABS} - T_E). \quad (2.6)$$

Z rovnice 3.6 je patrné, že je možné vliv prostupu tepla jednotlivými stěnami kolektoru, daný součiniteli U_P , U_Z , U_B a plochami stěn shrnout do jednoho součinitele, který je vyjádřen následujícím vztahem 2.7.

$$U = U_P + U_Z + U_B \cdot \frac{A_B}{A_C}, \quad (2.7)$$

kde: U je celkový součinitel prostupu tepla kolektorem [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$].

Konečný vztah vnější energetické bilance pro odvedený užitečný tepelný tok dle vzorce 2.8 poté vypadá následovně:

$$\dot{Q}_U = G \cdot A_C \cdot \tau \cdot \alpha - U \cdot A_C \cdot (T_{ABS} - T_E). \quad (2.8)$$

Následuje výpočet tepelné účinnosti, pro nějž je užita její základní definice, tedy podíl energie využitelné k energii dodané. V tomto případě se za využitelnou energii považuje odvedený užitečný tepelný tok. Dodanou energii představuje sluneční záření, resp. sluneční ozáření absorpční plochy kolektoru. Výpočet popisuje rovnice 2.9.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_U}{\dot{Q}_S} = \frac{G \cdot A_C \cdot \tau \cdot \alpha - U \cdot A_C \cdot (T_{ABS} - T_E)}{G \cdot A_C} = \tau \cdot \alpha - U \cdot \frac{T_{ABS} - T_E}{G}, \quad (2.9)$$

kde: η je tepelná účinnost kolektoru [-].

Grafickým vyjádřením této charakteristiky je potom závislost takto vypočtené tepelné účinnosti na tzv. redukovaném teplotním spádu mezi povrchem absorbéru a okolím ΔT_R . Ten je určen střední teplotou absorbéru T_{ABS} , teplotou okolí T_A a hemisférickým slunečním ozářením G , které dopadá na absorpční plochu kolektoru, vztahem 2.10. Vzhledem k tomu, že je někdy střední teplota absorbéru T_{ABS} obtížně stanovitelná, lze vztahovat účinnost i na redukovaný teplotní spád mezi střední hodnotou teploty teplotnosné látky T_M a okolím, kdy se pro výpočet užívá aritmetický průměr vstupní a výstupní teploty teplotnosného média, a okolím $\Delta T_R'$ (rovnice 2.11). Toho se používá obzvláště při experimentálním stanovení tepelné účinnosti.

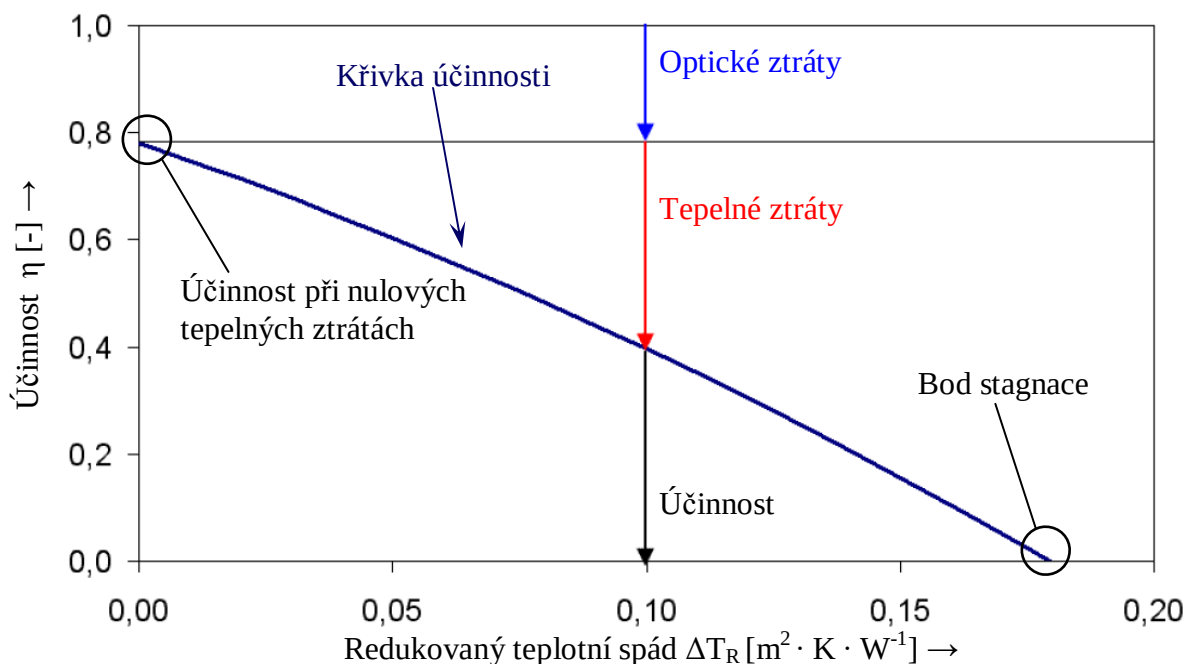
$$\Delta T_R = \frac{T_{ABS} - T_E}{G} \quad [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}], \quad (2.10)$$

$$\Delta T_R' = \frac{T_M - T_E}{G} = \frac{\frac{T_{IN} + T_{OUT}}{2} - T_E}{G} \quad [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}], \quad (2.11)$$

kde: T_{IN} je teplota na vstupu do kolektoru [K],

T_{OUT} je teplota na výstupu z kolektoru [K].

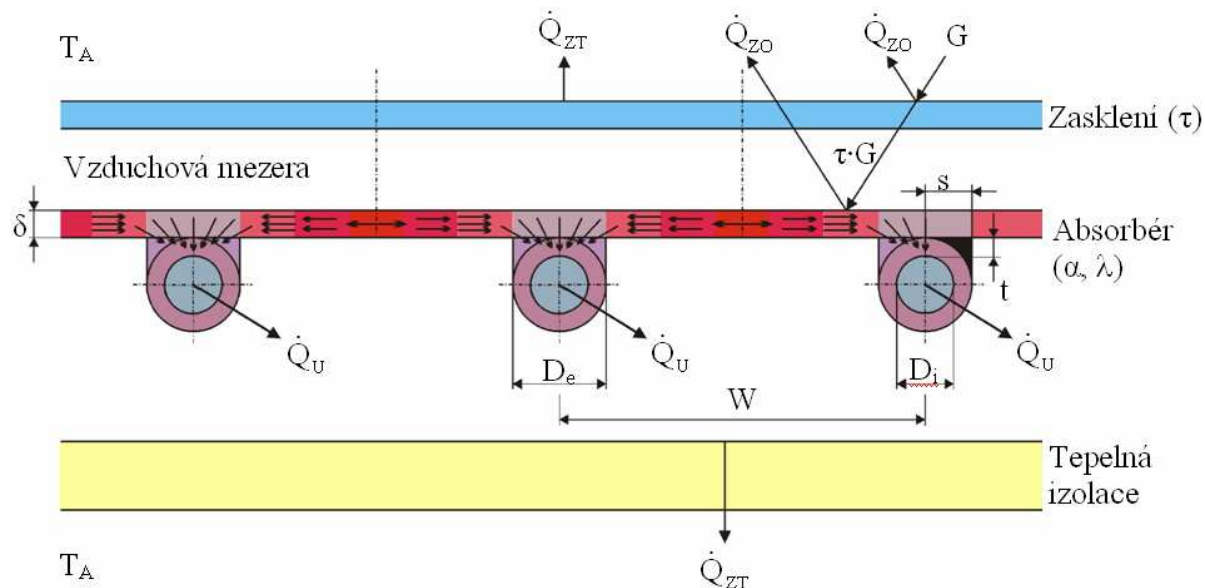
Jak dokládá obr.36, lze poté snadno pomocí účinnostní křivky určit podíl tepelných ztrát, optických ztrát i vlastní účinnost. V grafickém vyjádření účinnosti jsou důležité dva body. Průsečík účinnostní křivky s osou x (ΔT_R), kdy je účinnost nulová, se označuje jako chod naprázdno, neboli bod stagnace. Druhým bodem je průsečík křivky účinnosti s osou y (η), který určuje dosaženou činnost při nulových tepelných ztrátách, a to za podmínky rovnosti teplot okolí a absorbéru.



Obr.36 Obecný tvar účinnostní křivky tepelného solárního kolektoru [24]

2.1.2 Vnitřní energetická bilance [24]

Další možností stanovení účinnosti kolektoru je vyjádření přechodu tepla, k němuž dochází v prostoru za absorbérem, přesněji mezi absorbérem a teplonosnou látkou. Příklad řešené konstrukce plochého kolektoru ukazuje obr.37. Absorpční část kolektoru (absorbér) je tvořena lamelou, k níž přiléhají trubky s teplonosným médiem.



Obr.37 Energetická bilance plochého zaskleného kolektoru [24]

Zde je stanovení účinnosti daleko komplikovanější. Principem určení vnitřní energetické bilance je výpočet teplotních polí na trubce a na lamele, což ve výsledku vede k řešení diferenciálních rovnic druhého řádu. Výsledkem je vztah pro výpočet účinnosti dle rovnice 2.12.

$$\eta = F' \cdot \tau \cdot \alpha - F' \cdot U \cdot \frac{T_M - T_E}{G} = F' \cdot \left(\tau \cdot \alpha - U \cdot \frac{T_M - T_E}{G} \right), \quad (2.12)$$

kde: F' je účinnostní součinitel kolektoru [-],

$F' \cdot \tau \cdot \alpha$ je účinnost při nulových tepelných ztrátách (viz obr.36) [-],

$F' \cdot U$ je účinný součinitel prostupu tepla kolektorem [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$].

Účinnostní součinitel kolektoru, jenž určuje schopnost kolektoru převést teplo z povrchu do teplonosného média, představuje poměr dvou odporů. Jmenovitě odporu proti přenosu tepla z absorbéru do okolí U^{-1} a odporu přestupu tepla z kapaliny do okolí U_0^{-1} , jak je uvedeno v následující rovnici 2.13. Z ní také vyplývá, že je účinnostní součinitel ovlivňován především geometrií absorbéru, stejně tak, jako jeho tepelnými vlastnostmi a přestupem tepla trubkového registru. Pro různá konstrukční řešení se výpočtové vztahy účinnostního součinitele liší. Uvedený výpočet je v souladu pouze s konstrukcí vyobrazenou na obr.36.

$$F' = \frac{U^{-1}}{U_0^{-1}} = \frac{U^{-1}}{W \cdot \left(\frac{1}{U \cdot [D_e + (W - D_e) \cdot F]} + \frac{1}{C_{SPOJ}} + \frac{1}{h_{f,i} \cdot \pi \cdot D_i} \right)}, \quad (2.13)$$

kde: W je rozteč trubek [m],

D_i je vnitřní průměr trubky s teplonosným médiem [m],

D_e je vnější průměr trubky s teplonosným médiem [m],

F je standardní účinnost jednoho žebra [-] daná vztahem 2.14,

C_{SPOJ} je tepelná propustnost spoje [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],

$h_{f,i}$ je součinitel přestupu tepla mezi povrchem trubky a teplonosnou látkou [K].

$$F = \frac{\tanh\left(\sqrt{\frac{U}{\lambda \cdot \delta}} \cdot \frac{W - D_e}{2}\right)}{\sqrt{\frac{U}{\lambda \cdot \delta}} \cdot \frac{W - D_e}{2}}, \quad (2.14)$$

kde: λ je tepelná vodivost absorbéru [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 δ je tloušťka lamely [m].

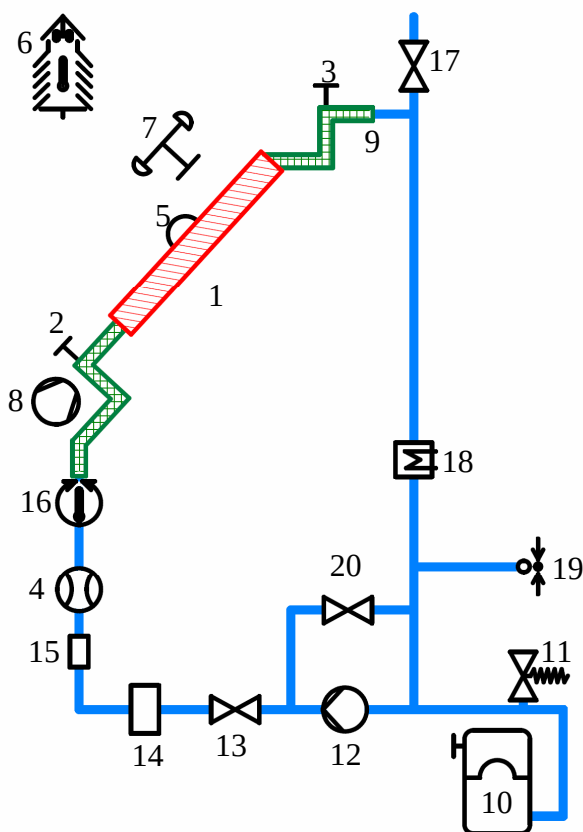
Výpočtové vztahy pro určení tepelné účinnosti jsou mnohdy příliš složité na odvození i výpočet, neboť jak vyplývá z výše uvedeného, zahrnují množství konstant a součinitelů, jejichž stanovení je někdy velmi obtížné. Obzvláště, uvažuje-li se strukturně i materiálově nesourodý povrch. Proto se kromě výpočtových modelů a simulací využívá ke stanovení tepelné účinnosti kolektorů experimentálních zkoušek.

2.2 Experimentální stanovení účinnosti [6], [24], [26]

Pro získání popisu vlastností kolektorů či absorbérů za reálných provozních podmínek je využíváno experimentálních zkušebních metod, tedy měření a vyhodnocování určitých parametrů kolektorů během jejich reálného provozu. Této problematice se věnuje evropská norma ČSN EN 12975-2, schválená roku 2006. Obsahuje základní metodiku zkoušek a výpočetních vztahů, pro zjištění ukazatelů spolehlivosti, účinnosti i odolnosti tepelných solárních kolektorů. Konkrétně se jedná o následující:

- zkouška absorbéru na vnitřní přetlak,
- zkouška odolnosti vůči vysokým teplotám,
- zkouška vystavení vnějším vlivům,
- zkouška odolnosti vůči vnějšímu tepelnému rázu,
- zkouška odolnosti vůči vnitřnímu tepelnému rázu,
- zkouška proti průniku deště,
- zkouška odolnosti mrazu,
- zkouška odolnosti proti mechanickému zatížení,
- zkouška odolnosti proti nárazu,
- zkouška tepelného výkonu.

Právě poslední jmenovaná zkouška, tedy zkouška tepelného výkonu kapalinových solárních kolektorů zahrnuje mimo jiné také postup pro stanovení tepelné účinnosti, která je s tepelným výkonem kolektorů provázána. Norma uvažuje při této zkoušce s testováním kolektorů jak ve venkovním prostředí za jasného dne s přirozeným slunečním zářením, tak také ve vnitřních prostorách s aplikací umělého slunečního záření. Příklad uzavřené měřicí soustavy pro určení ustáleného tepelného výkonu a tím i účinnosti je uveden na obr.38.



Obr.38 Příklad uzavřené měřicí soustavy [6]

Základní údaje při vystavení solárního kolektoru (1) přirozenému nebo umělému slunečnímu záření poskytují čidla, měřící vstupní (2) a výstupní teplotu (3) teplotnosného média, společně se stanovením jeho hmotnostního průtok pomocí průtokoměru (4). K neskreslenému záznamu teplot je dle normy stanovena maximální vzdálenost teplotních čidel od vstupu (výstupu) do kolektoru, a to 200 mm. K měření dopadajícího záření, tzv. globálního a difúzního solárního ozáření v rovině kolektoru, je používáno pyranometrů (5). Dále je potřeba stanovit vnější podmínky měření teploty okolí (6) a rychlosti proudění vzduchu v blízkém okolí kolektoru (7), který je možno vyvíjet pomocí generátoru větru (8). Přirozený či simulovaný proud vzduchu by měl obtékat absorpční plochu kolektoru pokud možno rovnoběžně a měla být dodržena střední hodnota rychlosti proudění $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Teplotnosná kapalina je do kolektoru přiváděna i z něj odváděna izolovaným potrubím (9) z expanzní nádoby (10) přes pojistný ventil (11) za pomoci oběhového čerpadla (12) přes regulační ventil průtoku (13), filtr (14), průhledítko k zachycení případných bublin vzduchu (15) a přes regulátor teploty (16). Výstupní větev rozvodu teplotnosné kapaliny dále obsahuje odvzdušňovací ventil (17), tepelný zdroj nebo chladič pro primární regulaci teploty (18) a tlakoměr (19), případně ještě ventil v obtokové části čerpadla (20).

Měření by mělo probíhat při ustáleném stavu. Aby tomu tak skutečně bylo, stanovuje norma pro zkušební podmínky a měřené veličiny dovolené rozmezí hodnot a jejich odchylky, jak ukazuje tab.7. Dále je nutné počítat s tím, že není možné provádět měření ihned po spuštění zkušební soustavy, ale před vlastní zkouškou je potřeba dodržet tzv. přípravný čas, jenž je zjednodušeně alespoň 15 minut. Tento časový úsek postačí kolektoru, aby se v něm ustálily teploty a bylo tedy možné objektivně měřit za ustálených podmínek. Poté již lze provést měření. Jeho délku norma stanovuje opět zjednodušeně na minimálně 10 minut.

Tab.7 Zkušební podmínky měřených veličin [6]

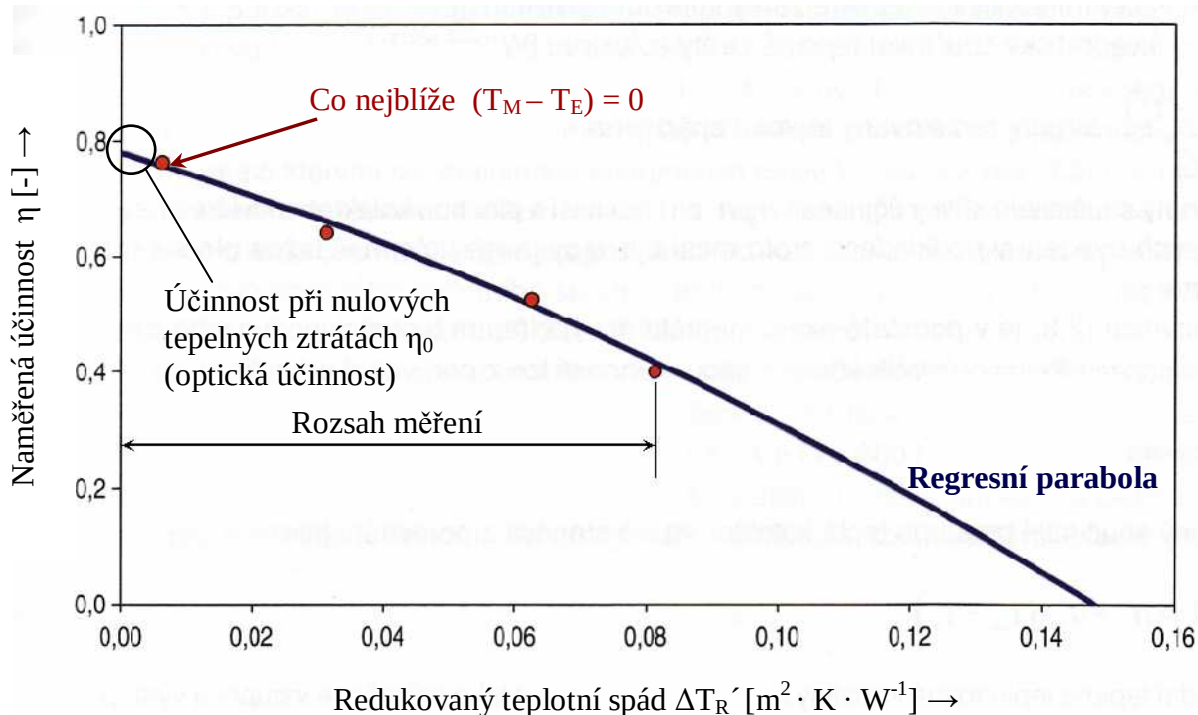
Parametr	Dovolené rozmezí hodnot	Dovolená odchylka
Globální solární ozáření	$> 700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$\pm 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
Teplota okolí	-	$\pm 1 \text{ K}$
Hmotnostní průtok teplotnosného média	$\sim 0,02 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} / \text{m}^2$ apertury	$\pm 1 \%$
Teplota teplotnosného média na vstupu do kolektoru	$< 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1 \text{ K}$

Po stanovení výše specifikovaných veličin přichází na řadu vyhodnocení zkoušky. Pro stanovení okamžité účinnosti kolektoru při ustálených provozních podmínkách norma přímo určuje výpočetní vztahy. Vychází při tom z již zmíněné definice účinnosti, jakožto poměru mezi výkonem (tepelným ziskem), přesněji skutečným užitečným získaným výkonem a na kolektor dopadající solární energie, jak stanovuje vztah 2.14.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{Q}_s} = \frac{\dot{m} \cdot c_f \cdot (T_{\text{OUT}} - T_{\text{IN}})}{G \cdot A_c}, \quad (2.14)$$

kde: $\dot{m}$ je změřený hmotnostní tok teplotnosného média [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$],
 c_f je měrná tepelná kapacita teplotnosného média [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Takto stanovené hodnoty účinnosti jsou poté graficky interpretovány jako funkce redukováného teplotního spádu mezi střední hodnotou teplotnosného média a okolí nebo též redukováného rozdílu teplot, jak ukazuje níže uvedený obr.39, přičemž první naměřený bod by měl být zjištěn pokud možno za podmínky nulového rozdílu ($T_M - T_E$). Minimálně je třeba stanovit dva krajní body, tedy průsečíky s osami x a y, mezi které je potom orientačně interpolací dokreslena regresní parabola.



Obr.39 Proložení naměřených hodnot regresní křivkou-parabolou [24]

Výstupem grafického znázornění je rovnice účinnostní křivky ve tvaru dle rovnice 2.15, jejíž zjednodušený tvar uvádí následující rovnice 2.16. Té se dosáhne proložení naměřených hodnot regresní křivkou druhého řádu, a to přes několik naměřených hodnot v celém rozsahu měření, jak ukazuje obr.39 nebo zjednodušeně pomocí pouze dvou krajních bodů, jak je výše vysvětleno.

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{T_M - T_E}{G} - a_2 \cdot G \cdot \left(\frac{T_M - T_E}{G} \right)^2, \quad (2.15)$$

kde: η_0 je účinnost kolektoru při nulovém redukovaném teplotním rozdílu [-],

a_1 je lineární součinitel tepelných ztrát kolektoru [$W \cdot m^2 \cdot K$],

a_2 je kvadratický součinitel tepelných ztrát kolektoru [$W \cdot m^2 \cdot K^2$].

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{T_M - T_E}{G} - a_2 \cdot \frac{(T_M - T_E)^2}{G}. \quad (2.16)$$

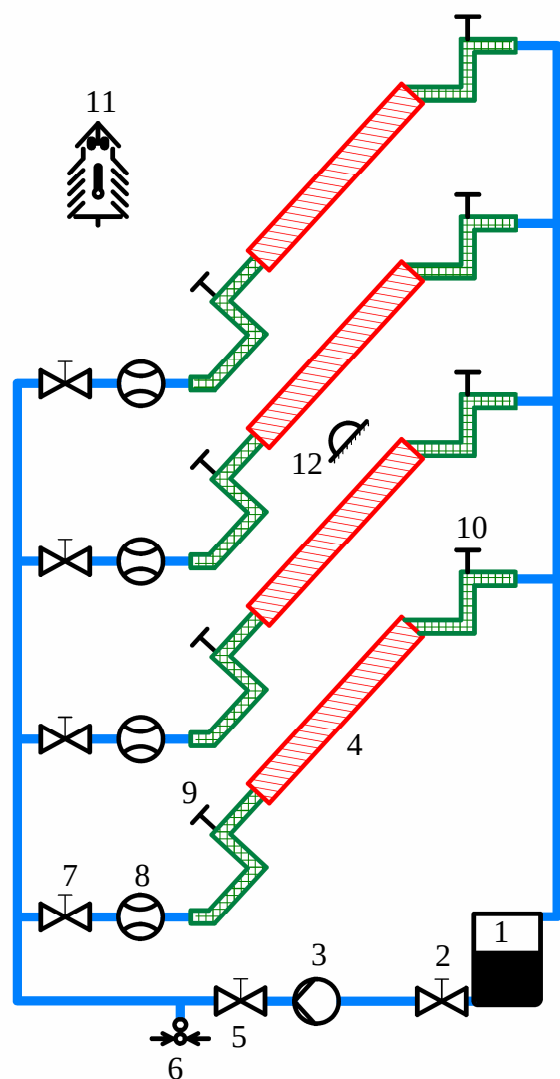
Rovnice 2.16 představuje experimentálně stanovený tvar vztahu 2.12. Z tohoto pohledu lze obdobně jako u analytického řešení i zde určit účinnost při nulových tepelných ztrátách a účinný součinitel prostupu tepla kolektorem. Účinnost při nulových tepelných ztrátách se stanoví stejně jako na obr.39, tedy jako průsečík s osou y. Rovná se přímo tzv. optické účinnosti η_0 . Účinný součinitel prostupu tepla kolektorem je potom stanoven porovnáním rovnic 2.16 a 2.12 a vyjádřením $F' \cdot U$ dle rovnice 2.17.

$$F' \cdot U = a_1 + a_2 \cdot (T_M - T_E). \quad (2.17)$$

3 NÁVRH MĚŘÍCIHO SYSTÉMU [6], [7], [24]

Jak již bylo výše naznačeno, účinnost nového typu absorbéru, vyvinutého Odbory tváření a svařování ÚST FSI VUT v Brně a Ústavu přístrojové techniky AV i vhodnost aplikovaných povrchových vrstev bude ověřována experimentálně pomocí měřicího systému. To bude provedeno s využitím normativu ČSN EN 12975-2.

Upravením uvedeného základního měřicího okruhu z obr.38 pro konkrétní účely srovnávání účinnostních parametrů čtyř absorbérů se dospělo ke zjednodušenému schématu, které uvádí obr.40.



Obr.40 Použitý zkušební okruh [6]

Teplonosná kapalina, kterou je obyčejná voda, je vedena ze zásobníku (1), plastové nádoby opatřené výpustným ventilem (2), do čerpadla (3). Ventil slouží spíše než k regulaci toku kapaliny během zkoušky, k uzavěři v případě odstávky. Čerpadlo vodu rozvádí do celého okruhu, tj. do maximálně čtyř zkoušených absorbérů (4). Za čerpadlo je umístěn regulační ventil (5) k primárnímu ovládání průtoku teplonosné kapaliny a dále manometr (6) pro sledování tlaku tohoto média. Po cestě teplonosné kapaliny do absorbérů, které jsou umístěny na výkyvném zkušebním rámu, jsou potom v jednotlivých větvích zkušebního okruhu umístěny nejprve ventily pro přímou regulaci průtoku vody (7) v každém absorbéru. Tato regulace je velmi důležitá, neboť mají-li být absorbéry objektivně porovnány, musí mít během zkoušky stejné provozní podmínky, tedy i stejný průtok teplonosné látky. Toho lze dosáhnout právě použitím ventilů v součinnosti s průtokoměry (8), umístěnými za ventily, zaznamenávajícími hodnoty hmotnostního průtoku teplonosného média přes absorbéry, potřebné nejen pro kontrolu shodnosti průtoků absorbérů, ale také pro výpočet tepelné účinnosti. Posledním důležitým prvkem vstupní větve zkušebního okruhu jsou teplotní čidla (9), stanovující teplotu média, vstupujícího do absorbérů. Po ohřevu kapaliny uvnitř každého absorbéru je z něj tato výstupním otvorem odváděna.

V těsné blízkosti výstupu z absorbérů jsou nainstalována teplotní čidla (10), měřící tentokrát výstupní teplotu teplonosného média. Poté již výstupní větev zkušebního okruhu odvádí teplonosnou kapalinu zpět do nádrže a celý cyklus se opakuje. Aby byly naměřené hodnoty kompletní a použitelné pro výpočet tepelné účinnosti je nutné také zaznamenávat teplotu okolí a solární ozáření v rovině zkoušených absorbérů. K tomu slouží zakrytované tepelné čidlo (11), umístěné v blízkosti výkyvného rámu s absorbéry a pyranometr (12), jehož měřicí část je, jak bylo zmíněno, nutné umístit v rovině testovaných absorbérů.

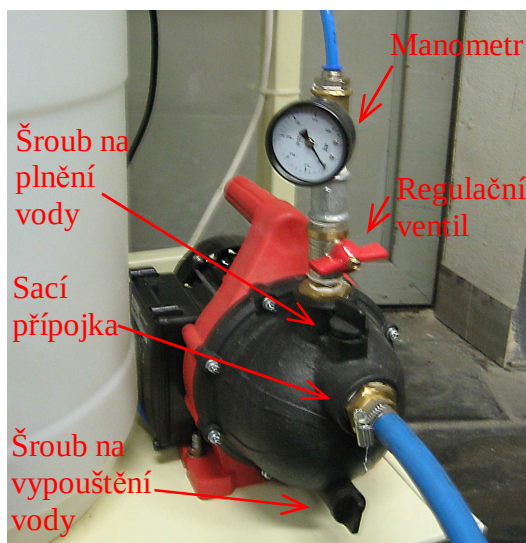
V dalším textu budou jednotlivé komponenty zkušebního zařízení podrobněji rozebrány, včetně zvažovaných variant řešení a popisu jejich funkcí.

3.1 Oběhové čerpadlo [9]

K tomu, aby byl zabezpečen oběh teplotnosné kapaliny uvnitř zkušebního okruhu, je použito oběhové čerpadlo MATRIX GPJ 600 - 2800. Základní technická data čerpadla, které je vyobrazeno na obr.41, jsou uvedena v tab.8.

Vzhledem k tomu, že má dle normy ČSN EN 12975-2 zkouška tepelného výkonu probíhat při hmotnostním průtoku pouze cca $0,01 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ s možností kolísání dle výše uvedené tabulky, zdají se být parametry čerpadla předimenzované. Toto čerpadlo bylo pořízeno s vyšším výkonem proto, neboť bylo uvažováno s pozdější modifikací měřicího systému pro zkoušení kolektorů větších rozměrů a složitější protékanou meandrovitou strukturou.

Z důvodu primární regulace průtoku i bezpečnosti ohledně možné destrukce zkoušených vzorků absorbérů jsou na výtoku z čerpadla umístěny regulační ventil a tlakoměr. Zjistilo se, že pokud přesáhne hodnota tlaku teplotnosné kapaliny v okruhu cca 1,5 baru, což odpovídá 0,15 MPa, nastane ve vzorcích absorbérů, které dosud nejsou zpevněny meandrovitou strukturou, k nebezpečnému vyduťtí prolisované, tedy ztenčené přední absorpční strany.



Obr.41. Sestava čerpadla

Tab.8 Parametry čerpadla MATRIX GPJ 600-2800 [9]

Síťová přípojka	230 V AC/50 Hz
Příkon	600 W
Dopravované množství	max. $3000 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$
Dopravní výška	max. 34 m
Dopravní tlak	max. 0,34 MPa
Sací výška	max. 8 m

3.2 Rozvod teplotnosné kapaliny [30], [47]

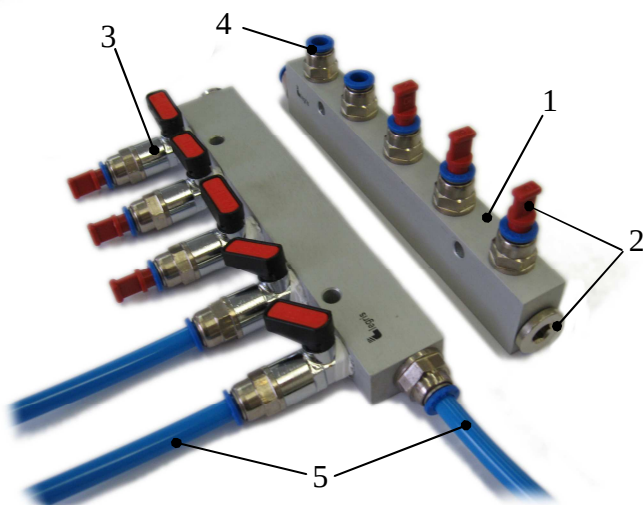
Veškerý rozvod teplotnosného média zajišťují hadice na bázi polyuretanu typu PUR C98A. Parametry použitých typů hadic jsou popsány v tab.9. Jak z ní vyplývá, je použito dvou vnějších průměrů. Průměru 8 mm pro převážnou délku rozvodného okruhu a menšího průměru 6 mm pro připojení vedení kapaliny k jednotlivým absorbérům. Rozdílný průřez hadic byl zvolen především proto, aby se vyvíjel menší tlak na čidla teploty, která jsou po cestě teplotnosného média rozmístěna. Podrobnosti o této problematice podává další kapitola.

Tab.9 Zvolené hadice typu PUR C98A [30]

Typ (série)	Vnější Ø	Vnitřní Ø	Dovolený tlak	Poloměr ohybu
	[mm]	[mm]	[bar]	[mm]
16-A-18	8	6	max. 8	min. 40
10-L-16	6	4	max. 11	min. 21

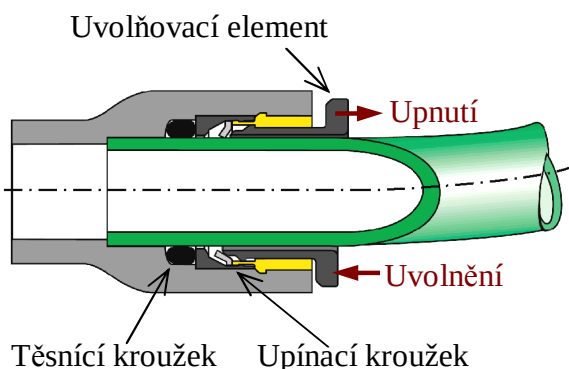
Výhodou zvolených hadic (jejich materiálu) je široký teplotní rozsah použitelnosti, který činí (-20 až 70) °C a velká elasticita, přesněji malý minimální poloměr ohybu, což umožňuje jejich dobrou tvarovatelnost.

Protože jsou dle schématu zkušebního systému z obr.40 dílčí větve okruhu uspořádány paralelně, je do nich teplotnosná kapalina rozváděna pomocí duralových rozváděčů, výrobce Legris, které jsou uvedeny na následujícím obr.42. Ten zobrazuje také ostatní použité elementy, určené pro regulaci toku kapaliny, napojení na rozváděče, popřípadě zaslepení některého z jeho výtoků, které jsou na těla rozváděčů našroubována přes metrické závity. Použité rozváděče řady 3311 10 13 05 mají standardně pět výtokových otvorů. Navržený systém pracuje pouze se čtyřmi paralelními větvemi, což znamená, že jeden z výtoků, resp. vtoků bude trvale zaslepen (viz obr.42).



1 – tělo rozváděče, 2 – záslepky, 3 – pákový ventil, 4 – přípojka hadice, 5 – hadice přívodů a odvodů kapaliny.

Obr.42 Použitý vstupní a výstupní rozváděč



Obr.43 Princip rychloupínáče hadic [47]

Princip upínání hadic rychloupínacím systémem, použitým na každém uvedeném elementu, popisuje obr.43. Po osovém stlačení čel dojde ke zvětšení (uvolnění) vstupního průřezu příslušné přípojky a lze tedy snadno připojit či odpojit nejen hadice, ale i například záslepky nebo různá čidla, mají-li odpovídající průměr. Při uvolnění elementu dojde k sevření vložených částí a k zabezpečení proti možnému vytažení díky zpětným výstupkům. Fakt, že se jedná o pouhé manuální propojení bez potřeby jakýchkoliv nástrojů je velmi výhodná.

3.3 Měření teploty [15], [21], [32]

Při volbě měřiče teploty, konstrukci a umístění teplotních čidel v měřícím okruhu, je nutné dodržet následující požadavky. Aby bylo měření dostatečně interpretovatelné, musí být rozlišení měřené teploty dle normy ČSN EN 12975-2 v rozmezí alespoň $\pm 0,02$ K (°C), a to s přesností menší jak 0,05 K. Dále musí být čidla umístěna tak, aby bylo zabezpečeno plynulé protékání měřené kapaliny v okolí snímače. V případě snímání teploty okolí je třeba umístit zakrytovaný dobře větraný teplotní snímač nejméně 1m nad zemí, aby nebyl ovlivňován zemským teplem, což platí zvláště při venkovních zkouškách.

Teplota je veličina, snímaná především tak, že čidlo (snímač) převede měřenou teplotu na jinou veličinu, která se dále vyhodnocuje podle známé závislosti teploty na zjištěné veličině. Tento způsob se nazývá nepřímé měření veličin a je u experimentálních metod velmi rozšířen. Zvláště pak měření skupiny tzv. neelektrických veličin, do níž patří bezesporu i teplota, elektrickými veličinami, jako je např. elektrický odpor, napětí nebo proud.

Teplotní snímače lze ale obecně dělit podle nejrůznějších hledisek. Jedno z nejzákladnějších rozdělení měření teploty uvádí např. literatura [32]. Jedná se o rozdělení dle styku s měřeným prostředím.

- Senzory pro dotykové měření:

a) elektrické – změna teploty se projeví změnou elektrických veličin,

- odporové kovové,
- odporové polovodičové,
- polovodičové s PN přechodem,
- termoelektrické (termočlánky),
- krystalové,

b) dilatační – změna teploty se projeví změnou objemu,

- kapalinové,
- plynové,
- parní,
- bimetalové,

c) speciální,

- magnetické,
- tekuté krystaly, atd.

- Senzory pro bezdotykové měření teploty:

a) tepelné,

b) kvantové,

b) akustické (ultrazvukové).

Vzhledem k výše uvedeným požadavkům byl pro měření teplot z možných variant zvolen elektronický snímač LM35DZ od společnosti National Semiconductor, jenž spadá do kategorie dotykových odporových polovodičových senzorů.

Jak je vidět na obr.44, jedná se o tzv. pasivní snímač, neboť ke své činnosti potřebuje elektrické napájení (mezi vývody U_{NAP} a GND). Tělo snímače je tvořeno integrovaným obvodem, jehož blokové schéma a další podrobnosti uvádí příloha 4. Ten je zalit do standardizovaného plastového pouzdra typu TO-92. Po připojení stejnosměrného napájecího napětí, které je společně s dalšími základními parametry uvedeno v tab.10, lze na výstupních svorkách (mezi vývody U_{OUT} a GND) naměřit napěťovou odezvu měřené teploty. Ke stanovení teploty se používá v celém měřicím rozsahu snímače přepočít 10mV/°C.



- 1 – napájení (+ U_{NAP}),
- 2 – výstup (+ U_{OUT}),
- 3 – zemnění (-GND).

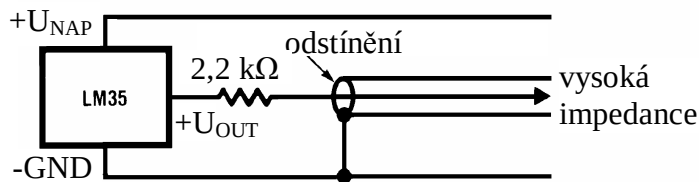
Obr.44 Čidlo LM35DZ

Tab.10 Parametry teplotního čidla LM35DZ [21]

Měřicí rozsah	(-66 až 150) °C
Přesnost měření	0,5 °C při 20 °C
Napájecí napětí	(4 až 30) V
Nelinearita	$\pm 1/4$ °C
Proudový odběr	< 60 μ A
Vlastní vývin tepla	0,08 °C při bezvětrí

To poukazuje na jednu z předností tohoto snímače, jímž je na rozdíl od např. termoelektrických snímačů lineární teplotně napěťová závislost. K dalším pozitivům patří i malé rozměry, možnost digitálního zobrazení měřené teploty a příznivá cena.

U základního zapojení stačí pouze připojit na napájecí svorky napájecí napětí a na výstupní svorky vedení k měřicímu zařízení. V případě dlouhého vedení naměřeného signálu k zobrazovacímu nebo vyhodnocovacímu zařízení dochází k jeho zatížení vyšší impedancí vedení. To je právě případ konstruovaného měřicího systému, kde je nutné připojit k vyhodnocovacímu centru až 9 čidel rozmístěných od něj ve velké vzdálenosti cca (1 až 2) m. To vede k výraznému zkreslení měření v podobě tzv. napětového šumu. Aby k tomu nedocházelo, je třeba na výstup (U_{OUT}) vřadit rezistor o odporu $2,2\text{ k}\Omega$ způsobem dle obr.45, na kterém je také patrné použití stíněného vedení.



Obr.45 Odstranění impedanční zátěže [21]

Takto upravený obvod tepelného senzoru je připojen k vyhodnocovacímu zařízení, jež je podrobněji popsáno níže, za pomoci DIN konektorů, konkrétněji DIN 5 P VK dle obr.46. Zde je vlevo také uveden fyzicky zapájený tepelný snímač.



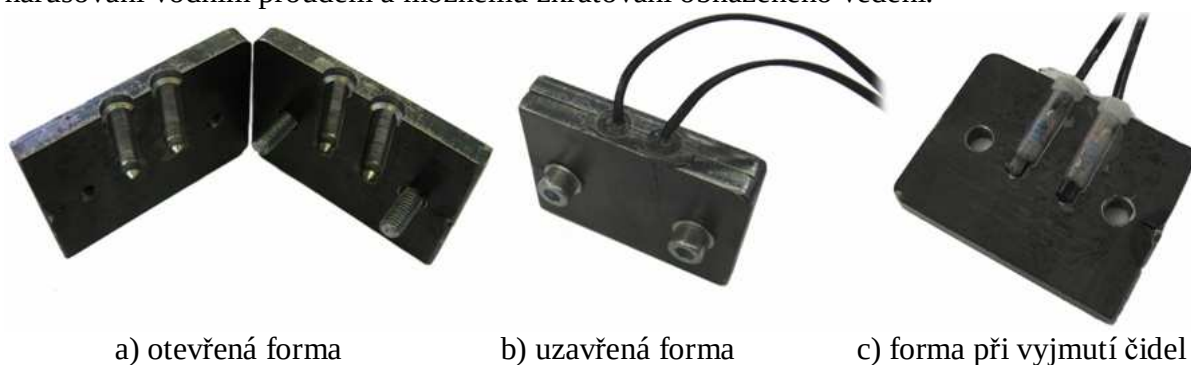
Obr.46 Zapojení teplotního čidla LM35 a DIN konektoru

Tab.11 Parametry pryskyřice EPOXY 1200 [15]

Mísící poměr	6,5 hm. dílů tvrdidla/100 hm. dílů EPOXY 1200
Doba vytvrzení	max. 48 h
Vlastnosti po vytvrzení	
Pevnost ve smyku	min. 20 MPa
Pevnost v tlaku	min. 21,5 MPa
Lineární smrštění	max. 0,5% po 120 h/23 °C

Vhodné umístění teplotního snímače do měřicího okruhu bez rizika poškození nezaizolovaných vodivých spojů si žádá jeho dodatečné zapouzďření. Nejvhodnější se zdá být zalití takto předpřipravených snímačů do směsi epoxidové dvousložkové pryskyřice EPOXY 1200 a tvrdidla P 11. Vlastností této hmoty (tvrdost a dobrá přilnavost, viz tab.11) jsou pro pracovní podmínky teplotních čidel,

kdy budou obzvláště při měření vstupní a výstupní teploty absorbérů vystavovány vodnímu proudu za zvýšeného tlaku, velmi vhodné. Pokud by se teplotní snímače zapouzďřily pomocí pružnějších hmot na bázi silikonu, jako např. při použití silikonového kaučuku SILGARD 184, docházelo by v důsledku elasticity vytvrzené hmoty, jak bylo zjištěno, k jeho narušování vodním proudem a možnému zkratování obnaženého vedení.



a) otevřená forma

b) uzavřená forma

c) forma při vyjmutí čidel

Obr.47 Postup zapouzďření teplotních čidel

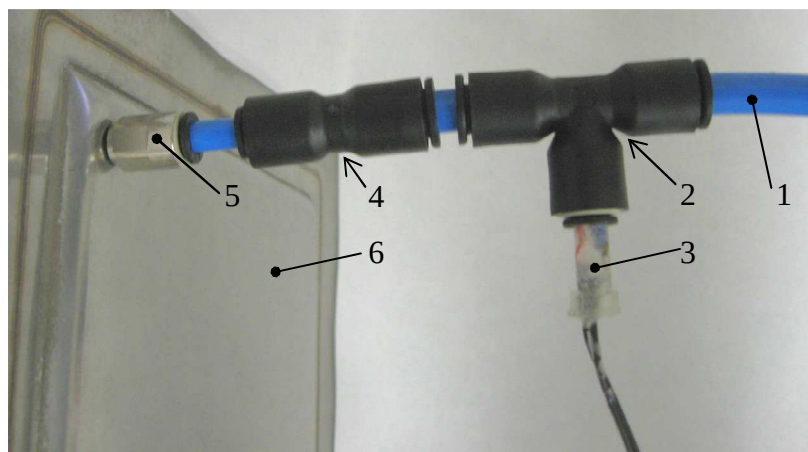
Za účelem zhotovení pouzdra z již zmíněné pryskyřice byla vyrobena dle obr.47 dvoudílná snadno rozebíratelná ocelová forma, do níž se jednotlivá čidla vloží a zalijí směsí pryskyřice EPOXY 1200 a tvrdidla P11 s mísícím poměrem dle výše uvedené tabulky. Výsledné teplotní čidlo, po zalití a vytvrzení pryskyřice, je vyobrazeno na obr.48. Pro správnou funkci a nezkreslené měření teploty musí být měřící část snímače mimo zalitou oblast. V měřícím systému je popsané čidlo použito u dvou aplikací. Jednak jako snímač, zachycující vstupní a výstupní teplotu teplotnosného média pro každý kolektor, a dále k měření teploty okolního vzduchu. V obou případech se liší způsob finálního zabudování do měřícího systému.



Obr.48 Zapouzdržené čidlo

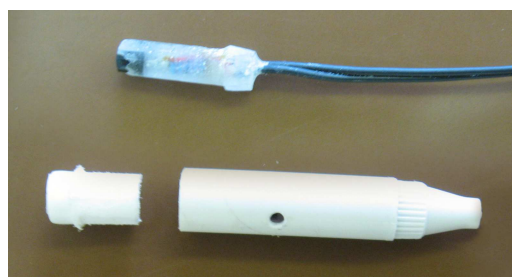
V případě měření vstupní a výstupní teploty absorbérů se k dodržení všech dříve uvedených specifikací přidává také požadavek dokonalého utěsnění okolí čidla. Vzhledem k možným problémům s tlakovými nárazy na snímací část čidla, které mohou zkreslovat měření, bylo namísto průměru 6 mm, jež odpovídá průměru hadice na vstupu (výstupu) do absorbérů i průměru zapouzdrženého čidla, použito T odbočky o dvojnásobném průměru, tedy průměru 8 mm v přímé větvi a 6 mm v odbočce pro čidlo.

Výsledné řešení uvádí obr.49, který také odkazuje na výše uvedené použití rychloupínacích prvků. Jedná se o zabudování zapouzdrženého teplotního čidla do plastové tvarovky tvaru T v úseku pro měření výstupní teploty teplotnosné kapaliny. Na obrázku je možné vidět hadici (1) protékající teplotnosným médiem, tvarovku (2) se zabudovaným teplotním čidlem (3), dále redukci průřezu hadice (4) i přípojku (5) do absorbéru (6). Snímání teploty na straně vstupu do absorbéru je provedeno stejným způsobem.



Obr.49 Úsek měření výstupní teploty teplotnosného média

K měření teploty okolí postačuje umístění teplotního čidla do dobře větraného pouzdra světlé barvy tak, jak je naznačeno na obr.50. Snímač je umístěn ve zkušebním systému těsně pod zkoušenými absorbéry, a to ve dvoudílném plastovém pouzdře. To je opatřeno dvěma protilehlými větracími otvory, které zajišťují neustálé obtékání teplotního čidla okolním vzduchem. Takto zapouzdržený teplotní snímač je stejně jako v předešlém případě zalit pryskyřicí. Nyní již ne z důvodu poškození kapalinou, ale pro zakonzervování připájených spojů a snazší umístění do vnějšího pouzdra (válec na válec).



a) čidlo a obal před složením



b) čidlo po zapouzdržení

Obr.50 Snímač teploty okolí absorbérů

3.4 Měření průtoku [1], [32], [34]

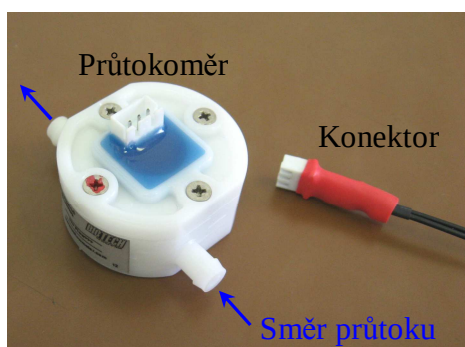
Také pro stanovení průtoku lze použít vícero možných metod. Většinou se jedná o stanovení objemového nebo hmotnostního průtoku na základě známého protékaného průřezu a střední rychlosti proudění kapaliny v něm. Typy senzorů pro měření, probíhající v uzavřených kanálech (potrubích) s konstantním průřezem, lze rozdělit např. dle fyzikálního principu snímačů.

- Objemové průtokoměry:

- a) plovákové – využití plováku jako indikátoru silové rovnováhy,
- b) dávkovací – rozdělení proudění kapaliny na stejné díly, přesunutě za čas,
 - s rotujícím pístem,
 - s ozubenými koly,
 - bubnové,
- c) rychlostní – stanovení průtoku na základě měření střední rychlosti proudění,
 - turbínkové, lopatkové,
 - vírové,
 - indukční,
 - ultrazvukové,
 - značkovací,
 - se škrtkovými orgány.

- Hmotnostní průtokoměry:

- a) tepelné – určení průtoku na základě přechodu tepla mezi kapalinou a okolím,
- b) Coriolisovy – stanovení Coriolisovy síly, zrychlení.



Obr.51 Použitý průtokoměr

Pro výpočet tepelné účinnosti je třeba, jak již bylo zmíněno, znát hodnotu hmotnostního průtoku $\dot{m}$. Za tímto účelem je použit průtokoměr výrobce Biotech, FCH-m-POM-LC, 150392, uvedený na obr.51. Pokud by měl být zařazen do uvedeného rozdělení, potom se jedná o objemový rychlostní turbínkový průtokoměr, který udává objemový průtok v závislosti na výstupní frekvenci senzorem generovaných obdélníkových pulzů. Fakt, že se jedná o objemový průtokoměr nevádí, neboť se objemový průtok snadno přepočte na hmotnostní, a to podle vztahu 3.1.

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}, \quad (3.1)$$

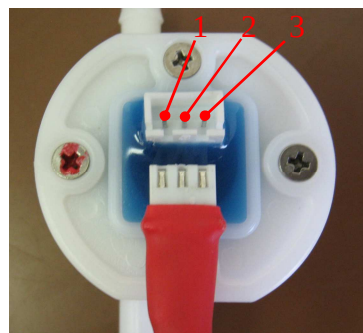
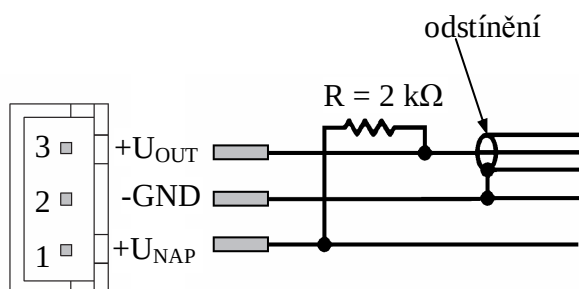
kde: ρ je hustota proudícího média [$\text{kg} \cdot \text{m}^3$],
 $\dot{V}$ je objemový průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

Princip měření průtoku kapaliny je následující: kapalina proudí přes tělo snímače a uvádí do pohybu lopatky v něm umístěné turbíny, při čemž je senzorem snímáno otáčení jednotlivých lopatek (jejich úhlová rychlost). V tomto případě je úhlová rychlost snímána Hallovou sondou. Průtok média se potom určí z lineární závislosti rychlosti průtoku na úhlové rychlosti turbíny, přesněji její frekvence otáčení. Při zapojování do měřicího okruhu je třeba dodržet směr protékání kapaliny. Pokud by médium protékalo snímačem v opačném směru, než pro jaký je uzpůsoben, stanovoval by se průtok přepočtem záporných hodnot. Není jistota, že by v tomto případě takto určený záporný průtok alespoň číselně, tedy bráno v absolutní hodnotě, odpovídal skutečnému průtoku. Základní specifikace tohoto snímače jsou shrnuty níže v tab.12.

Tab.12 Parametry průtokoměru FCH-m-POM-LC [1]

Měřicí rozsah	(0,05 až 3) l · min ⁻¹ (H ₂ O, 22 °C)
Počet pulzů na litr	2 500 (H ₂ O, 20 °C)
Přesnost	± 2 %
Rozsah teplot	(- 20 až + 80) °C
Napájecí napětí	(5 až 24) V DC
Proudový odběr	max. 25 mA

Výrobce uvádí, že je tento snímač vhodný k měření průtoku malých množství kapaliny (vody, benzínu, olejů apod.). Výhodou je přesný obdélníkový signál, který generuje integrovaná Hallova sonda a tím i velká přesnost měření, což dokládá uvedená tabulka.



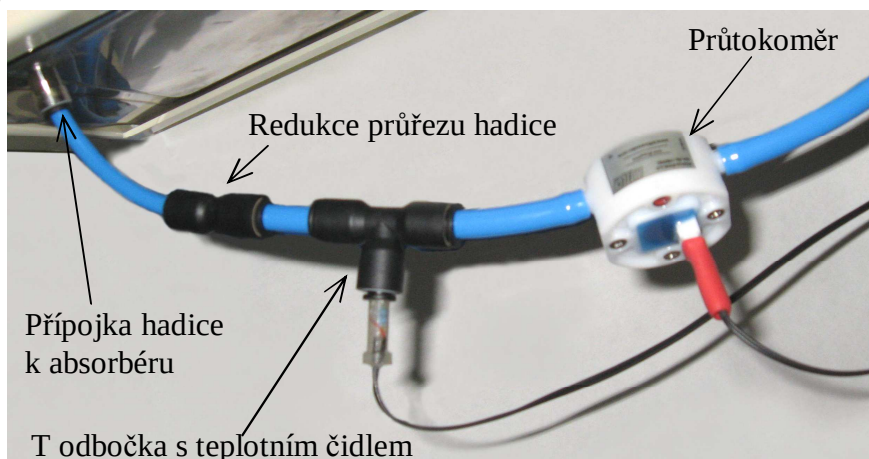
- 1 – napájení (+U_{NAP}),
- 2 – zemnění (-GND),
- 3 – výstup (+U_{OUT}).

Obr.52 Zapojení svorek průtokoměru FCH-m-POM-LC [1]

Jak je naznačeno na obr.52, zapojení je obdobné, jako u teplotních čidel. Opět se jedná o pasivní snímač. Napájecí napětí dle tab.12 je přivedeno konektorem mezi svorky U_{NAP} a GND. Výstupní generovaný obdélníkový pulz je měřen mezi svorkami U_{OUT} a GND.

Pro správnou funkci snímače je nutné přemostit napájení a výstupní signál (mezi U_{NAP} a U_{OUT}) rezistorem o odporu v intervalu (1,6 až 2,2) kΩ. Z tohoto rozmezí byl použit rezistor 2 kΩ, který byl dle uvedeného schématu zapojení z obr.52 vřazen do obvodu těsně za konektorem, tedy v místě červené izolace. Navíc ze stejného důvodu jako u teplotních snímačů i zde je pro přenos signálu potřeba stíněného vedení, jinak je signál rušen a degradován. Z hlediska připojení k vyhodnocovacímu zařízení pomocí DIN konektorů, je užít stejný systém, jako u teplotních čidel (viz obr.46). Výhodou, oproti teplotnímu čidlu, je možnost úplného odpojení kabelu.

Zapojení do paralelních okruhů zkušebního systému, jež naznačuje obr.53, je realizováno pouhým naražením hadice příslušného průměru (8 mm) na oba konce průtokoměru. Na rozdíl od snímače teploty, nelze již zabudovaný průtokoměr z okruhu vyjmout. Brání tomu specificky tvarované příruby na straně vstoku (výstoku) do snímače, které brání zpětnému pohybu hadice. To proto, aby byla zajištěna těsnost i při vyšších provozních tlacích. Odpojit ji tak lze pouze destruktivní cestou, tedy například naříznutím připojených konců hadice.



Obr.53 Úsek měření vstupní teploty a průtoku

3.5 Měření slunečního ozáření [4], [11], [24], [31]

Další nezbytnou veličinou, kterou je pro stanovení tepelné účinnosti nutné určit, je tzv. globální nebo též celkové sluneční ozáření aktivní plochy absorberu, nebo-li výkonová hustota zářivého toku slunečního záření. V zásadě určuje, kolik slunečního tepla dopadá na zkoumaný povrch. Globální sluneční ozáření je určeno především oblačností a sklonem snímané plochy dopadu slunečního záření, už menší vliv má potom změna ročního období. Rovnice 3.2 určuje celkové sluneční ozáření jako součet přímého a difúzního ozáření, jeho dvou složek, které společně určují intenzitu s jakou proniká sluneční záření atmosférou na zemský povrch.

$$G = G_B + G_D, \quad (3.2)$$

kde: G_B je přímé ozáření [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],

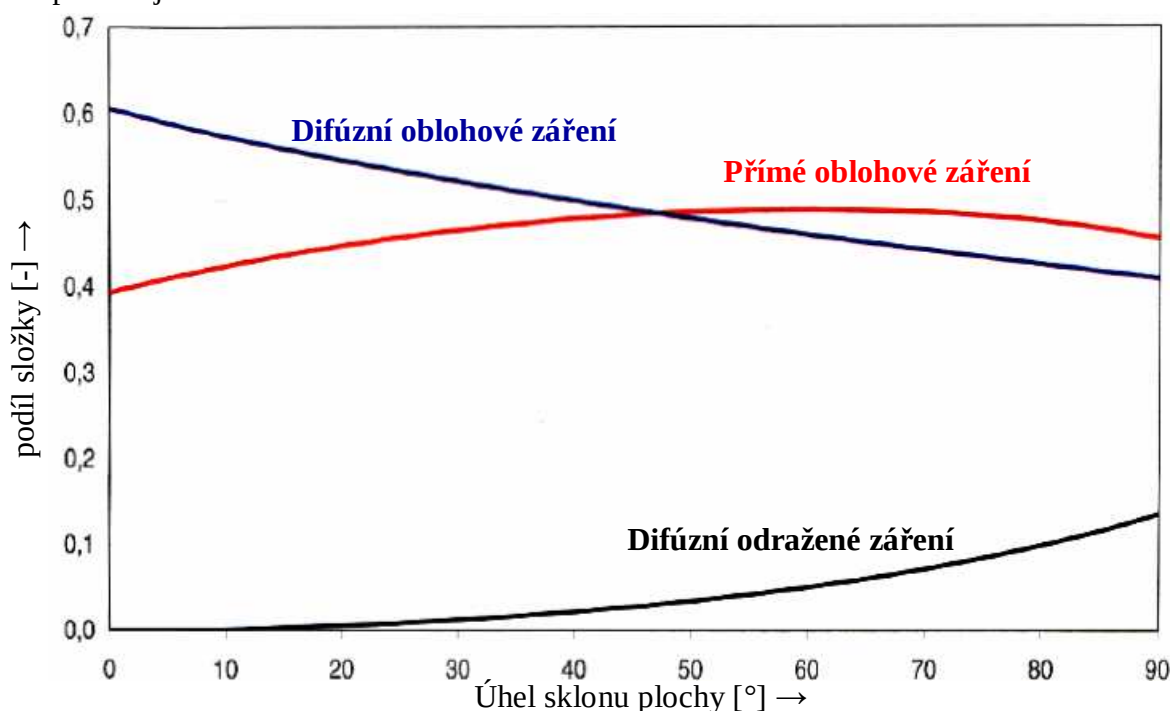
G_D je difúzní ozáření [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$].

Přímým ozářením je myšleno nerozptýlené dopadající sluneční záření, které není nijak zkresleno průchodem zemskou atmosférou. Naopak difúzní sluneční ozáření vzniká rozptylem slunečních paprsků díky částicím prachu a vody, které jim stojí při dopadu na povrch Země v cestě. Difúzní ozáření zahrnuje rovněž odražené záření. Významný vliv na podíl difúzního ozáření má oblačnost, jak dokládá tab.13, tím je samozřejmě ovlivňováno i celkové ozáření.

Tab.13 Hodnoty celkového slunečního ozáření [24]

	Celkové sluneční ozáření	Podíl difúzního ozáření
	[$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]	[%]
Jasná obloha	700 ÷ 1000	10 ÷ 20
Lehce zataženo	200 ÷ 700	20 ÷ 80
Silně zataženo	100 ÷ 200	80 ÷ 100

Podíl jednotlivých složek slunečního ozáření na sklonu jižně natočeného analyzovaného povrchu (odklonu od vodorovna) vyjadřuje graf na obr.54. Z něj je patrné, že při nízkém sklonu převažuje nad ostatními difúzní oblohové záření.



Obr.54 Podíl jednotlivých druhů záření při proměnlivém sklonu [24]

Odražené difúzní záření je při vodorovném umístění plochy (kolektoru) nulové a začne se výrazněji projevovat až při vyšších sklonech. K předělu v převaze podílů přímého a slunečního záření dochází přibližně při sklonu plochy 45°.

Ke stanovení potřebných hodnot globálního solárního ozáření je možné využít různých metod. Nejjednodušší cestou je využití některé z databází meteorologických stanic, např. ČHMÚ, a to většinou na objednávku. Na níže uvedeném obr.55 je ale uveden jiný příklad. Představuje interaktivní internetovou aplikaci Photovoltaic Geographical Information System, zkráceně PGIS, poskytující klimatické údaje pro celou Evropu i Afriku. Jedná se o průměrné hodnoty teploty ovzduší a výše popsané typy slunečního ozáření, vše při zvoleném sklonu a orientaci plochy, na kterou sluneční záření dopadá. Hodnoty jsou uváděny pro jednotlivé měsíce či denní doby.

1 – volba databáze, 2 – volba měsíce, 3 – volba sklonu analyzované plochy (0 = horizontálně), 4 – volba orientace analyzované plochy (-90 = na severní stranu, 0 = na jižní stranu), 5 – volba zobrazovaných údajů (teploty, ozáření), 6 – volba výstupního formátu.

Obr.55 Interaktivní mapa průměrného slunečního ozáření [31]

Výstupem aplikace je tabulkový nebo grafický souhrn zprůměrovaných hodnot zadaných zjišťovaných veličin. Příklady výstupů této aplikace jsou uvedeny v příloze 6.

Tento způsob, ač by pro srovnávací měření postačoval, je samozřejmě příliš vzdálen od reálného stavu a slouží spíše pro orientační stanovení slunečního ozáření. Přesnější údaje poskytuje přímé měření ozáření. Tomuto účelu slouží měřicí přístroje zvané pyranometry. Ty zaznamenávají přímé a difúzní záření čidly, umístěnými za jedním nebo dvěma polokulovitými skleněnými kryty. To proto, aby se zabránilo průchodu nepřírodních složek slunečního záření (dlouhovlnného záření) a možnému zkreslování naměřených výsledků ochlazovacím účinkem větru. V podstatě existují dva základní typy přesných pyranometrů.

Prvním z nich je tzv. segmentový nebo také hvězdicový (obr.56a). Už sám název napovídá, že je čidlo tohoto pyranometru tvořeno několika černobílými segmenty. Černé segmenty vykazují vysokou pohltivost slunečního záření. Naproti tomu bílé natřené segmenty vynikají téměř stoprocentním odrazem dopadajících slunečních paprsků. Pod segmenty se nacházejí termočlánky (na celé měřidlo připadají desítky), které zaznamenávají teplotní rozdíl mezi černými a bílými částmi. Ten je přímo úměrný celkovému slunečnímu ozáření.



a) segmentový pyranometr



b) terčíkový pyranometr

Obr.56 Základní typy pyranometrů [24]

Druhým typem, vyobrazeným na obr.56b, jsou terčíkové pyranometry, využívající termočlánek ke zjištění teplotního rozdílu, tentokrát mezi černým terčíkem a částí měřicího přístroje, jež je stíněno proti dopadu slunečního záření. Pro vyšší přesnost měření je používán ve většině případů vyšší počet termočlánků. Zjištěný teplotní rozdíl je opět přepočtem přes konstantu konkrétního přístroje přímo úměrný globálnímu slunečnímu ozáření.

Pro potřeby zaznamenání globálního slunečního ozáření v rovině zkoušených vzorků solárních absorbérů byl Energetickým ústavem, Odborem termomechaniky a techniky prostředí, FSI VUT v Brně laskavě zapůjčen terčíkový pyranometr výrobce Kipp & Zonen typu CM11, výrobní čísla 0174484 i s příslušenstvím. Daný měřicí přístroj je detailně vyobrazen na obr.57.

Čidlo ozáření (černý terčík) je povlakováno vysoce absorpčním povrchem na bázi uhlíku a umístěno za dvojité kopulovité zasklení typu Schott K5. To zároveň určuje rozsah zachytitelného slunečního spektra, které se pohybuje v rozmezí (305 až 2 800) nm. Vnitřní strana zasklení je chráněna proti možné kondenzaci pohlcovačem vlhkosti. Výhodou pyranometru je naprostá linearita v celém měřicím rozsahu a vysoká dosahovaná přesnost. Měřicí zařízení splňuje nejprísnejší kritéria dle normy ISO-9060 (tzv. Secondary standard). Výstupem měřicího zařízení, na jehož měřicí plochu kolmo dopadá sluneční záření, je elektrické napětí, které převodem $5,16 \cdot 10^{-5} \text{ V/W} \cdot \text{m}^{-2}$ odpovídá globálnímu ozáření. Tak je tomu po uplynutí časové konstanty nebo-li vybavovacího času, nutného k ustálení teplotních rozdílů.



Obr.57. Terčíkový pyranometr Kipp & Zonen CM11

Součástí příslušenství zapůjčeného pyranometru je i stíněný kabel pro bezztrátové vedení naměřeného signálu (elektrického napětí) k vyhodnocovacímu zařízení. Napětí lze na výstupu zaznamenávat libovolným voltmetrem, resp. multimetrem nebo může být připojeno na převodník, ze kterého je signál dále veden pomocí USB sběrnice do PC vybaveného příslušným software.

Tab.14 Základní parametry pyranometru Kipp & Zonen CM11 [4]

Citlivost	(4 až 6) $\mu\text{V}/\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
Doba odezvy	15 s
Nelinearita	max. $\pm 0,6 \%$ (při ozáření max. $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)
Směrodatná odchylka	max. $\pm 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
Rozsah teplot	(- 40 až + 80) $^{\circ}\text{C}$
Impedance	(700 až 1500) Ω
Maximální zjištěitelné ozáření	$4000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
Výstupní napětí	(0 až 10) mV

Jelikož nelze zajistit zapůjčení přístroje, jehož důležité technické specifikace jsou uvedeny v tab.14, na delší dobu, není zabudováno v měřícím systému trvale. Pokud měření tepelné účinnosti probíhají za jasné oblohy v relativně krátkém časovém úseku (cca hodinu), není potřeba měřit hodnotu globálního ozáření průběžně, ale plně postačuje stanovit ji na počátku a po čas měření na ni pohlížet jako na konstantu.

Jestliže měření neprobíhají ve venkovním prostředí při přirozeném slunečním svitu, ale ve vnitřních prostorách za simulovaného záření, lze pyranometrem dopředu určit stav simulovaného ozáření a dále ho není potřeba. Tak je tomu i v případě navrhovaného zkušebního systému.

Tab.15 Technická data zářiče JNSB-120Y4 [11]

Napájecí napětí	(220 až 240) V AC/ 50Hz
Jmenovitý výkon	1200 W
Spotřeba energie	400 W – 800 W – 1200 W

Aby bylo možné provádět srovnávací měření účinnosti i při nepříznivém počasí, je použito přibližné simulace na absorbéry dopadajících slunečních paprsků pomocí halogenového zářiče typu JNSB-120Y4

výrobce Ningbo Jasun Electrical Appliance, jehož technické parametry uvádí tab.15. Zářič byl pro uvedené účely upraven a připevněn na nosnou konstrukci, jejíž polohování umožňuje případnou změnu vzdálenosti mezi zářičem a absorbéry. Finální ustavení ukazuje obr.58. Vzhledem k malé ozářené ploše, kterou zářič pokrývá je vyloučeno jeho použití pro všechny čtyři absorbéry. Při používání zářiče je tedy možné najednou provádět měření pouze u dvou vzorků absorbérů.



Obr.58 Zářič připevněný ke kostře měřícího systému

Díky uvedenému pyranometru bylo u halogenového zářiče zjištěno globální ozáření, a to pro čtyři vzdálenosti od roviny absorberů (300 až 600) mm. Tímto způsobem naměřené hodnoty uvádí tab.16, která představuje orientační hodnoty ozáření pro vzdálenosti, kterých je možné v navrhovaném měřicím systému dosáhnout. Jak je z ní zřejmé lze dosáhnout v rozmezí polohovatelnosti konstrukce širokého rozpětí ozáření (210 až 1350) $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

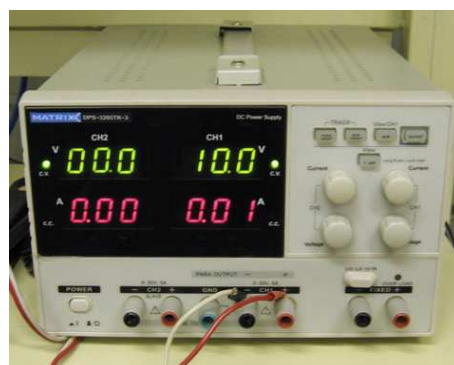
Tab.16 Hodnoty globálního ozáření zářičem JNSB-120Y4

Kolmá vzdálenost od zářiče	Globální solární ozáření	
	Jedna trubice (400 W)	Tři trubice (1200 W)
[mm]	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$
300	520	1 350
400	375	1 049
500	285	870
600	210	595

Trubice zmíněného zářiče lze aktivovat v pořadí: prostřední, levá nebo pravá a zbývající. Z toho je jasné patrné, že pokud by bylo uvažováno s použitím dvou trubic namísto tří, docházelo by k nesymetrickému ozáření absorberů a tudíž k významnému zkreslení výsledků měření.

3.6 Napájecí zdroj [19]

Jak bylo výše zmíněno, pro činnost snímačů teploty a průtoku je nutné k nim přivést napájecí napětí v rozsahu dle uvedených specifikací toho kterého čidla. Pro tento účel je použit laboratorní zdroj Matrix DPS-3205TK-3. Jak napovídá obr.59, jedná se o dvoukanálový zdroj s rozsahem výstupního napětí (0 až 30) V. Další významné specifikace jsou shrnuty do tab.17. Zdroj je používán v součinnosti s čelním připojovacím panelem měřicí karty, pomocí kterého jsou jednotlivá čidla mimo jiné také napájena. Podrobnější informace jsou uvedeny níže při detailním popisu již zmíněné měřicí karty.



Obr.59 Laboratorní zdroj Matrix

Tab.17 Parametry laboratorního zdroje Matrix DPS-3205TK-3 [19]

Vstupní napětí	Výstupní napětí	Výstupní proud	Provozní teplota	Provozní vlhkost
230 V AC/50 Hz	(0 až 30) V	3A	(0 až 40) °C	max. 80 %

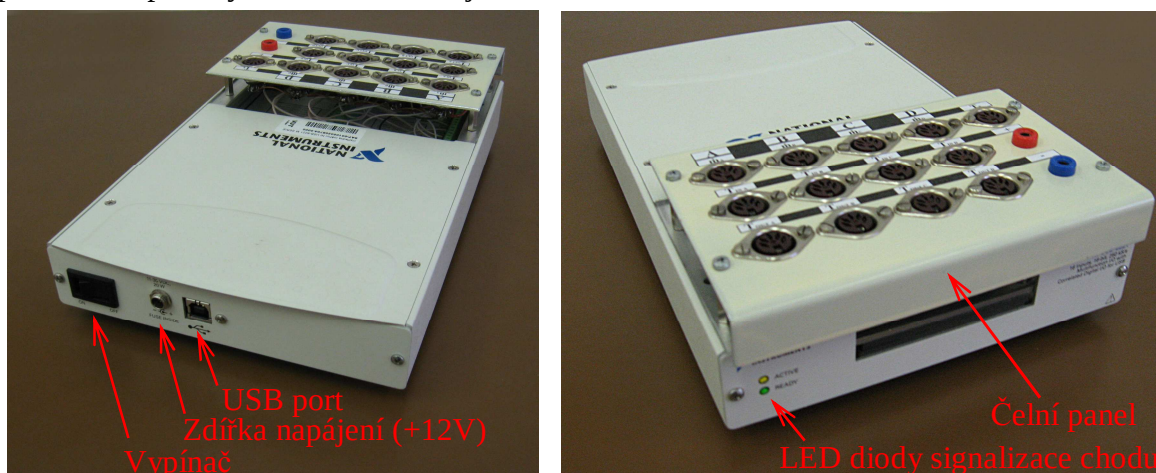
3.7 Měřicí karta [22]

Informace o teplotě a průtoku se z jednotlivých čidel měřicí aparatury sbíhají v měřicí kartě. Ta v součinnosti s napájecím zdrojem poskytuje jednotlivým pasivním snímačům napájecí napětí a zároveň detekuje a distribuuje jimi generovaný naměřený signál do počítače, v němž je dále vyhodnocován a zpracováván. Pro tyto účely je v navrhovaném měřicím systému použit multifunkční měřicí modul společnosti National Instruments typu NI USB-6221, který, ač s velice přesnou detekcí signálů za vysoké vzorkovací rychlosti, je určen především pro mobilní nebo prostorově omezené aplikace. Informace o této měřicí kartě poskytuje níže uvedená tab.18.

Tab.18 Parametry měřicí karty NI USB-6221 [22]

Měřicí rozsah	Analogové vstupy				Digitální vstupy/výstupy	
[V]	počet	časové rozlišení	rozlišení	vzorkovací rychlost	počet	počet vstupů čítač/časovač
-10 až 10	16	50 ns	250 bitů	250 vz./s	24	2

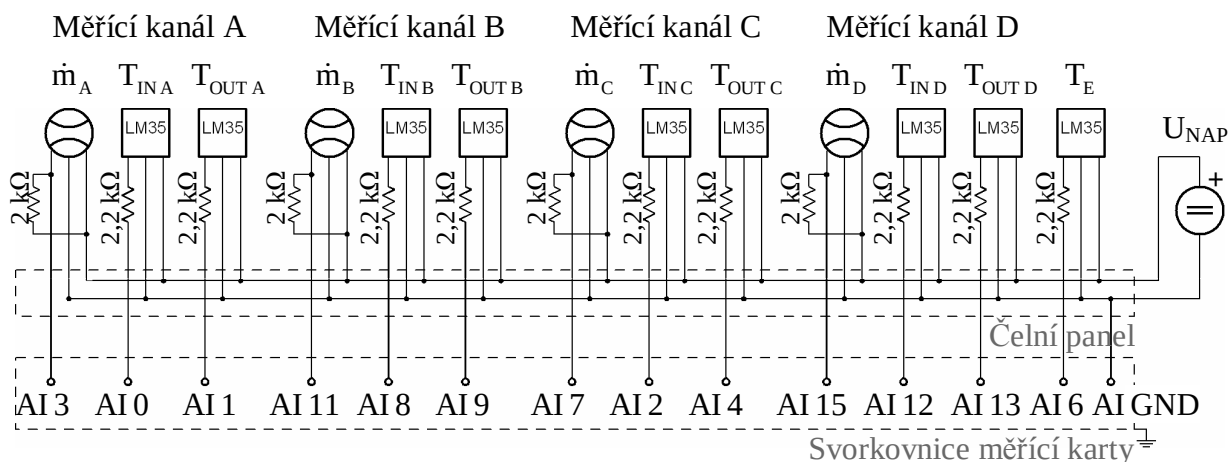
V základu je měřicí karta, napájená zdrojem napětí +12 V DC, (0 až 2,5) A, vybavena pouze měřicími vstupy, a to pomocí šroubovacích svorek. Pro potřeby měření byla ovšem upravena do podoby, kterou znázorňuje obr.60.



Obr.60 Měřicí karta NI USB-6221 s čelním panelem

Na tělo měřicí karty je na distančních sloupcích připevněn čelní panel osazený DIN zdírkami pro připojení snímačů teploty a průtoku. Jejich napájení je realizováno napájecím napětím přivedeným z výše uvedeného zdroje pomocí konektorů, tzv. banánků, na kladnou (červenou) a zápornou nebo také zemnicí (modrou) zdírku. Teprve po těchto úpravách je možné skloubit měřicí funkce karty s možným napájením snímačů, ale i docílit vyšší flexibility při připojování či odpojování dílčích snímačů teploty a průtoku. V případě, kdy by nebyl čelní panel použit, by totiž musely být všechny přívody signálů čidel uchyceny „na pevno“ čelistmi svorkovnice.

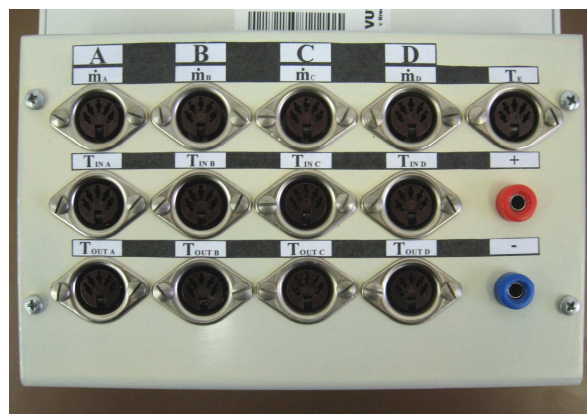
Měřený signál je tedy přiveden ze snímačů pomocí DIN konektorů do panelu, umístěného nad svorkovnicí měřicí karty. Stejnou cestou jsou také jednotlivá čidla napájena. Dále je třeba vést signál (naměřené napětí) z panelu přes zdírky svorkovnice do karty. Schéma propojení panelu s měřicí kartou, které je uvedeno na obr.61, bylo realizováno s ohledem na předchozí pokusná zapojení. U nich se při nedodržení uvedeného schématu zapojení projevovало určité vzájemné ovlivňování čidel. To významně znehodnocovalo detekované naměřené signály.



Obr.61 Schéma zapojení měřicího obvodu

Vzhledem k vzájemnému propojení zemnicích svorek AI GND uvnitř měřicí karty plně postačuje připojení zemnění (záporného pólu) pouze na jednu libovolnou zemnicí svorku. Jak je naznačeno na schématu z obr.61, je pomocí čelního panelu takto propojeno zemnění zdroje, karty i jednotlivých připojených snímačů.

Pro lepší přehled o použitých zdírkách svorkovnice měřicí karty i čelního panelu jsou na obr.62 uvedeny detaily výše jmenovaných částí, tedy detail čelního panelu (obr.62a) a pod ním se nacházející svorkovnice (obr.62b) s vyznačenými svorkovnicovými bloky, které byly použity pro připojení snímačů teploty a průtoku.



a) detail čelního panelu měřicí karty

AI 0	1	17 AI 4	P0.0	65	81 PFI 8/P2.0
AI 8	2	18 AI 12	P0.1	66	82 D GND
AI GND	3	19 AI GND	P0.2	67	83 PFI 9/P2.1
AI 1	4	20 AI 5	P0.3	68	84 D GND
AI 9	5	21 AI 13	P0.4	69	85 PFI 10/P2.2
AI GND	6	22 AI GND	P0.5	70	86 D GND
AI 2	7	23 AI 6	P0.6	71	87 PFI 11/P2.3
AI 10	8	24 AI 14	P0.7	72	88 D GND
AI GND	9	25 AI GND	PFI 0/P1.0	73	89 PFI 12/P2.4
AI 3	10	26 AI 7	PFI 1/P1.1	74	90 D GND
AI 11	11	27 AI 15	PFI 2/P1.2	75	91 PFI 13/P2.5
AI GND	12	28 AI GND	PFI 3/P1.3	76	92 D GND
AI SENSE	13	29 NC	PFI 4/P1.4	77	93 PFI 14/P2.6
AI GND	14	30 AI GND	PFI 5/P1.5	78	94 D GND
AO 0	15	31 AO 1	PFI 6/P1.6	79	95 PFI 15/P2.7
AO GND	16	32 AO GND	PFI 7/P1.7	80	96 +5 V

• připojení snímačů teploty

• připojení snímačů průtoku

b) Svorkovnice měřicí karty

Obr.62 Detailní zobrazení propojovacích částí měřicí karty [22]

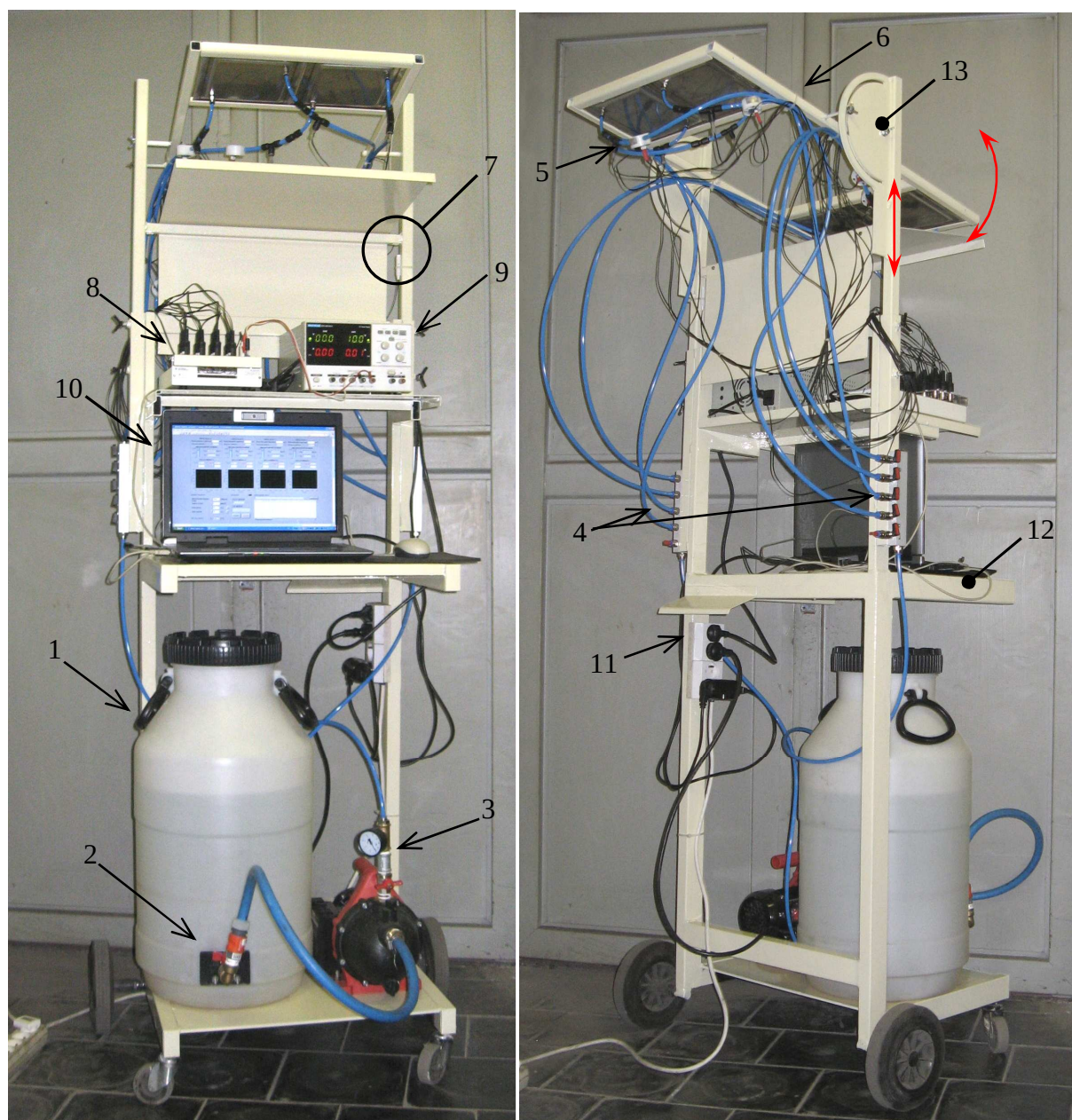
Z uvedeného dále vyplývá, že jsou výstupy všech čidel přivedeny na analogové vstupní svorky měřicí karty AI (Analog Input), a to i v případě digitálních snímačů průtoku. Vzhledem k tomu, že princip určení průtoku spočívá v detekci a stanovení frekvence obdélníkového průtokoměrem generovaného výstupního signálu, je výhodnější tento přivést na analogový vstup a poté jej v příslušném software frekvenčně analyzovat. Měřicí karta sice umožňuje přímé zjišťování frekvence přiváděného signálu, ale porty určené ke stanovení frekvence pulzů, tzv. čítače, jsou v digitálních vstupních blocích měřicí karty pouze dva, což je vzhledem k potřebě celkem čtyř portů pro čtyři snímače průtoku nedostačující. Další přiblížení této problematiky je uvedeno níže v popisu použitého vyhodnocovacího software.

Pro další zpracování kartou zachyceného signálu je nutné znát kompatibilitu uvedené měřicí karty se software v PC, kam bude pomocí sběrnice USB tento signál přiveden. Měřicí kartu NI USB-6221 lze dle informací výrobce používat v součinnosti s operačním systémem Windows, konkrétně Windows 2000, XP a Vista. Pro zpracování signálu, přivedeného do PC, je dále možné využívat některého z následujících programovacích a vývojových prostředí: ANSI C/C++, Visual C#, Measurement Studio, Visual studio .NET, LabVIEW atd. Právě v posledním zmíněném vývojovém prostředí LabVIEW od společnosti National Instruments, tedy od stejného výrobce, jako v případě použité měřicí karty, je sestaveno potřebné měřicí a výpočetní rozhraní. Pomocí něj je přes kartu do PC přivedené naměřené napětí dále zpracováno a vyhodnocováno.

3.8 Výsledný měřicí systém

Za použití všech výše popsaných přístrojů a komponent byl zkonstruován výsledný měřicí okruh, který koresponduje s návrhovým schématem, uvedeným na obr.40, rozšířeným o vyhodnocovací techniku. Jedna z hlavních předností navrhovaného měřicího systému spočívá v jeho mobilitě, neboť všechny prvky měřicí i vyhodnocovací aparatury jsou umístěny na pořízdné konstrukci.

Výsledné řešení měřicího systému znázorňuje obr.63. Rekapitulace jeho hlavních funkcí a způsobu ovládání je následující: teplotnosné médium (voda) je vedeno z plastového barelu, který plní funkci zásobníku (1), přes výpustný ventil zásobníku (2) přívodní hadicí do oběhového čerpadla (3), zajišťujícího cirkulaci kapaliny v okruhu. Čerpadlo je na výstupu vybaveno prvním stupněm regulace průtoku, tvořeného ventilem a měřičem tlaku (manometrem). Pomocí této soustavy je docíleno prvotní hrubé regulace průtoku. Jak je výše popsáno, tlak média by neměl překročit určitou hodnotu, jinak hrozí poškození, resp. vydutí vzorků absorbérů. Díky jednomu z rozváděčů (4), v němž se provádí konečná regulace průtoku teplotnosné kapaliny na hodnotu cca $0,01 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$, je dále voda vedena přes čidla průtoku a teploty (5) do čtyř vzorků absorbérů, umístěných na výkyvném rámu (6) s možností aretace a z nich zpátky přes snímače výstupní teploty do zásobníku. Celý cyklus se poté znovu opakuje. Údaje o teplotě okolního prostředí poskytuje měřicímu systému teplotní čidlo (7), umístěné v ochranném plastovém krytu pod naklápěcím mechanismem rámu s absorbéry.



Obr.63 Systém pro měření tepelné účinnosti vzorků absorbérů bez přídavného zářiče

Signály jednotlivých měřících elementů jsou vedeny stíněným vedením do čelního panelu měřící karty (8), který krom detekce měřícího signálu zabezpečuje i jejich napájení, a to díky laboratornímu zdroji stejnosměrného elektrického napětí (9), který je k němu rovněž připojen. Odtud je již naměřené napětí přenášeno cestou USB sběrnice do notebooku (10), umístěného pod měřící kartou. Zde probíhá vyhodnocování naměřených veličin a výpočet tepelné účinnosti.

Přístroje navrhovaného měřícího systému, které je potřeba napájet elektrickým napětím z distribuční sítě, jako je napájecí zdroj, měřící karta a notebook, jsou připojeny k uzlu přívodu elektrické energie 230 AC/50 Hz (11). Jedná se o soubor dvou klasických dvojzásuvek, které jsou připevněny k dolní části pojízdné konstrukce (12) a vybaveny rozbočovačem. Nosná konstrukce obsahuje kromě tří nad sebou umístěných ploch pro používaná zařízení také jedno hlavní zastřešení, určené k ochraně přístrojů a dále ochranné zastřešení elektrického rozvodu, jež brání vniku kapaliny do použitých zásuvek při možných havarijních stavech okruhu, a tedy i k ochraně ze zásuvek napájených elektrických přístrojů. Horní část konstrukce (13), zajišťující výkyvnost a aretaci rámu se vzorky absorbérů, lze navíc ve vertikálním směru polohovat.

Takto popsaná konstrukce měřícího systému představuje základní konfiguraci pro měření za přirozeného slunečního záření ve venkovním prostředí. Pokud se tepelná účinnost zjišťuje v interiéru za použití umělého ozáření absorbérů výše zmíněným zářičem, lze tento na jednu stranu výkyvného rámu dodatečně připevnit, viz výše uvedený obr.58.

Toto konstrukční řešení měřícího okruhu i s přídatným zářičem představuje v globále pouze hardware celkového měřícího systému. V dalším je tedy třeba zaměřit se i na software, jenž je součástí na obr.63 zobrazeného notebooku, tedy programovou část, zaznamenávající a vyhodnocující dílčí údaje snímačů.

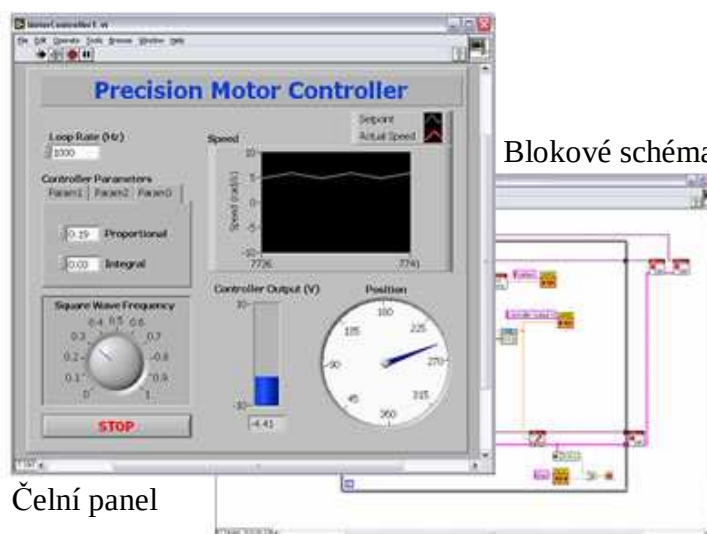
4 NÁVRH MĚŘÍCÍHO PROGRAMU [20], [49]

Cílem navrhovaného programu je detekce a zpracování signálů ze všech výše popsanych čidel, při čemž je nutné zajistit převod zaznamenaného elektrického napětí na příslušné jednotky jednotlivých veličin, dále provedení výpočtu tepelné účinnosti a zápis takto získaných hodnot do souboru – protokolu o měření. To vše pro zvolenou dobu a krok měření. Pro tvorbu programu bylo použito vývojové prostředí LabVIEW 2010 ve verzi 10.0.0.4032.

4.1 Základní popis LabVIEW [10], [20], [49]

LabVIEW, někdy také pouze LV, představuje zkratkovité vyjádření anglického spojení Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench, tedy v doslovném českém překladu Laboratorní pracoviště virtuálních zařízení. Jedná se o jedno z mnoha počítačových vývojových prostředí, které simulují chování klasických přístrojů a nahrazují tak zkušebně nebo rovnou trvale jejich činnost. Hlavní přednosti a důvody, proč toto odvětví dnes zažívá především v oblasti vývoje a výzkumu velký rozvoj je fakt, že obvyklá používaná zařízení jsou mnohdy finančně, ale také prostorově náročnější a mají v sobě zaimplementované funkce, které nelze upravovat nebo dokonce rozšiřovat. Hlavní uplatnění tyto virtuální systémy nacházejí v oblasti sběru dat, jejich vyhodnocování, ale též v ovládání a vizualizaci nejrůznějších procesů. Navíc možnost propojení s některými, dnes již základními doplňky každého PC, jakými jsou tabulkové a textové editory, maximálně usnadňují archivaci naměřených či jinak zaznamenaných hodnot, vytvářením protokolů o měření, řízení apod.

Oproti jiným vývojovým prostředím, jako jsou standardní programovací nástroje C, Pascal atd., má programovací jazyk LabVIEW výhodu přehlednosti a intuitivnosti programování daných funkcí. Nejedná se o klasické programovací prostředí s nutností zadávání nejrůznějších příkazů v podobě syntaxí do tzv. řádkového uspořádání, ale o grafickou podobu takového jazyka, někdy nazývaného G-jazyk. Zde jsou jednotlivé funkce a příkazy prezentovány formou jakéhosi blokového (vývojového) diagramu, který v sobě kombinuje



Čelní panel

Obr.64 Příklad virtuálního nástroje LabVIEW [20]

předem nadefinované funkce a tyto skládá pomocí rozvodu signálu (informací) do celkové programové struktury, podobně jako v případě logických obvodů. Navíc toto prostředí disponuje celou škálou manuálů a názorných příkladů (tutoriálů), do něj přímo zabudovaných. To samozřejmě přináší významnou úsporu programovacího času i přehlednost a snadnější kontrolovatelnost samotného programování.

V zásadě lze říci, že vývojové prostředí programu LabVIEW z obr.64 je rozděleno na dvě pomyslné části nebo-li dvě mezi sebou propojená okna. První z nich tvoří v podobě ovládacího rozhraní, v rámci LabVIEW označovaného jako Front Panel (čelní panel), uživatelské prostředí vytvořeného virtuálního přístroje. Je určeno ke spouštění, ovládání a vizualizaci vytvořených (naprogramovaných) aplikací. Druhá část, nazývaná Block Diagram, tedy jakési blokové schéma, představuje zdrojový kód vytvořeného programu či virtuálního přístroje. V této části probíhají veškeré naprogramované algoritmy.

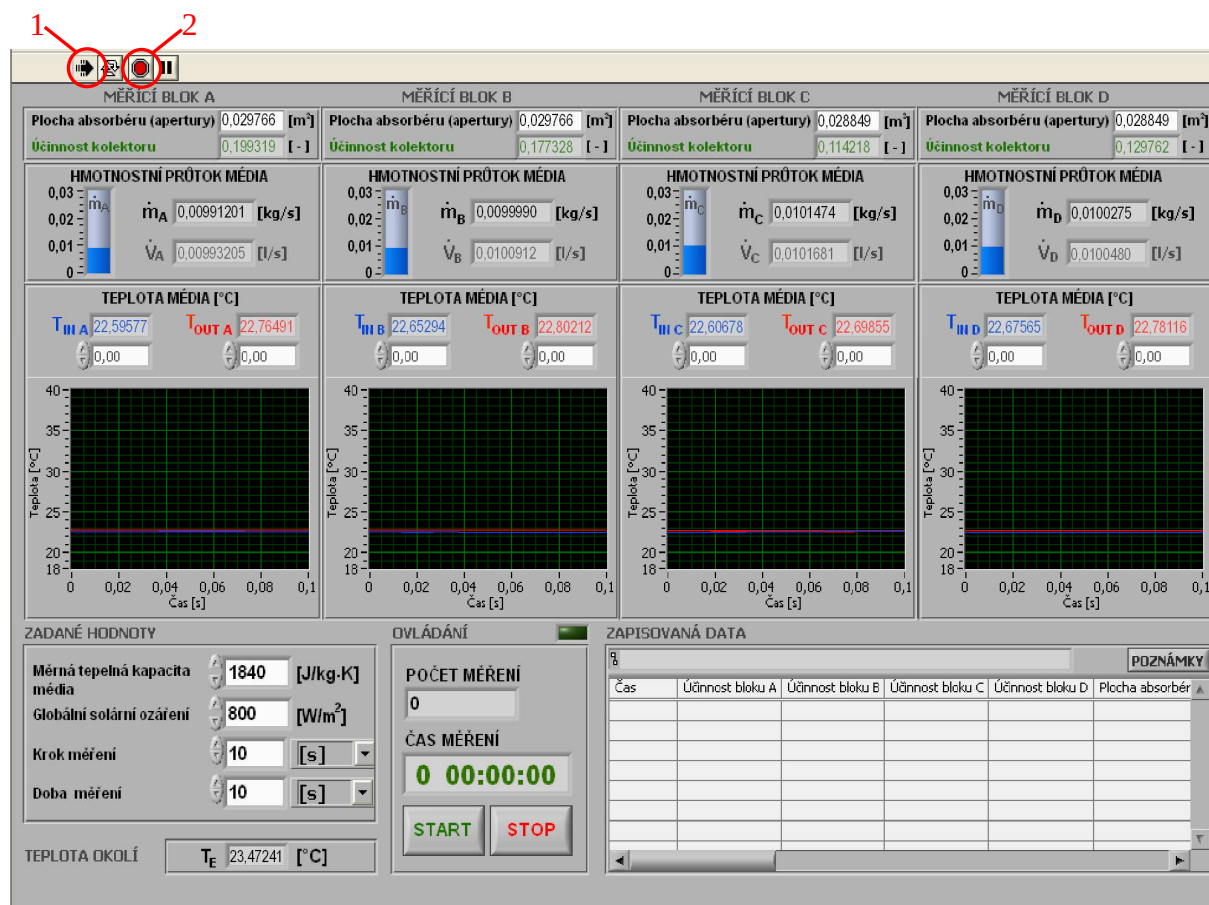
Programování se fakticky děje propojením ovládacích a vizualizačních prvků čelního panelu s prvky, jež představují rozličné předem nadefinované funkce, jako např. logické a matematické operace, a to pomocí virtuálního vedení, přičemž každý typ takto přenášených dat představuje jiná tloušťka a barva rozvodu. Tento fakt samozřejmě výrazně napomáhá, zvláště v případě složitých programů, přehlednosti a snazší orientaci v těle programu. Představu o základních typech takto přenášených dat a tomu odpovídající vzhled vedení (propojení) poskytuje tab.19.

Tab.19 Základní datové typy v LabVIEW [22]

Datový typ	Skalár (číslo)	1D matice (tabulka)	2D matice (tabulka)
mumerický, desetinná čísla			
mumerický, celá čísla			
booleovský			
textový			

4.2 Čelní panel [10], [49]

Ovládání vytvořené aplikace je realizováno přes čelní panel, který tvoří uživatelské rozhraní. Obr.65 představuje čelní panel navrženého programu po jeho spuštění. Děje se tak pomocí tlačítka (1), které ovšem není součástí vytvořeného virtuálního přístroje, ale je společně s celou horní lištou základní součástí každého programu, spouštěného v LabVIEW. Kromě něj lišta obsahuje další základní prvky. Především nabízí přes tlačítko Abort Execution (2) možnost nouzového ukončení programu v tom případě, pokud by se např. zacyklil a nemohlo k němu tedy dojít klasicky v programové struktuře tlačítkem STOP, jehož funkce bude níže vysvětlena.



Obr.65 Čelní panel navrhovaného programu

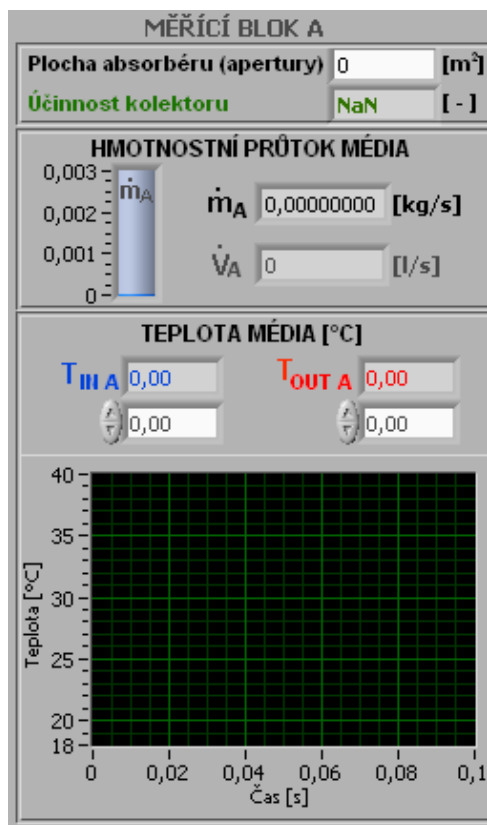
Jak vidno z obr.65, čelní panel je rozdělen do několika bloků, určených pro časové parametry měření (ovládání), zadávání vstupních údajů (zadané hodnoty), vizualizaci průběhů snímaných veličin v jednotlivých měřicích blocích (měřicí blok A až D) i otázku prohlížení a zapisování naměřených dat do souboru (zapisovaná data).

• Zadané hodnoty

Z důvodu kontroly měřených veličiny a dalších přípravných kroků měření (regulace průtoku atd.) je program navržen tak, aby po spuštění pracoval pouze v jakémsi prohlížečím režimu (bez zápisu dat). V této době je možné vkládat i potřebné vstupní údaje, které by se jinak musely zadávat již v návrhovém zobrazení před spuštěním, což je samo o sobě dosti nepraktické. Blok, nazvaný Zadané hodnoty (obr.66), slouží právě k postupnému vkládání konstant měření, kterými jsou hodnoty měrné tepelné kapacity teplotnosného média (vody) a globálního solárního ozáření, do zadávacích terminálů. K tomu je možné využít klávesnice nebo použít tlačítek přírůstku a úbytku. Tento modul rovněž slouží i k zadání doby, po kterou se bude měření provádět a časovému kroku prodlevy mezi ukládáním zaznamenaných dat. U těchto dvou vstupních hodnot je zároveň možnost výběru jednotek, a to z čistě praktického hlediska. Pokud se totiž měření bude provádět např. několik hodin nebo naopak pouze několik desítek sekund, je zbytečné pokaždé provádět přepočty mezi jednotkami. Proto lze v záložce zvolit variantu sekund, minut nebo hodin. To samé platí i pro krok měření.

Obr.66 Blok Zadané hodnoty čelního panelu

• Měřicí bloky



Obr.67 Měřicí blok čelního panelu

Samotnou vizualizaci naměřených dat, jakožto i zobrazení hodnoty tepelné účinnosti, zabezpečují měřicí bloky A až D (obr.67), pro každý zkoušený absorber (kolektor) jeden. Ty jsou dále strukturovány podle významu a druhu zobrazovaných veličin. V horní části se nalézá kromě zobrazení již zmíněné účinnosti také zadávací terminál pro vložení hodnoty plochy absorberu, jež je velmi důležitá pro konečný výpočet účinnosti. Střední část zobrazuje průtok teplotnosného média. Pro rychlou kontrolu této veličiny slouží prvek grafického číselného zobrazovače, který znázorňuje přírůstek či pokles hmotnostního průtoku $\dot{m}_A$, stejně jako přesné numerické zobrazení, umístěné vedle něj. K lepší představě o protékaném množství přispívá zobrazení přepočítané hodnoty objemového průtoku $\dot{V}_A$. Spodní část měřicího bloku vizualizuje tepelný průběh, a to grafickým provedením, zároveň zobrazujícím vstupní i výstupní teplotu média. Graf koresponduje s nad ním umístěným numerickým zobrazením. Ke každému číselnému zobrazovači je přiřazen terminál, určený ke vkládání tzv. korekčních členů.

Do programu byly korekční členy zařazeny z důvodu omezené přesnosti, resp. nepřesnosti používaných teplotních čidel. Jak je výše uvedeno, každý teplotní snímač disponuje přesností měření 0,5 °C. Pokud je uvažováno se zjišťováním difference mezi dvěma měřícími čidly a ne hodnot teploty, chyba narůstá. Z tohoto důvodu je nutné v klidovém stavu, přesněji řečeno ve stavu, kdy nejsou absorbéry ovlivňovány slunečním zářením a kdy se tedy teplota na vstupu rovná teplotě na výstupu, vynulovat teplotní gradient mezi čidly.

• Ovládání

Obr.68 uvádí detail ovládacího bloku čelního panelu. Kromě zobrazeného počtu měření a měřícího času, nabízí panel ovládání, jak jeho název napovídá, také zásadní ovládací prvky programu. Jedná se o tlačítka START a STOP. Po spuštění programu se totiž z výše popsaných důvodů nespustí zaznamenávání měřených hodnot. Toho se docílí právě teprve aktivací tlačítka START. Na obr.68b, kde je zobrazen panel Ovládání za chodu, je možné pozorovat změnu popisu spouštěcího tlačítka.



a) klidový stav b) aktivovaný stav

Obr.68 Blok Ovládání čelního panelu

Funkce RESET nabízí při opětovné aktivaci tlačítka dočasné přerušení a následné spuštění měření bez ukončení chodu programu v momentě, kdy dojde k chybám nebo nežádoucím stavům při měření. V takovém případě se resetuje i počet a čas měření. Po naměření potřebného počtu hodnot a uplynutí nastaveného času měření se program sám ukončí nebo jej lze předčasně zastavit tlačítkem STOP.

• Zapisovaná data

Posledním blokem čelního panelu je ten, zabývající se uložením naměřených dat na pevný disk PC (obr.69). Během měření se v měřících krocích zaznamenávají hodnoty do jeho tabulkové části. Jedná se o čas měření v nadefinovaných jednotkách (panel Zadané hodnoty), tepelné účinnosti, plochy absorbérů, hmotnostní průtok, vstupní i výstupní teplotu a teplotu okolí, jinak zobrazovanou v levém dolním rohu čelního panelu. Tento soubor hodnot je poté uložen do PC. Název souboru a jeho umístění na pevném disku jsou zadávány pomocí dialogového okna ihned po spuštění programu a bez vložení a potvrzení těchto údajů se program ihned ukončí. Název souboru se sestává z těchto částí: název, údaj o datu, o čase měření a přípona. Ta může být defakto jakákoliv, podle způsobu dalšího zpracování či procházení zaznamenaných údajů. Lze použít textové přípony (.txt) nebo přípony, určené pro tabulkové editory (.xls) apod. Pro vkládání poznámek o měření lze využít tlačítka POZNÁMKY. Přes něj je možné aktivovat či deaktivovat terminál ke vkládání textu, jako je např. popis struktury a povrchu absorbérů, podmínek měření atd.

ZAPISOVANÁ DATA					
C:\Documents and Settings\Tabulka_13-05-08_1000.xls					POZNÁMKY
Čas	Účinnost bloku A	Účinnost bloku B	Účinnost bloku C	Účinnost bloku D	Plocha absorbér ▲
0,000000	0,0258	0,0158	0,0192	-0,001	0,002879
5,000000	0,0312	0,0897	0,0548	0,0187	0,002879

Obr.69 Blok Zapisovaná data čelního panelu

4.3 Blokové schéma [10], [20], [49]

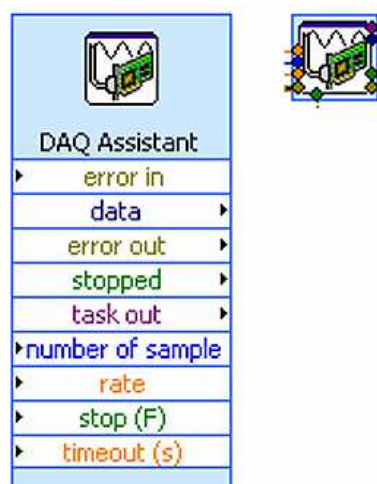
Uvedeným blokům čelního panelu programu odpovídá programová struktura, reprezentovaná blokovým schématem. V této části je realizován sběr dat z měřicí karty, propojení vizualizačních prvků čelního panelu i výpočet účinnosti a uložení získaných dat na pevný disk PC.

• Vstupní data

Prvním krokem celého navrhovaného programu je problematika vložení či zaznamenání vstupních údajů, které se budou v dalších krocích zpracovávat. Tato data lze rozdělit do dvou skupin.

První z nich představuje pouhé zadávání konstant výpočtu tepelné účinnosti. Pro tyto účely postačuje využití pole ke vkládání číselných hodnot, v programu označované jako Num Ctrl, které tvoří na čelním panelu zadávací terminál, viz blok Zadané hodnoty. Do čelního panelu vložené pole je poté v blokovém diagramu propojeno s dalšími navazujícími členy.

Druhým typem je zachycení výstupních signálů čidel teploty a průtoku. Jak bylo výše řečeno, signály ze všech snímačů jsou směřovány do PC přes měřicí kartu pomocí USB sběrnice. Pokud má být PC, potažmo LabVIEW, schopno detekovat tento signál a dále jej zpracovávat, musí být vybaveno příslušným ovladačem. K tomuto účelu jsou pro prostředí LabVIEW určeny přídatné moduly DAQ, což je zkrácené označení anglického výrazu Data Acquisition, tedy sběr dat. V programu je použit přídatný modul NI-DAQmx verze 9.1, který po instalaci přináší do programovacího prostředí nové funkce a nástroje. V případě navrhovaného programu je konkrétně použit nástroj DAQ Assistant, který umožňuje generování nebo detekci i dílčí vyhodnocení signálů různých typů. Tímto nástrojem lze zaznamenávat digitální či analogové hodnoty. Především se jedná o detekci teploty pomocí termočlánků, frekvence a elektrického proudu či napětí, jak je tomu v případě snímání teploty i průtoku. Z obr.70 je zřejmé, že DAQ Assistant, vložený z palety nástrojů do blokového diagramu, nabízí celou řadu funkcí na vstupu i výstupu. Nástroj lze zobrazit v základní rozvinuté formě nebo úsporně, pouze ikonou (obr.70 vpravo). Tato možnost se týká hlavně složitých programových struktur, kde je dbáno na maximální využití pracovní plochy blokového diagramu. Obecně ho lze použít nejen k přenosu signálu do počítače, což je případ navrhovaného měřicího systému, ale i k opačné funkci, tedy k přenosu signálu z počítače do ovládaného nebo zaznamenávacího zařízení. Nejzásadnějšími výstupy a vstupy při zaznamenávání jsou následující:

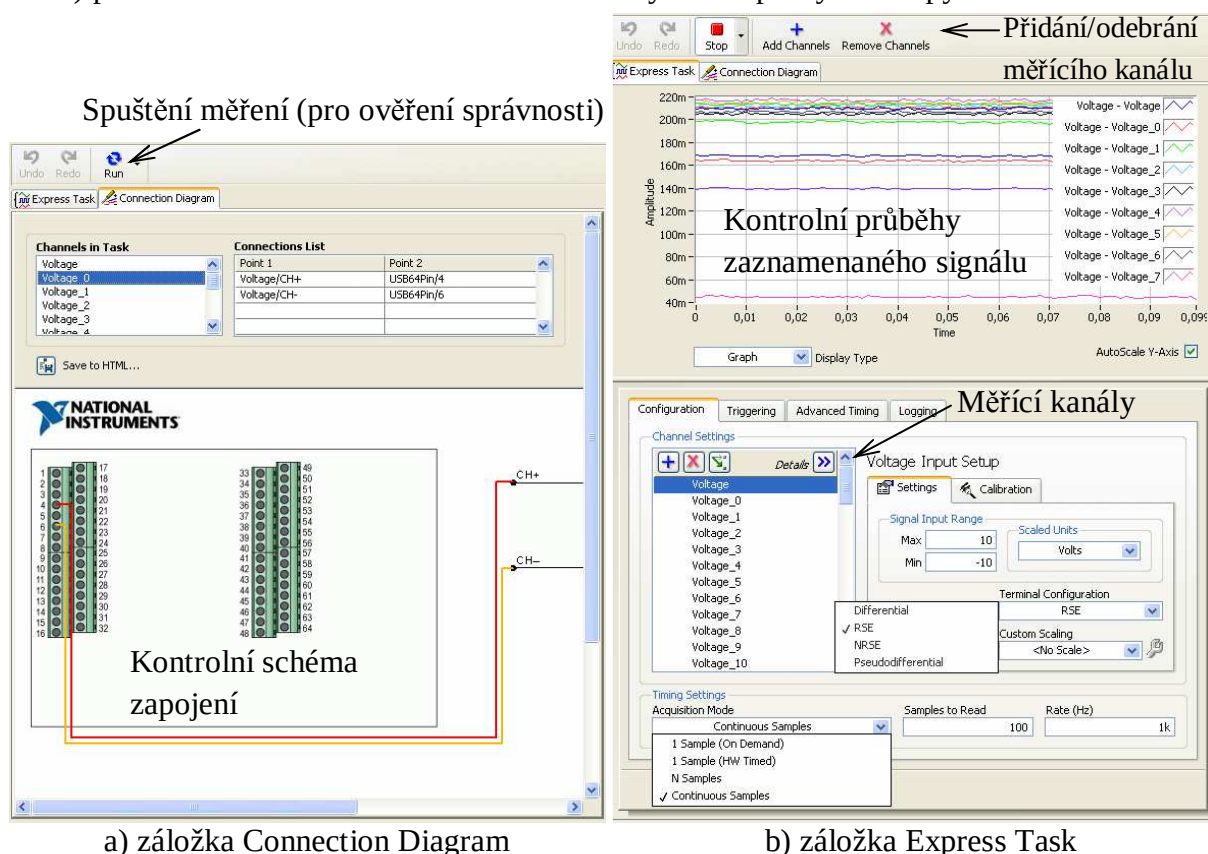


Obr.70 DAQ Assistant

- a) data – poskytuje naměřené hodnoty v různých formátech, podle počtu měřených kanálů a typu signálu,
- b) error out – obsahuje informace o případné chybě, nástroji nebo se vstupem error in pro (zacyklení) ignoraci chyby,
- c) stopped – detekuje, zda byla činnost DAQ Assistantu zastavena, nabývá pravdivostních hodnot true pro zastavený a false pro činný stav,
- d) number of sample – k zadání počtu zachycených nebo generovaných vzorků signálu,
- e) rate – určuje vzorkovací frekvenci, přesněji počet vzorků za sekundu,
- f) stop – přivedením hodnoty true na tento vstup se přeruší činnost DAQ Assistantu,
- g) timeout – určuje dobu (počet sekund), po kterou je přerušeno zaznamenávání signálu.

I když se dají některé parametry činnosti DAQ Assistanta ovládat pomocí výše popsaných vstupů, hlavní ovládací rozhraní představuje menu nastavení. Zde lze jednak v záložce Connection Diagram (obr.71a) spravovat připojené vstupy k používané měřicí kartě, ale hlavně upravovat a tabulkou či grafem kontrolovat v záložce Express Task (obr.71b) jednotlivé způsoby zaznamenávání dat, jejichž nastavení je z hlediska správnosti naměřených údajů zcela zásadní. Jedná se především o menu Terminal Configuration, pomocí nějž se volí způsoby detekce měřeného signálu. K dispozici jsou následující volby:

- differential – diferenciální zapojení sloužící k detekci rozdílu mezi hodnotami,
- RSE – pro zapojení na společnou zem (GND) a měření hodnot proti ní,
- NRSE – měření se provádí s ohledem na význam jednotlivých vstupů,
- pseudodifferential – měří rozdíl mezi kladnými a zápornými vstupy.



Obr.71 Menu nastavení pro DAQ Assistant

Pro správné zachycení výstupních signálů čidel teploty a průtoku je použita varianta RSE, tedy měření proti zemi. Použití jiné metody má za následek detekci nesmyslných hodnot.

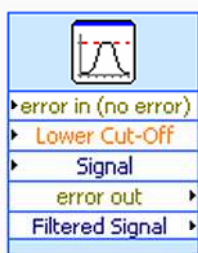
Další významnou záložkou je Timing settings, zahrnující Acquisition Mode, nebo-li režim snímání. Zde je opět možné vybrat z nabízených variant objem zaznamenávaných dat, který určuje lepší či naopak horší rozlišitelnost a kvantifikaci zaznamenaných údajů:

- 1 Sample (On Demand) – zaznamenává se pouze jedna hodnota, a to příkazem,
- 1 Sample (HW Timed) – zaznamenává se opět jedna hodnota, ale po uplynutí intervalu,
- N Samples – detekuje se určitý počet vzorků, zadaný v okně Samples to Read,
- Continuous Samples – kontinuální zaznamenávání hodnot, dané vzorkovací frekvencí.

Pro přesnější záznam je DAQ Assistant nastaven na režim snímání Continuous Samples. Nutno ovšem dodat, že zvláště u výkonově slabších PC působí tento režim dohromady s detekcí až 13 vstupů problémy a je tudíž vhodné zvolit např. možnost N Samples.

• Úprava signálu teploty

Po detekování signálu následuje jeho úprava a vizualizace pro čelní panel, aby měl uživatel během měření přehled o výši měřených veličin a také aby mohl při případném nežádoucím stavu měření ihned ukončit.



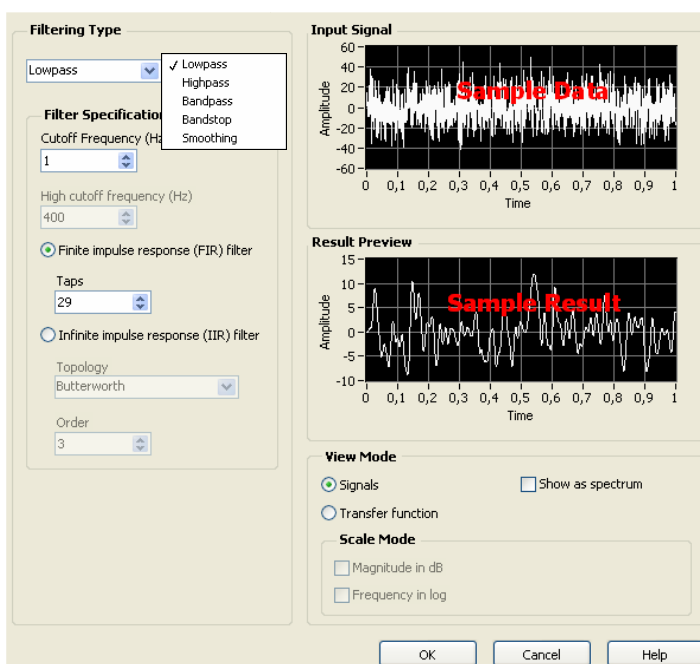
a) plné zobrazení b) ikona
Obr.72 Panel šumového filtru

Vibrace, způsobené čerpadlem a proměnná tlaková zátěž čidel způsobují, společně s nedostatky při vedení signálu do měřicí karty a do PC, zkreslení signálu, přesněji šumovou zátěž. Prvním krokem úpravy signálu, ještě před jeho vizualizací a dalším zpracováním, je tedy jeho vyčištění. To lze samozřejmě provést několika cestami. Jednou z možností je např. užití statistického zpracování detekovaných dat ve formě aritmetického průměru nebo mediánu. Účinnější metodou je ale použití šumového filtru, jehož panel je uveden na obr.72.

Podobně jako DAQ Assistanta je vybaven několika vstupy a výstupy. Kromě již popsanych error in a error out jsou to:

- a) Lower Cut-off – slouží pro nastavení spodní frekvence filtru (standardně 100 Hz),
- b) Signal – vstup filtrovaného signálu,
- c) Filtered signal – výstupní vyfiltrovaný signál.

Obr.73 představuje kartu (menu) nastavení filtru, kde je obdobně jako u předchozího nástroje možné nastavit hlavní parametry, tentokrát filtrace. V pravé části okna je možné vidět vizualizaci vstupního a výstupního vyfiltrovaného signálu s různými možnostmi zobrazení (View Mode). Standardně se pro vizualizaci používá příkladů signálů na vstupu a výstupu. Pokud je ovšem filtrace upravována po předchozím chodu programu (zpracovávání signálu), potom se namísto nich objeví reálně zachycené signály, což umožňuje účinnější filtraci. V pravé části jsou potom umístěny ovládací funkce filtru (Filtering Type). Základem je zvolení typu filtrování, pro něž jsou potom v bloku Filter Specification uvedeny další nastavující parametry. Hlavními typy filtrování tedy jsou:



Obr.73 Karta nastavení šumového filtru

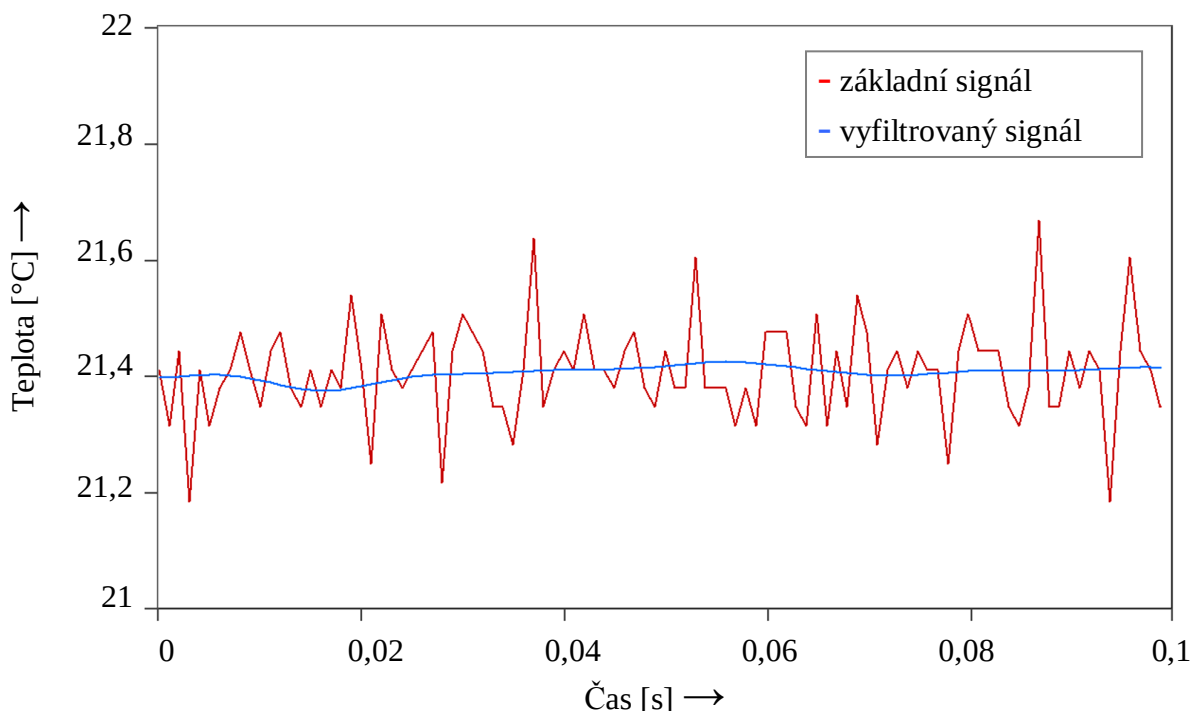
- a) Lowpass (dolní propust) – nepropouští signál vyšších frekvencí,
- b) highpass (horní propust) – nepropouští signál o nízkých frekvencích,
- c) Bandpass (pásmová propust) – propouští signál pouze daných frekvencí,
- d) Bandstop (pásmová zádrž) – zabraňuje propouštění signálů o určitých frekvencích,
- e) Smoothing (vyhlazení) – zjemnění signálu pomocí polynomické regrese.

K filtraci detekovaného napěťového signálu je použito dolní propusti s mezním kmitočtem (Cutoff Frequency) 1 Hz, který využívá konečnou impulsní odezvu (tzv. FIR filtraci) s 29 koeficienty. Způsob filtrace a uvedené pojmy lépe osvětluje vztah 4.1, který udává výslednou funkční závislost výstupního signálu.

$$y_n = b_0 \cdot x_n + b_1 \cdot x_{n-1} + \dots + b_N \cdot x_{n-N} = \sum_{i=0}^N b_i \cdot x_{n-i}, \quad (4.1)$$

kde: y_n je výstupní signál [-],
 x_n je vstupní signál [-],
 b_i jsou koeficienty filtru, které tvoří impulsní odezvy [-],
 N je řád filtru [-].

Příklad vstupního a vyfiltrovaného signálu čidla teploty je uveden na obr.74 Z něj je jasně patrné šumové zkreslení signálu teploty i křivka, generovaná filtrem, který je nutné aplikovat i s ohledem na to, aby vyfiltrovaná vyhlazená funkce respektovala skutečný průběh snímané veličiny a odstraňoval pouze šum. V opačném případě může být výsledná podoba takto upraveného signálu značně zavádějící. Úspěch a účinnost filtrace závisí také do jisté míry na počtu zaznamenaných hodnot, tedy na rozlišitelnosti údajů. V tomto ohledu je tak, jak již bylo v souvislosti s DAQ Assistantem nastíněno, nejlepší variantou kontinuální zaznamenávání hodnot.



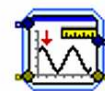
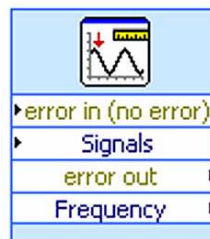
Obr.74 Časový průběh teploty s a bez použití filtru

Uvedený graf zobrazuje již přepočítané hodnoty napětí na teplotu. To se děje jednoduchým převodem, vynásobením signálu hodnotou 100 ($10 \text{ mV} \approx 1^\circ\text{C}$). Pro operaci násobení obsahuje LabVIEW konkrétní nástroj s palety numerických funkcí, nazvaný Multiply. Stejný systém, ale jiný nástroj (Add), je použit i při přičítání nebo odečítání výše zmíněné hodnoty korekce teploty.

Pro údaje vstupní a výstupní teploty je aplikováno zobrazení v podobě grafu (viz čelní panel). Hlavním důvodem je již zmíněné možné zkreslení signálu, jehož vyfiltrovaný průběh je třeba při měření sledovat. Teplotu okolí, jež je snímána bez výrazných okolních vlivů, které napomáhají zkreslení či kolísání její hodnoty, není potřeba zobrazovat graficky. Stačí pouhá číselná podoba numerickým terminálem.

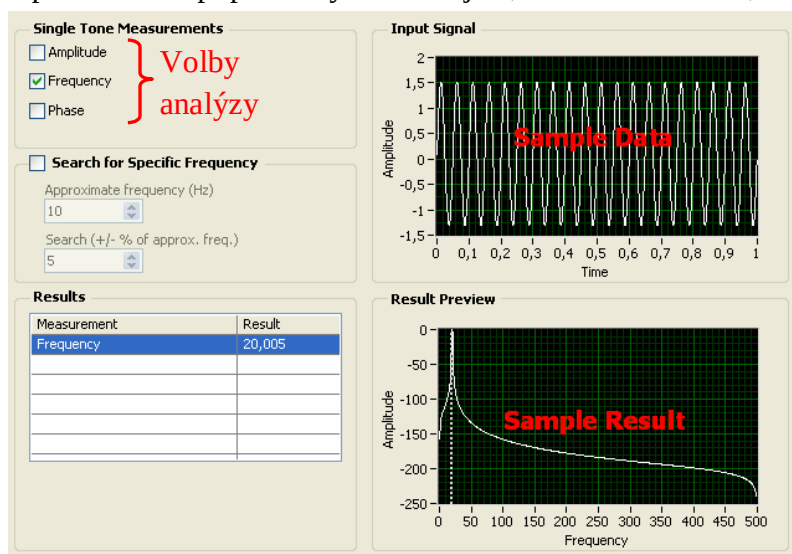
• Úprava signálu průtoku

Úprava signálu průtokoměru nevyžaduje filtraci signálů, jelikož jsou digitální data z tohoto snímače kvalitnější a navíc není v programu pracováno přímo s hodnotou jeho signálu jako takovou. Naproti tomu je ale nezbytné, jak je uvedeno při popisu použitého typu průtokoměrů, zjištění frekvence detekovaného průběhu. K tomu slouží další významný nástroj prostředí LabVIEW, nazvaný Tone Measurements, určený k základnímu analyzování signálů, zobrazený na obr.75.



a) plně zobrazení b) ikona
Obr.75 Panel analýzy signálu

Vstupem do bloku nástroje je analyzovaný signál a výstupem může být podle výběru hodnota amplitudy, frekvence nebo fáze signálu. Tyto možnosti jsou voleny, tak jako v předchozích popisovaných nástrojích, v kartě vlastností, uvedené na obr.76. V pravé části



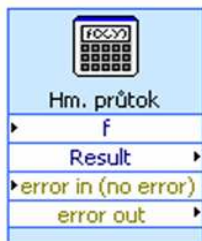
Obr.76 Karta vlastností panelu analýzy signálu

Po zjištění hodnoty frekvence se hmotnostní průtok, nutný pro výpočet tepelné účinnosti, stanoví dle přepočtu vztahem 4.2, vyplývajícím ze vzorce 3.1, a to pro hustotu vody $998 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$.

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = \rho \cdot \frac{f}{2500 \cdot 10^3}, \quad (4.2)$$

kde: f je zjištěná hodnota frekvence [Hz].

K realizaci tohoto vztahu, jakožto i stanovení objemového průtoku $\dot{V}$ pro pozdější vizualizace na čelním panelu, je použit nástroj pro tvorbu vzorců z obr.77. Menu vlastností nástroje umožňuje tvorbu vzorce s až osmi proměnnými. Lze při tom využít všech základních matematických funkcí (viz.obr.78).



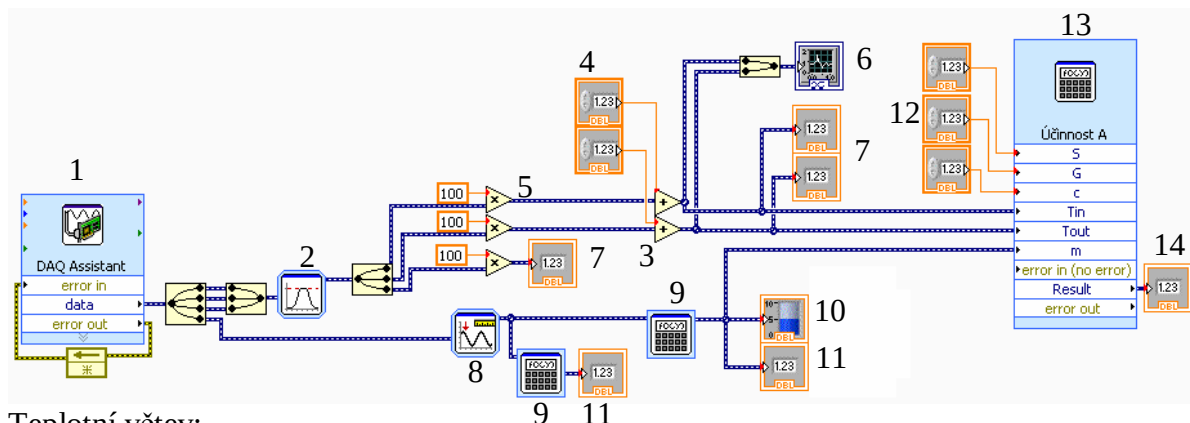
a) plně zobrazení b) ikona
Obr.77 Nástroj tvorby vzorce



Obr.78 Menu možností nástroje tvorby vzorce

• Výpočet tepelné účinnosti

Stejného nástroje, jako v případě určení hmotnostního průtoku, je užito i při výpočtu tepelné účinnosti dle vztahu 2.14. Jelikož se pro tento účel sbíhá v nástroje pro tvorbu vzorců více signálů veličin, je využito šesti vstupů pro zadané či v předchozích krocích upravené vstupní hodnoty. Celý řetězec úprav a konečného výpočtu účinnosti uvádí obr.79. Jedná se o větvení programu pro jeden měřící kanál, tedy pro jeden absorbér.



Teplotní větev:

1 – DAQ Assistant, 2 – filtrace, 3 – Multiply (násobení), 4 – zadávací terminály teplotních korekcí, 5 – Add (sčítání), 6 – grafické znázornění teploty, 7 – numerické znázornění teploty.

Průtoková větev:

8 – analýza signálu (frekvence), 9 – přepočítání frekvence na průtok (objemový a hmotnostní), 10 – grafické znázornění průtoku, 11 – numerické znázornění průtoku.

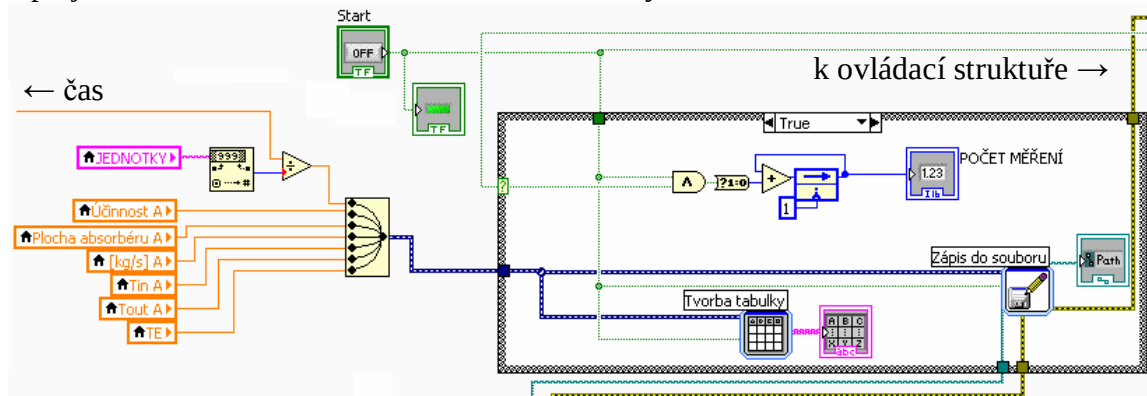
Výpočet účinnosti:

12 – zadávací terminály vstupních hodnot (plocha absorbéru, solární ozáření a měrná tepelná kapacita), 13 – výpočet účinnosti, 14 – číselné zobrazení účinnosti.

Obr.79 Blokové schéma výpočtu tepelné účinnosti

• Zapisování dat

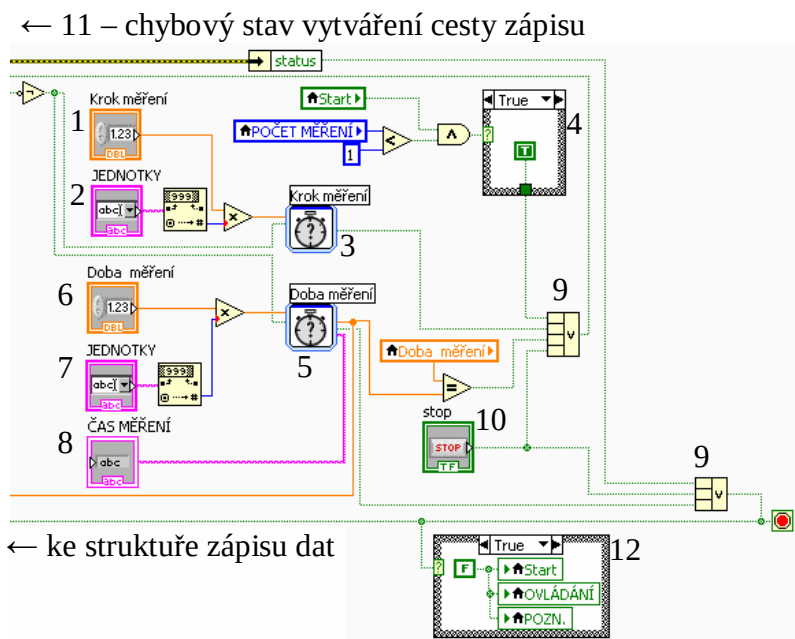
Na obr.80 je znázorněn výřez blokového schématu pro zápis informací jednoho měřícího kanálu do souboru. Jedná se o tzv. Case strukturu. Po spuštění programu a zároveň po spuštění zaznamenávání (tlačítko Start), kdy pravdivostní hodnota přiváděna ke struktuře nabývá hodnoty 1 (true), je spuštěna detekce měření, zápis přiváděných hodnot do tabulky a do předem definovaného souboru, a to až do té chvíle, kdy je program přerušen (logická 0). Pro zjednodušení a přehlednost programu se zde jako zdroj zapisovaných dat nevyužívá přímé propojení s předchozími strukturami, ale tzv. Local Variable, čili proměnná, která doplňuje vzdálené zobrazovací či zadávací terminály.



Obr.80 Blokové schéma zápisu dat do souboru

• Ovládací struktura

Samotné ovládání programu je realizováno v blokovém schématu ovládací strukturou z obr.81. Na něm je možné pozorovat dvě až tři zásadní oblasti.



Obr.81. Základní ovládací struktura blokového schématu

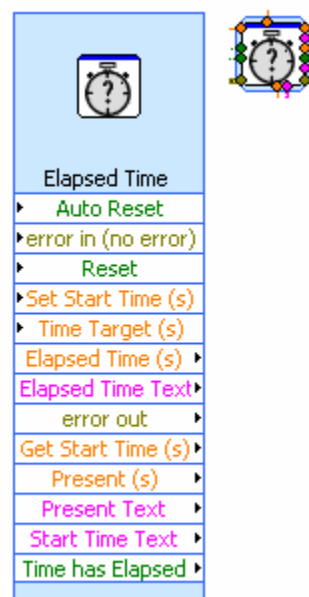
struktury pro zápis dat, popsanou v předchozím textu. Takto jsou tedy zapisována data během provádění měření. Potíže ovšem působí zaznamenání první hodnoty. U prvního záznamu je ten problém, že v okamžiku spuštění (tlačítko START) by měl ihned následovat zápis. V tomto případě je ale zaznamenání obtížně proveditelné, neboť je nutné počítat se zpožděním cca 0,02 s, podle výkonu používaného PC. To ovšem nekoresponduje s počáteční hodnotou 0 s a proto by záznam probíhal až od následující hodnoty. Proto je použito jiné řešení, a to pomocí Case struktury (4). Hodnoty měření jsou zapsány za podmínky, kdy zároveň platí: tlačítko START je sepnuté a počet měření je menší, než 1. Tím je docíleno spolehlivého záznamu ihned po spuštění bez ohledu na výkon výpočetní techniky.

Druhou oblastí je stanovení a odpočet doby měření, po jejímž vypršení dojde k zápisu posledních dat a k ukončení programu.. K tomuto účelu se opět používá nástroj Elapsed Time (5) v součinnosti se zadáváním času (6) a jednotek (7). Na výstupu je pak čas zobrazován terminálem (8).

Jak bylo výše nastíněno, zápis hodnot, tak i ukončení programu je možné provést vícero způsoby. K tomu slouží slučovací terminály logického významu or (nebo) (9). V případě zaznamenání hodnot do tabulky budoucího protokolu lze využít, kromě zmíněné cesty registrace první hodnoty, také uplynutí intervalu kroku měření uplynutí času měření nebo zastavení programu tlačítkem STOP (10). Obdobně je tomu i při ukončení programu, tedy tlačítko STOP nebo např. chyba při zadávání cesty uložení a názvu souboru (11).

Ukončovací impuls je veden také k další Case struktuře (12), která má za úkol s koncem programu obnovit výchozí nastavení ovladačů. Jedná se o vypnutí sepnutých tlačítek a kontrolky.

První je stanovení kroku měření. Zadávacím terminálem jsou zadávány údaje o intervalu (1) a o jednotkách (2). Volbám jednotek jsou následovně přiřazeny číselné ekvivalenty: hodina = 3600, minuta = 60 a sekunda = 1. Těmito, teď již číselnými, hodnotami je vynásoben zadaný interval a takto získaný údaj putuje na vstup nástroje Elapsed Time (uplynulá doba) (3), jehož rozbalený vzhled se všemi vstupy a výstupy přibližuje obr.82. Po uplynutí takto zadaného času vyše nástroj impuls, resp. logickou hodnotu true do Case



Obr.82. Elapsed Time

5 OVĚŘOVACÍ MĚŘENÍ

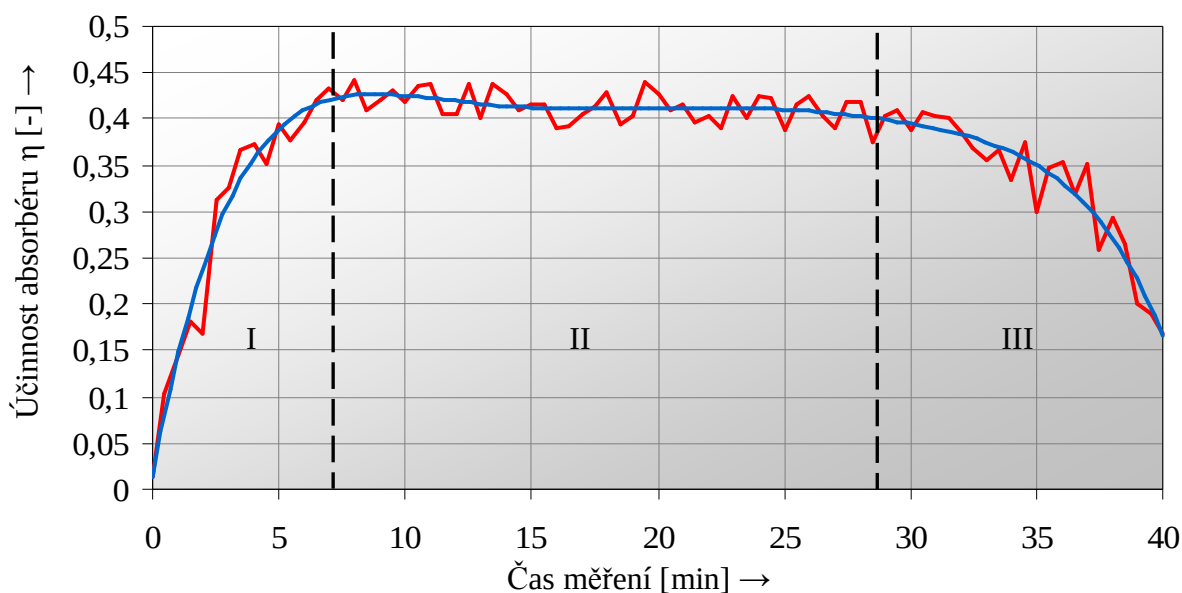
Závěrem je žádoucí ověření navržené a zkonstruované měřicí aparatury na několika vybraných konstrukčních a povrchově upravených typech absorbérů. Zároveň je tak možné získat první hodnoty tepelných účinností pro budoucí vzájemné srovnávání a vyhodnocování nejlepších kombinací tvarů a povlaků.

Výstupem každého měření tepelné účinnosti navrženým programem je protokol o měření, který kromě naměřených hodnot obsahuje též záznam o datu a čase měření, definované konstanty a poznámky. Protokoly o měření pro všechny zkoušené typy absorbérů uvádí přílohy.

Zpracování takto získaných dat spočívá jednak ve vynesení průběhu účinnosti v čase měření, což vede ke zjištění průměrné hodnoty tepelné účinnosti a dále ve vynesení účinnostní křivky jako funkce redukovaného teplotního spádu mezi střední hodnotou teploty teplotnosné látky a okolím, jak již bylo dříve vysvětleno.

5.1 Průběh účinnosti v čase

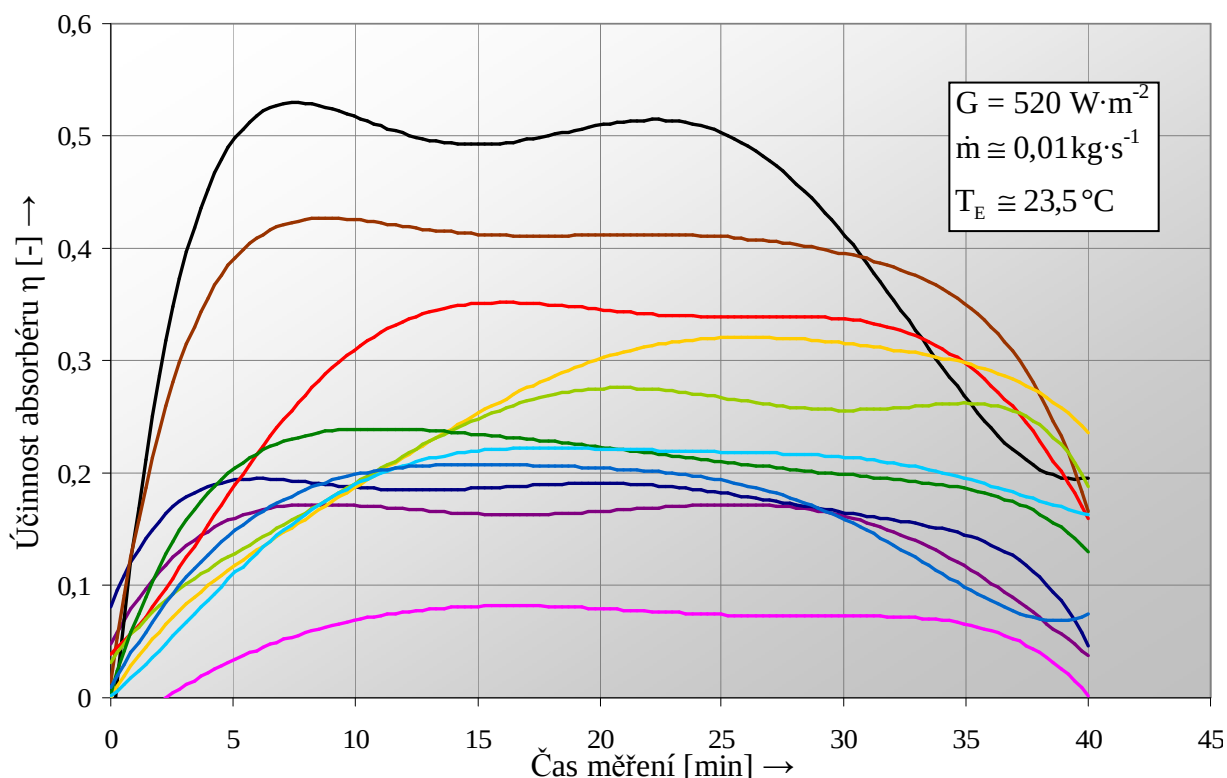
Každá křivka závislosti hodnoty tepelné účinnosti na čase, která v tomto případě představuje základní vyhodnocení experimentu, obsahuje tři základní oblasti. To dokumentuje graf na obr.83, tedy experimentálně získaný průběh účinnosti absorbérů s jehlancovitou strukturou, opatřený nátěrem barvy RABSORB 5, při ozáření $520 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Vykreslená křivka je proložena polynomem 6. stupně (modře), která vykazuje nejvyšší hodnotu spolehlivosti regrese. Proložení polynomem napomáhá i lepší orientaci v jednotlivých oblastech přechodů stoupání a klesání grafu a tím i k přesnějšímu stanovení intervalu pro výpočet průměrné účinnosti.



Obr.83. Časový průběh účinnosti jehlancovitého absorbérů s nátěrem RABSORB 5

Z grafu je patrný nejprve poměrně strmý nárůst účinnosti v oblasti I, který trvá přibližně 7 minut. Po tomto časovém úseku dojde k ustálení (oblast II) s relativně konstantní účinností. Právě při ustáleném stavu lze stanovit průměrnou hodnotu tepelné účinnosti, která v tomto případě činí cca 0,42. V momentě, kdy je do absorbérů přiváděná voda ohřátá natolik, že ji absorbér již nedokáže dále ohřívat, dochází i díky setrvačnosti naakumulovaného tepla v absorbérů k pozvolnému účinnostnímu poklesu v oblasti III.

Průběh účinnosti byl zjišťován celkem u 11 absorberů, resp. u 6 typů povrchů a povlaků vždy pro dvě varianty prolisů absorpční strany absorberů (žebrovité a jehlancovité prolisy). K ozáření zkoušených vzorků byl ve všech případech použit výše zmíněný zářič JNSB-20Y4 s aktivovanou prostřední trubicí, což dle tab.16 pro vzdálenost zářiče od konstrukce s absorberem 300 mm odpovídá globálnímu solárnímu ozáření $520 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Podrobnější záznamy účinností jsou uvedeny v příloze 8. Pokud je aplikováno polynomičké proložení zjištěných závislostí, jsou získány průběhy zobrazené na obr.84. Ve všech případech bylo díky vyššímu spolehlivostnímu koeficientu použito proložení polynomy 6. stupně, jak již bylo výše naznačeno.



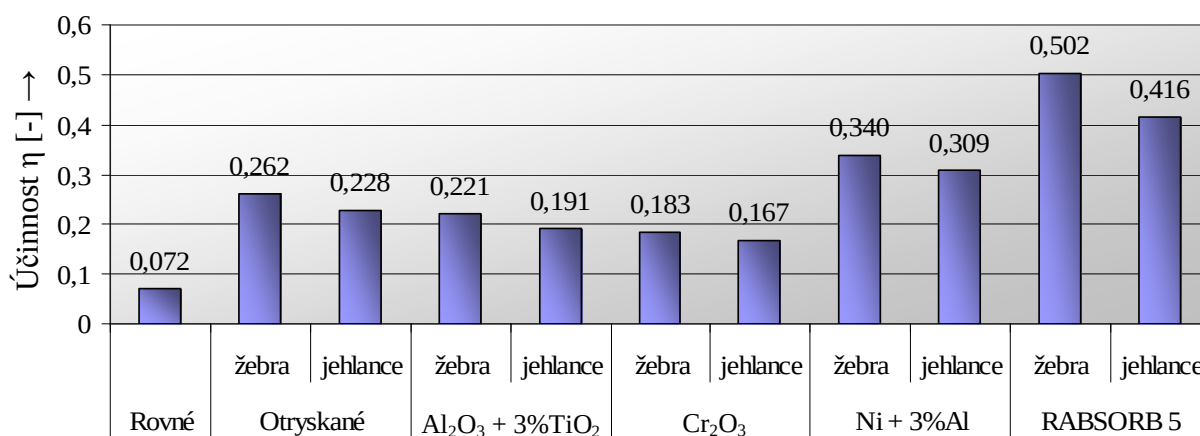
■ RABSORB 5 – žebrovitá struktura, ■ RABSORB 5 – jehlancovitá struktura, ■ Ni + 3%Al – žebrovitá struktura, ■ Ni + 3%Al – jehlancovitá struktura, ■ otryskáno – žebrovitá struktura, ■ otryskáno – jehlancovitá struktura, ■ $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\%\text{TiO}_2$ – žebrovitá struktura, ■ $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\%\text{TiO}_2$ – jehlancovitá struktura, ■ Cr_2O_3 – žebrovitá struktura, ■ Cr_2O_3 – jehlancovitá struktura, ■ bez úpravy – rovný povrch.

Obr.84 Průběhy účinností zkoumaných absorberů v čase

Z vynesných závislostí je patrné, že nejvyšší účinnost vykazují povrchy opatřené nátěrem barvy RABSORB 5. Z nich se zdá být nejefektivnější povrch s žebrovitými prolisy, jenž disponuje oproti jehlancovité struktuře větší absorpční plochou ($0,0297 \text{ m}^2$ oproti $0,0288 \text{ m}^2$). Vyšší účinnost žebrovité struktury oproti jehlancům je ale zřejmá i u ostatních povrchů. Vždy v každé dvojici stejnou metodou upravených povrchů vykazují žebrovité prolisy vyšší účinnost. Nutno ovšem podotknout, že měření probíhala při kolmém dopadu záření na absorbéry. Při změně úhlu dopadu paprsků se mohou výsledky lišit. Navíc je zřejmé, že zkoušené absorbéry nedosahují maximálních hodnot běžně používaných kolektorů (0,7 až 0,8). Oproti nim totiž nejsou zkoušené absorbéry vybaveny izolací ani zasklením pro zmenšení tepelných ztrát.

Na opačném pólu se nacházejí hodnoty účinnosti, zjištěné u absorberu s rovným, nijak neupravovaným povrchem, u kterého účinnostní křivka nepřesahuje ani hodnotu 0,1. Obdobně, i když přeci jen lépe, se jeví povlak Cr_2O_3 , především u jehlancovitého povrchu.

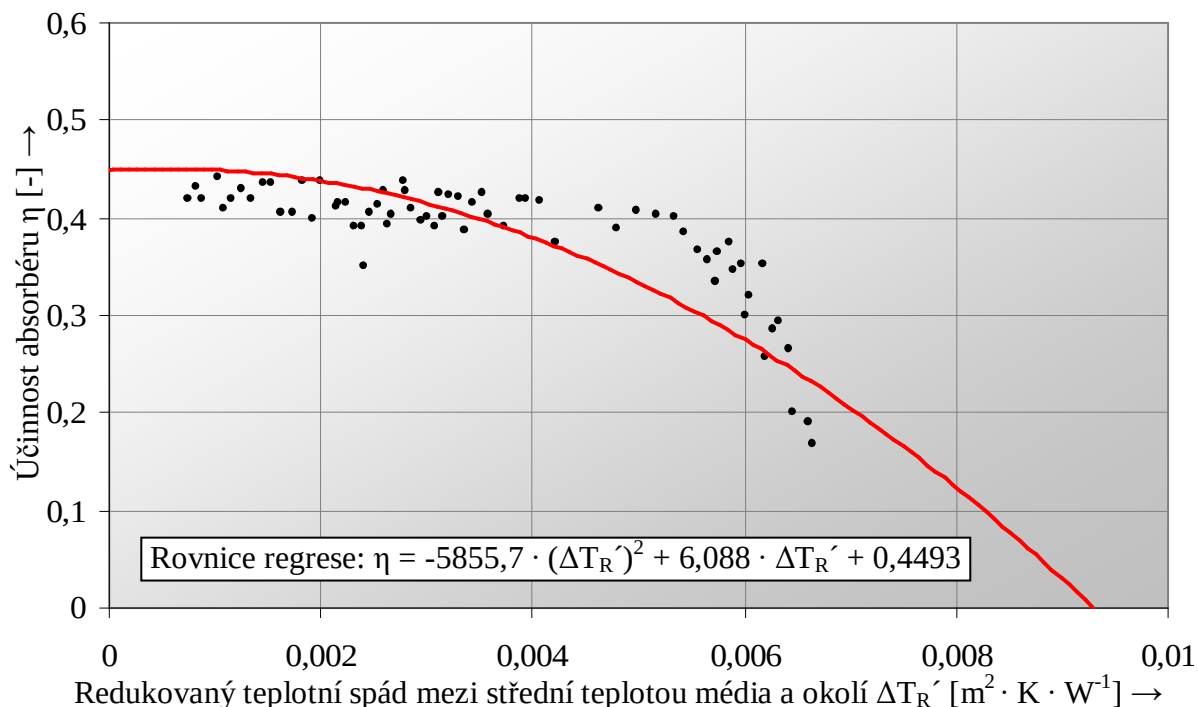
Po separaci oblastí ustáleného stavu každého vzorku a zprůměrování hodnot se dospěje k číselnému vyjádření výše uvedených grafických závislostí pro dané podmínky zkoušení, které jen podtrhuje nesporné přednosti použitého nátěrového systému RABSORB. Výsledky této analýzy jsou zobrazeny ve sloupcovém grafu na obr.85.



Obr.85 Hodnoty tepelných účinností jednotlivých typů absorbérů

5.2 Proložení regresní křivkou

Druhou, při normovaném měření více využívanou, možností uvádění účinnosti je vykreslení její závislosti na redukovaném teplotním spádu mezi střední hodnotou teploty teplotnosné látky a teploty okolí $\Delta T_R'$, která je určena vztahem 2.11. Příklad tvorby této křivky uvádí obr.86, který představuje opět naměřené a vypočtené hodnoty pro absorbér jehlancovité struktury, s nátěrem barvy RABSORB 5.

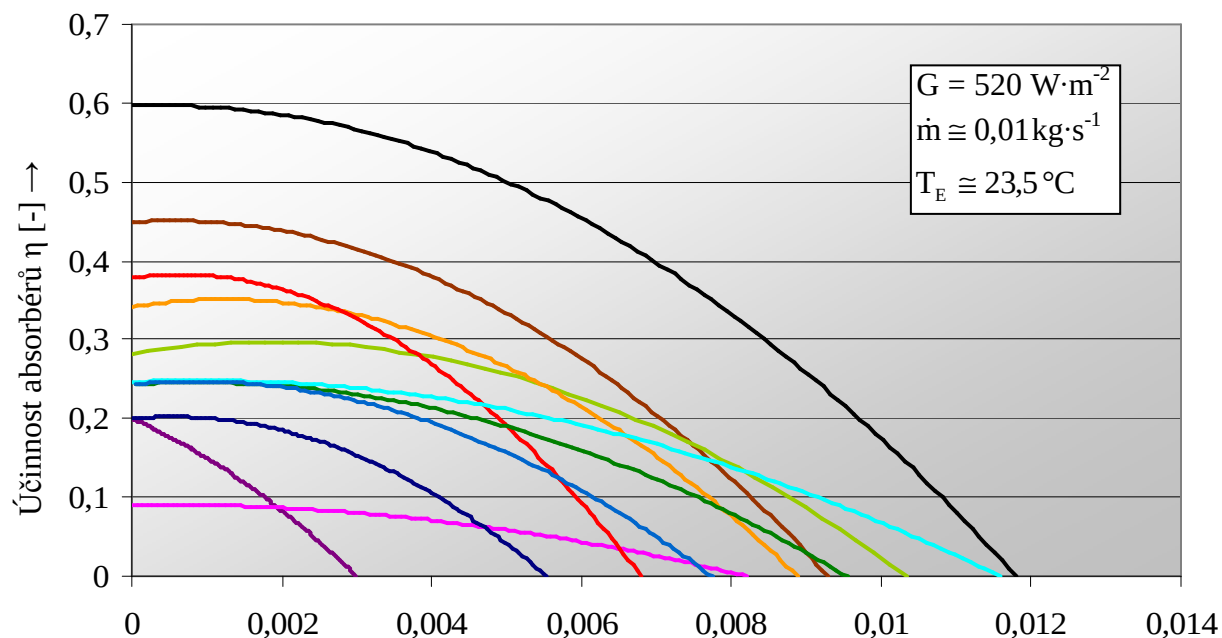


Obr.86 Závislost účinnosti na $\Delta T_R'$ proložená regresní křivkou

Cílem je získání rovnice regresní křivky-paraboly, které odpovídá vyjádření účinnosti dle rovnice 2.15, resp. 2.16. Za použití těchto vztahů lze pro tento konkrétní absorbér psát:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \Delta T_R' - a_2 \cdot (\Delta T_R')^2 = 0,4493 + 6,088 \cdot \Delta T_R' - 5855,7 \cdot (\Delta T_R')^2.$$

Z tohoto zápisu jednoznačně vyplývá hodnota maximální účinnosti kolektoru při nulovém redukovaném teplotním rozdílu $\eta_0 = 0,4493$, ale také oba dva koeficienty rovnice účinnosti, lineární součinitel tepelných ztrát kolektoru $a_1 = -6,088 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$ a kvadratický součinitel tepelných ztrát kolektoru $a_2 = 5855,7 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^2$. Regresní křivky všech 11 zkoušených vzorků uvádí obr.87. V tab.20 jsou potom zaznamenány hodnoty η_0 a_1 a a_2 z rovnic regrese.



Redukované teplotní spády mezi středními teplotami média a okolí $\Delta T_{R'} [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \rightarrow$
 ■ RABSORB 5 – žebrovitá struktura, ■ RABSORB 5 – jehlancovitá struktura, ■ Ni + 3%Al – žebrovitá struktura, ■ Ni + 3%Al – jehlancovitá struktura, ■ otryskáno – žebrovitá struktura, ■ otryskáno – jehlancovitá struktura, ■ $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\%\text{TiO}_2$ – žebrovitá struktura, ■ $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\%\text{TiO}_2$ – jehlancovitá struktura, ■ Cr_2O_3 – žebrovitá struktura, ■ Cr_2O_3 – jehlancovitá struktura, ■ bez úpravy – rovný povrch.

Obr.87 Závislosti účinností absorberů na $\Delta T_{R'}$ proložené regresními křivkami

I z tohoto znázornění tepelných účinností, i když není tak přesně určené jako předchozí, vyplývá jednoznačná převaha vzorků s nátěrem RABSORB, a to v celém tepelném rozsahu (redukovaném teplotním spádu).

Tab.20 Zjištěné hodnoty η_0 a_1 a a_2 z rovnic regrese vzorků absorberů

	Rovné	Otryskané		$\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\%\text{TiO}_2$		Cr_2O_3		Ni + 3%Al		RABSORB 5	
		žebra	jehlance	žebra	jehlance	žebra	jehlance	žebra	jehlance	žebra	jehlance
η_0	0,091	0,2821	0,2432	0,2462	0,2431	0,205	0,2	0,378	0,342	0,596	0,4493
a_1	-0,761	-15,580	-5,536	-3,951	-8,752	-8,777	-41,667	-13,081	-14,443	-3,911	-6,088
a_2	1442,8	4145,5	3250,5	2177,2	5191,3	8100,9	8333,3	10098	5952	4604,3	5855,7

Pro správnou aplikaci prolození naměřených dat je potřeba použít jen ty experimentálně zjištěné hodnoty, které neobsahují náběhovou část (I), ale pouze části II a III, tedy ustálený stav a pokles účinnosti. Je tedy jasné, že v tomto případě, kdy je znatelný určitý rozptyl naměřených hodnot a data jsou zaznamenávána v relativně krátkém časovém úseku s nízkým intervalem teplot teplosnosného média, je obtížné stanovit regresní křivku zcela přesně. Tudíž se jedná spíše o velmi hrubé, orientační hodnoty. Metoda není pro tento případ tak jednoznačná, navíc je mnohem pracnější, než pouhé vynesení závislosti účinnosti na čase, které pro srovnávání absorberů zcela postačuje. Je ovšem již standardizovaným postupem uvádění tepelné účinnosti absorberů, proto ji nelze zcela opomenout.

6 ZÁVĚRY

Za účelem experimentálního stanovení tepelné účinnosti nově vyvinutých typů solárních absorberů a jejich porovnání byl navržen, sestaven a ověřen měřicí systém, zahrnující kromě vlastní měřicí aparatury rovněž vývoj měřicího software.

Při návrhu měřicí aparatury bylo vycházeno z normy ČSN EN 12975-2. Důraz byl kladen především na průběžné zaznamenávání údajů teploty teplonosné látky na vstupu i výstupu absorberů a jejího průtoku. K tomuto účelu byly použity elektronické teplotní snímače LM35DZ a průtokoměry Biotech FCH-m-POM-LC. Díky možnosti připojení zářiče JNSB-120Y4 k výkyvné konstrukci s absorberem lze měření provádět nejen za přirozeného slunečního svitu ve venkovním prostředí, ale též v interiéru. Pro distribuci signálů všech čidel do PC i jejich současné napájení laboratorním zdrojem Matrix DPS-3205TK-3 byl použit modifikovaný multifunkční měřicí modul NI USB-6221.

K realizaci měřicího software bylo použito vývojové prostředí LabVIEW. Navrhovaný program umožňuje díky uživatelskému rozhraní vkládání vstupních dat, okamžitou vizualizaci měřených a vypočtených hodnot i jejich zápis do souboru – protokolu o měření.

Dále bylo provedeno ověření funkčnosti navrženého systému měřením a porovnáním účinností různých konstrukčních typů absorberů s rozdílnými absorpčními povrchy. Jednalo se o absorbery rovné, jehlancovitě a žebrovitě perforované s aplikací otryskání, nátěru absorpční barvy RABSORB 5 a povlaků $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\%\text{TiO}_2$, Cr_2O_3 a $\text{Ni} + 3\%\text{Al}$.

Z výsledků provedené analýzy zcela jednoznačně vyplývá vhodnost použití nátěru barvy RABSORB 5, který vykazuje nejvyšší hodnoty účinnosti, a to jak u jehlancovité, tak také u žebrovitě perforace absorberu. Rovněž povlak $\text{Ni} + 3\%\text{Al}$ dosahuje relativně dobrých výsledků. Naproti tomu povlakování povrchu absorberu materiálem Cr_2O_3 se ukázalo být, obzvláště u jehlancovité struktury, nedostatečným.

I když má navrhovaný způsob zjišťování a porovnávání tepelné účinnosti své nedostatky, především rozptyl naměřených hodnot a tím i jisté zkreslení při určování účinnostních křivek, ověřovací měření prokázala, že pro srovnávání různých typů absorberů je zcela postačující. Výhodou měřicího systému je především jeho flexibilita, mobilita, možnost online získávání dat, elektronická archivace výsledků, přímé zobrazení dosahované účinnosti již během měření i fakt, že lze měřit účinnost až u čtyř vzorků absorberů najednou.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [3]

1. 150392-FCH-m-POM-LC. *Conrad: Produktinfo* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/150392-da-01-ml-DURCHFLOSSM_FCH_M_POM_LC_ANSCHL_6MM_de_en.pdf
2. BECHNÍK, Bronislav. Solární ohřev venkovních bazénů. *TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 9.2. 2009 [cit. 2013-05-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/5400-solarni-ohrev-venkovnich-bazenu/>
3. *Citace.com: naučte se citovat* [online]. ©2004-2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.citace.com/>
4. CM11. *Meteorologická stanice CZU* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://meteostanice.agrobiologie.cz/figs/cm11.pdf>
5. CME Czech Nature Energy, a. s.: Úvod do termických systémů. *CME Czech Nature Energy, a. s.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/solarni-ohrev-vody/uvod-do-termickych-systemu/>
6. ČSN EN 12975-2. *Tepelné solární soustavy a součásti - Solární kolektory - Část 2: Zkušební metody*. ČNI, 2006.
7. DUFFIE, John A. a William A. BECKMAN. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4. vyd. New York: Wiley, 2013, 936 s. ISBN 978-0-470-87366-3.
8. EURO INOX. *Korozivzdorné oceli: vlastnosti* [online]. © 2002 [cit. 2013-05-14]. ISBN 2-87997-082-2. Dostupné z: http://www.euroinox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf
9. GPJ 600-2800 zahradní čerpadlo Matrix. Ivo GRANDIČ [online]. © 2005-2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.grandic.cz/cerpadla-ponorna-zahradni-domaci-vodarny-matrix-gpj-600-2800-zahradni-cerpadlo-matrix>
10. Graphical Programming. *National Instruments* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/12255/en/>
11. Halogen Heater (JNSB-120Y4 Series). *Ningbo Jasun Electrical Appliance* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://cixijasun.en.made-in-china.com/product/hbHQsjNuMicS/China-Halogen-Heater-JNSB-120Y4-Series-.html>
12. HOUDKOVÁ ŠIMŮNKVÁ, Šárka, Radek ENŽL a Olga BLÁHOVÁ. *Žárové nástřiky. Katedra materiálu a strojírenské metalurgie: Strojní fakulta ZČU* [online]. [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://www.kmm.zcu.cz/CD/content/5.html>
13. HRUBEŠOVÁ, Alena. Druhy slunečních kolektorů. [online]. s. 6 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/01_Pozemni%20stavitelstvi/1_04_Technicka%20zarizeni%20a%20energie%20budov/Hrubesova_Alena.pdf
14. *Junkers* [online]. © 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.junkers.cz/pro_odborniky/cenik/regenerativni_energie/nove_solarni_vakuove_kolektory_junkers/nove_solarni_vakuove_kolektory_junkers;jsessionid=AD8D3AC74ED2C669449493EC3DFC1400
15. KALCÍK, Karel. Epoxy 1200 známé - neznámé. *MoNaKo* [online]. 22. 2. 2006 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.mo-na-ko.net/clanky3/123_Epoxyd/clanek.htm
16. KENNEDY, C.E. *Review of Mid- to High-Temperature Solar Selective Absorber Materials*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2002. NREL/TP-520-31267.

17. KM SOLAR PLAST: plastový sluneční kolektor. *Instalsolar* [online]. © 2010 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://www.instalsolar.cz/km-solar-plast-plastovy-slunecni-kolektor.html>
18. KUBÍČEK, Jaroslav, Ladislav DANĚK, Eva ŠKŇOUŘILOVÁ a Libor MRŇA. Vliv povlaků žárových nástřiků a úprav povrchu na absorpci slunečního záření. *Kovárenství*. Brno: Svaz kováren ČR, září 2012, č. 44, s. 4. ISSN 1213-9289.
19. Laoratorní zdroj Matrix DPS-3205TK-3. *DOVEDA BOYS* [online]. © 1998 - 2011 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://doveda.sweb.cz/zdroj_dps-3205tk-3/index.htm
20. LabVIEW Real-Time Module Support. *National Instruments* [online]. © 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/psp/app/doc/p/id/psp-515/lang/cs/>
21. LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors (Rev. B). *Texas Instruments* [online]. 2000 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
22. M Series Multifunction DAQ for USB - 16-Bit, 250 kS/s, up to 80 Analog Inputs. *National Instruments* [online]. © 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-10/>
23. MATUŠKA, Tomáš. Multifunkční solární kolektory pro integraci do budov. *TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 12. 10. 2009 [cit. 2013-05-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/5964-multifunkcni-solarni-kolektory-pro-integraci-do-budov>
24. MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-3525-2.
25. MATUŠKA, Tomáš. Statistika solárního trhu III. - Česko. *TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 30. 6. 2011 [cit. 2013-05-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7613-statistika-solarniho-trhu-iii-cesko>
26. Možnosti laického posouzení slunečních kolektorů. *SANMAX* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://www.sanmax.cz/Firma/Kolektory.aspx>
27. MRŇA, Libor a Miloš KŘIVAN. Technologie výroby deskového solárního absorbéru laserovým svařováním a nízkotlakým hydroformingem. *Kovárenství*. Brno: Svaz kováren ČR, září 2012, č. 44, s. 4. ISSN 1213-9289.
28. NOVOTNÝ, Vladimír. Solární sestavy (KIT IVAR SOLAR). *TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 4. 8. 2008 [cit. 2013-05-14]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4998-solarni-sestavy-kit-ivar-solar>
29. PODANÝ, Kamil, Zdeněk LIDMILA a Bronislav RUDOLF. Výroba povrchově strukturovaného solárního absorbéru nepevným nástrojem. *Kovárenství*. Brno: Svaz kováren ČR, září 2012, č. 44, s. 4. ISSN 1213-9289.
30. PUR Tubes. *Öberg Innovation* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.oberginnovation.se/uploads/pdf/luftslang/PUR-slang.pdf>
31. PV potential estimation utility. *European Commission: Joint Research Centre* [online]. [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
32. RIPKA, Pavel, Stanislav ĎAĎO, Marcel KREIDL a Jiří NOVÁK. *Senzory a převodníky*. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03123-3.
33. RUDOLF, B. *Lisování prolisů v austenitickém nerezavějícím plechu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 61 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

34. Senzory průtoku. *Katedra Měření: České vysoké učení technické v Praze - Fakulta elektrotechnická* [online]. ©2008-2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/predmety/x38ssd/07_Prutok.pdf
35. Simultaneous Measurements of Thermal Difusivity and Thermal Conductivity of Ceramic Coating at High Temperature by Laser Flash Method. In: *Thermal Conductivity 30*. Lancaster: DEStech Publication, 2010, s. 10. ISBN 978-1-60595-015-0.
36. Solar Collectors: Different Types and Fields of Application. *Solar Server: photovoltaic, solar heating, solar power* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://www.solarserver.com/knowledge/basic-knowledge/solar-collectors.html>
37. *Solar Energy Technologies* [online]. 2009 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://is.njit.edu/competition/2009/Cat2_2_Winner_Group142/about.html
38. Solar heating system - Solar thermal collector and installation. *Solar panels and solar energy, green energy, wind turbines* [online]. 2012 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.newtobegreen.com/green-energy/solar-panels/solar-heating-system>
39. Solární kolektory. *Energetický poradce PRE* [online]. [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/cs/uspory-energie/ohrev-vody/solarni-kolektory>
40. Stock Photo: side view of SEGS solar thermal energy desert electricity plant with parabolic mirrors concentrating the sunlight with blue sky copy space. *Stock Photos and Royalty Free Image Subscription from 123RF Stock Photography* [online]. © 2006-2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.123rf.com/photo_12716344_side-view-of-segs-solar-thermal-energy-desert-electricity-plant-with-parabolic-mirrors-concentrating.html
41. ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie. *Transformační technologie* [online]. 2006-, 2013-02 [cit. 2013-05-13]. ISSN 1804-8293. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>
42. ŠLOSŘ, Michal. *Návrh nástroje pro tváření kuželových prolisů v austenitickém nerezovém plechu*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
43. Technologie Heat Pipe. *Unikonsol* [online]. © 2009 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://unikonsol.com/unisolarenergy/technologieheatpipe/59-technologie-heat-pipe.html>
44. Technology: Introduction. *Synova* [online]. [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://www.synova.ch/technology/introduction>
45. Tepelná trubice - Heat Pipe. EUROHOLDING BOHEMIA, s.r.o. *Solární vakuové trubicové kolektory Pramen* [online]. © 2012 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://www.agenia.cz/trubice.html>
46. Tepelná vodivost pevných látek. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/uchi/e_tabulky/tepvods.html
47. The online catalogue. *Legris.com* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://www.legris.com/Legris_ecom/RechercherGroupesActivite.do?codeActivite=BP&codeFiliale=czech
48. *Veelman sp. z o. o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.veelman.com/>
49. VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: BEN, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a_1	lineární součinitel tepelných ztrát kolektoru	$[W \cdot m^2 \cdot K]$
a_2	kvadratický součinitel tepelných ztrát kolektoru	$[W \cdot m^2 \cdot K^2]$
A_5	tažnost	$[\%]$
A_B	plocha bočních stěn kolektoru	$[m^2]$
A_C	referenční plocha kolektoru	$[m^2]$
b_i	koeficienty filtru	$[-]$
c_f	měrná tepelná kapacita teplotnosného média	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
c_p	měrná tepelná kapacita stěny kolektoru	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
C_{SPOJ}	tepelná propustnost spoje	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
D_e	vnější průměr trubky s teplotnosným médiem	$[m]$
D_i	vnitřní průměr trubky s teplotnosným médiem	$[m]$
f	frekvence generovaná průtokoměrem	$[Hz]$
f_o	poloha ohniska vůči svařovanému povrchu	$[mm]$
F	standardní účinnost jednoho žebra kolektoru	$[-]$
F'	účinnostní součinitel kolektoru	$[-]$
G	globální sluneční ozáření	$[W \cdot m^{-2}]$
G_B	přímé sluneční ozáření	$[W \cdot m^{-2}]$
G_D	difúzní sluneční ozáření	$[W \cdot m^{-2}]$
GND	zemnění	$[-]$
$h_{f,i}$	součinitel přestupu tepla mezi trubkou a teplotnosnou látkou	$[K]$
$\dot{m}$	hmotnostní průtok teplotnosného média	$[kg \cdot s^{-1}]$
N	řád šumového filtru	$[-]$
P	svařovací výkon	$[W]$
Q^{Ar}	průtok ochranné atmosféry (argonu)	$[l \cdot s^{-1}]$
$\dot{Q}_S$	sluneční ozáření absorpční plochy kolektoru	$[W]$
$\dot{Q}_U$	odvedený užitečný tepelný tok	$[W]$
$\dot{Q}_{ZO}$	ztrátový tepelný tok vlivem optických ztrát	$[W]$
$\dot{Q}_{ZT}$	ztrátový tepelný tok vlivem tepelných ztrát	$[W]$
R	rezistivita	$[\Omega]$
R_m	mez pevnosti	$[MPa]$
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	$[MPa]$
T_{ABS}	střední povrchová teplota absorbéru	$[K]$
T_E	teplota okolního vzduchu	$[K]$
T_{IN}	teplota teplotnosného média na vstupu do absorbéru	$[K]$
T_M	střední teplota teplotnosné látky	$[K]$
T_{OUT}	teplota teplotnosného média na výstupu do absorbéru	$[K]$
U	celkový součinitel prostupu tepla kolektorem	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_B	součinitel prostupu tepla bočními stěnami kolektoru	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_{NAP}	napájecí stejnosměrné elektrické napětí	$[V]$
U_{OUT}	výstupní stejnosměrné elektrické napětí	$[V]$
U_P	součinitel prostupu tepla přední stranou kolektoru	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_Z	součinitel prostupu tepla zadní stranou kolektoru	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
v	svařovací rychlost	$[mm \cdot s^{-1}]$
$\dot{V}$	objemový průtok	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
W	rozteč trubek kolektoru	$[m]$
x_n	vstupní signál šumového filtru	$[-]$
y_n	výstupní signál šumového filtru	$[-]$

Označení	Legenda	Jednotka
α	pohltivost slunečního záření absorbérem	[-]
α_T	pohltivost	[-]
δ	tloušťka lamely absorbéru	[m]
ΔT_R	redukovaný teplotní spád mezi povrchem absorbéru a okolím	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
$\Delta T_R'$	teplotní spád mezi T_M a okolím	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
ε	poměrná deformace	[-]
ε_T	emisivita	[-]
η	tepelná účinnost kolektoru	[-]
η_0	účinnost kolektoru při nulovém redukovaném teplotním rozdílu	[-]
κ_θ	modifikátor úhlu dopadu záření	[-]
λ	tepelná vodivost	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
ρ	měrná hmotnost	$[kg \cdot m^{-3}]$
σ	napětí	[MPa]
τ	propustnost slunečního záření případným zasklením	[-]
τ_C	časová konstanta kolektoru	[s]

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr.1 Příklady solárních kolektorů	9
Obr.2 Schéma činnosti solárního tepelného systému	10
Obr.3 Základní rozdělení solárních kolektorů	11
Obr.4 Hybridní uspořádání vzduch-kapalina tepelných solárních kolektorů.....	11
Obr.5 Změna propustnosti jednoduchého zasklení aplikací antireflexních povlaků	12
Obr.6 Vliv zasklení na účinnost kolektoru při konstantním slunečním ozáření	12
Obr.7 Příklad plastového absorbéru	13
Obr.8 Průřezy plastových absorbérů	13
Obr.9 Srovnání účinnostních křivek různých materiálů absorbéru a jeho povlaků	14
Obr.10 Příklad trubicového kolektoru	15
Obr.11 Příklady uspořádání absorbérů trubicových kolektorů	15
Obr.12 Princip tepelné trubice	15
Obr.13 Příklady konstrukce trubicových kolektorů	16
Obr.14 Využití odrazových ploch u trubicových kolektorů	16
Obr.15 Koncentrační solární kolektory	16
Obr.16 Fresnellova čočka	17
Obr.17 Schéma plochého solárního kolektoru	17
Obr.18 Varianty trubkového registru plochých kolektorů	17
Obr.19 Možnosti napojení absorbér-trubka	18
Obr.20 Řešení styku absorpční plochy a trubky	19
Obr.21 Přímé protékané absorbéry	19
Obr.22 Strukturované povrchy absorbérů	19
Obr.23 Absorbér se strukturovaným povrchem	19
Obr.24 Průběh tahové zkoušky oceli X5CrNi18-10	20
Obr.25 Schéma lisovacího nástroje	20
Obr.26 Ukázky vylisovaných částí absorbéru	21
Obr.27 Princip technologie Flowdrill	21
Obr.28 Svařovací přípravek	21
Obr.29 Svařovací přípravek pro přitlačení plechů	21
Obr.30 Vydutí absorbéru	22
Obr.31 Parametry svařování	22
Obr.32 Povrch absorbéru s nástřikem barvy RABSORB 5	22
Obr.33 Řez žárovým nástřikem	23
Obr.34 Příklady variant tvarů a povrchů absorbérů	23
Obr.35 Energetická bilance kolektoru	24
Obr.36 Obecný tvar účinnostní křivky tepelného solárního kolektoru	26
Obr.37 Energetická bilance plochého zaskleného kolektoru	27
Obr.38 Příklad uzavřeného zkušební okruhu	28
Obr.39 Proložení naměřených hodnot regresní křivkou-parabolou	30
Obr.40 Použitý zkušební okruh	31
Obr.41. Sestava čerpadla	32
Obr.42 Použitý vstupní a výstupní rozváděč	33
Obr.43 Princip rychloupínače hadic	33
Obr.44 Čidlo LM35DZ	34
Obr.45 Odstranění impedanční zátěže	35
Obr.46 Zapojení teplotního čidla LM35 a DIN konektoru	35
Obr.47 Postup zapouzďení teplotních čidel	35
Obr.48 Zapouzďené čidlo	36
Obr.49 Úsek měření výstupní teploty teplosměnného média	36

Obr.50 Snímač teploty okolí absorbérů	36
Obr.50 Snímač teploty okolí absorbérů	36
Obr.51 Použitý průtokoměr	37
Obr.52 Zapojení svorek průtokoměru FCH-m-POM-LC	38
Obr.53 Úsek měření vstupní teploty a průtoku	38
Obr.54 Podíl jednotlivých druhů záření při proměnlivém sklonu	39
Obr.55 Interaktivní mapa průměrného slunečního ozáření	40
Obr.56 Základní typy pyranometrů	41
Obr.57. Terčíkový pyranometr Kipp & Zonen CM11	41
Obr.58 Zářič připevněný ke kostře měřicího systému	42
Obr.59 Laboratorní zdroj Matrix	43
Obr.60 Měřicí karta NI USB-6221 s čelním panelem	44
Obr.61 Schéma zapojení měřicího obvodu	44
Obr.62 Detailní zobrazení propojovacích částí měřicí karty	45
Obr.63 Systém pro měření tepelné účinnosti vzorků absorbérů bez přídavného zářiče	46
Obr.64 Příklad virtuálního nástroje LabVIEW	48
Obr.65 Čelní panel navrhovaného programu	49
Obr.66 Blok Zadané hodnoty čelního panelu	50
Obr.67 Měřicí blok čelního panelu	50
Obr.68 Blok Ovládání čelního panelu	51
Obr.69 Blok Zapisovaná data čelního panelu	51
Obr.70 DAQ Assistant	52
Obr.71 Menu nastavení pro DAQ Assistant	53
Obr.72 Panel šumového filtru	54
Obr.73 Karta nastavení šumového filtru	54
Obr.74 Časový průběh teploty s a bez použití filtru	55
Obr.75 Panel analýzy signálu	56
Obr.76 Karta vlastností panelu analýzy signálu	56
Obr.77 Nástroj tvorby vzorce.....	56
Obr.78 Menu možností nástroje tvorby vzorce	56
Obr.79 Blokové schéma výpočtu tepelné účinnosti	57
Obr.80 Blokové schéma zápisu dat do souboru	57
Obr.81. Základní ovládací struktura blokového schématu	58
Obr.82. Elapsed Time	58
Obr.83. Časový průběh účinnosti jehlancovitého absorbéru s nátěrem RABSORB 5	59
Obr.84 Průběhy účinností zkoumaných absorbérů v čase	60
Obr.85 Hodnoty tepelných účinností jednotlivých typů absorbérů	61
Obr.86 Závislost účinnosti na $\Delta TR'$ proložená regresní křivkou	61
Obr.87 ávislosti účinností absorbérů na $\Delta TR'$ proložené regresními křivkami	62

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tab.1 Plocha instalovaných solárních kolektorů v ČR v m ²	18
Tab.2 Chemické složení oceli X5CrNi18-10 v %	20
Tab.3 Mechanické vlastnosti oceli X5CrNi18-10	20
Tab.4 Fyzikální vlastnosti oceli X5CrNi18-10	20
Tab.5 Parametry při svařování dílců absorbérů	22
Tab.6 Použité přídatné materiály žárových nástřiků	23
Tab.7 Zkušební podmínky měřených veličin	29
Tab.8 Parametry čerpadla MATRIX GPJ 600-2800	32
Tab.9 Zvolené hadice typu PUR C98A	32
Tab.10 Parametry teplotního čidla LM35DZ	34
Tab.11 Parametry pryskyřice EPOXY 1200	35
Tab.12 Parametry průtokoměru FCH-m-POM-LC	38
Tab.13 Hodnoty celkového slunečního ozáření	39
Tab.14 Základní parametry pyranometru Kipp & Zonen CM11	42
Tab.15 Technická data zářiče JNSB-120Y4.....	42
Tab.16 Hodnoty globálního ozáření zářičem JNSB-120Y4	43
Tab.17 Parametry laboratorního zdroje Matrix DPS-3205TK-3	43
Tab.18 Parametry měřicí karty NI USB-6221	44
Tab.19 Základní datové typy v LabVIEW	49
Tab.20 Zjištěné hodnoty η_0 a_1 a a_2 z rovnic regrese vzorků absorbérů	62

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Vlastnosti vybraných selektivních povrchů
Příloha 2 – Zkoušené typy absorbérů
Příloha 3 – Struktury aplikovaných absorpčních povrchů zkoušených absorbérů
Příloha 4 – Technická specifikace teplotního čidla LM35
Příloha 5 – Technická specifikace průtokoměru FCH-m-POM-LC
Příloha 6 – Příklad výsledků kalkulace ozáření dle PGIS pro Brno v měsíci dubnu
Příloha 7 – Technická specifikace měřicí karty NI USB-6221
Příloha 8 – Grafické znázornění naměřených hodnot účinnosti zkoušených typů absorbérů
Příloha 9 – Příklad protokolu o měření pro dvoukanálové měření
Příloha 10 – Blokové schéma vyhodnocovacího programu

PŘÍLOHA 1 [16]

Vlastnosti vybraných selektivních povrchů

Rank	Material	Substrate	Fabrication	Absorptance α	Emittance ε (100°C)	Stability (°C) Vacuum Air	Commercial Product
2	TSSS ¹	Al	Paint	0.92	<0.015	<135	Solariselect
2	PbS	Al	Evaporation Pyrolysis	0.93-0.99	0.21-0.10	200	
2	NiCrO _x	SS ² Cu/ Polyamide	Sputtering	0.8 0.92-0.93	0.14 0.06	<200 <200	
2	Colored SS	SS	Chemical conv.	0.62-0.93	0.1	<200	SEL, INCO
2	Black nickel NiS-ZnS	Steel Ni coated steel	Electrodeposition	0.88-0.96	0.03-0.10	<200	Maxorb
3	Ni-Sn	Cu	Electrodeposition /Sol-gel	0.92-0.98	0.08-0.25	300	Black Crystal
3	Graphitic films <i>a</i> -C:H /Cr <i>a</i> -C:H	Cu Al	MF-pulsed PVD/PECVD	0.92 0.876	0.025 0.061	250 250	
3	Ge in silicon Si binder PbS	Cu or SS	Paint	0.91 0.83 0.96	0.7 0.7 0.7	300	
3	Ag dielectric	Al	Biomimetic sol-gel			300	
3	Black copper BiCu-Cu ₂ O:Cu	Cu	Electrodeposition	0.97-0.98	0.02	370 250	
3	Black chrome Cr-Cr ₂ O ₃	Ni-Cu Cu steel	Electrodeposition	0.97	0.09	400 350	MTI ChromeCoat Energie Solaire
3	Mo/ Cr ₂ O ₃			0.95	<0.30	425	
3	TiN _x O _y	Cu	ARE	0.92	0.06	400	Thermomax
2	CuFeMnO ₄ /silica	Glass,Si	Sol-gel	0.6	~0.29-0.39		
1	Cr,Fe,Mo,SS,Ta, Ti, W silicides	Bulk Cu Sputtered Cu	DC reactive sputtering	0.76-0.82 0.81-0.86	0.02-0.3	400 250	
1	Cr,Fe,Mo,SS,Ta, Ti, W carbides	Bulk Cu Sputtered Cu	DC reactive sputtering	0.76-0.81 0.84-0.90	0.02 0.035-0.06	400 250	
3	Ni-NiO _x	Al	reactive sputtering	0.96	0.10	300	Sunstrip
3	Ni pigmented Al ₂ O ₃	Al	Anodization	0.85-0.97	0.08-0.21	300-400	TeknoTerm Energi Showa

Rank =Should material be investigated for CSP applications 1= Yes, 2=No, 3=Maybe

TSSS¹= Thickness-sensitive spectrally selective

SS²=stainless steel

PŘÍLOHA 2

Zkoušené typy absorbérů

1/3

Rovný neperforovaný absorbér:

a) vrchní absorpční strana

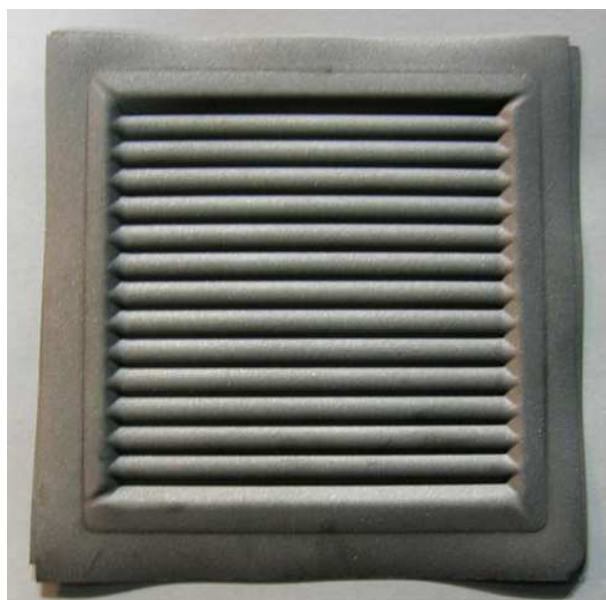


b) spodní strana

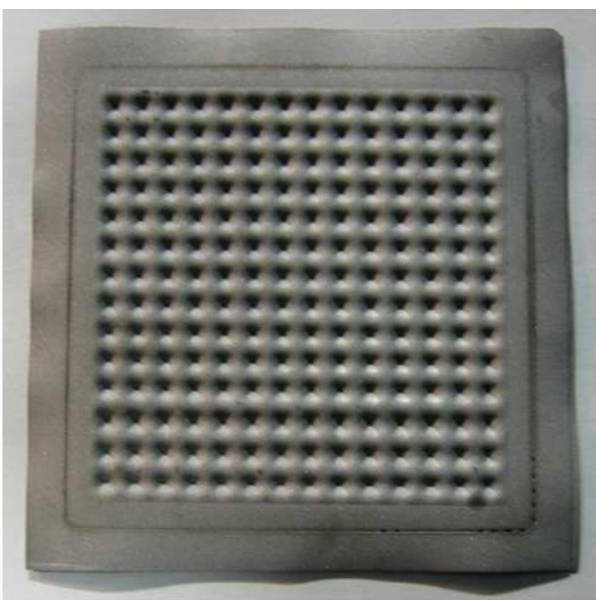


Otryskané vzorky absorbérů:

a) žebrovitý povrch



b) jehlancovitý povrch



PŘÍLOHA 2

Zkoušené typy absorbérů

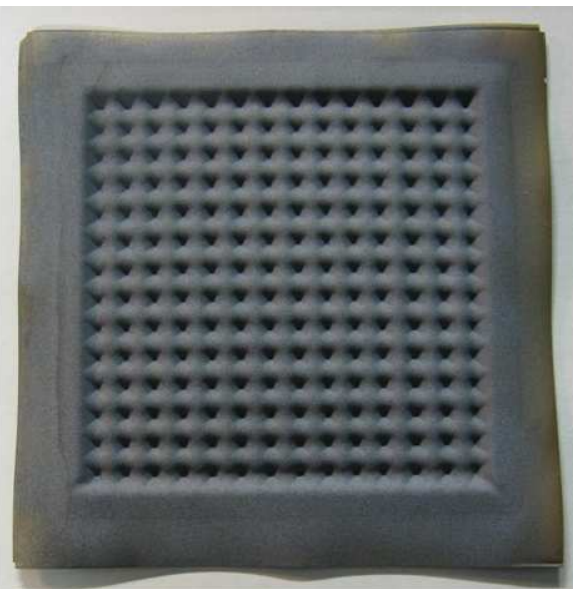
2/3

Absorbéry s povlakem $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\%\text{TiO}_2$:

a) žebrovitý povrch



b) jehlancovitý povrch



Absorbéry s povlakem Cr_2O_3 :

a) žebrovitý povrch



b) jehlancovitý povrch



PŘÍLOHA 2

Zkoušené typy absorbérů

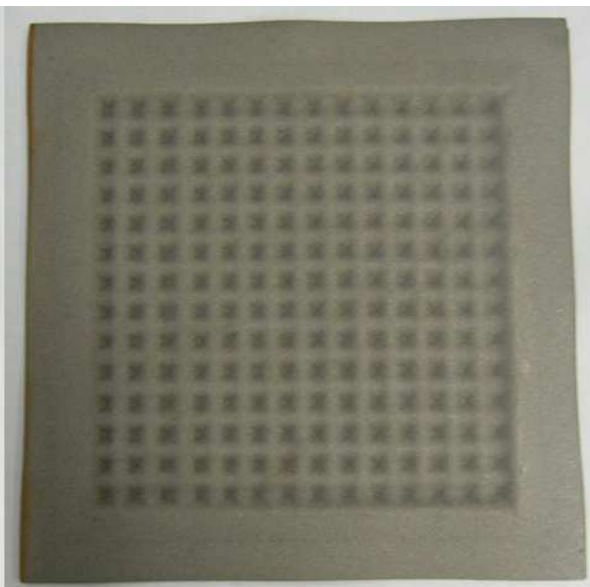
3/3

Absorbéry s povlakem Ni + 3%Al:

a) žebrovitý povrch



b) jehlancovitý povrch

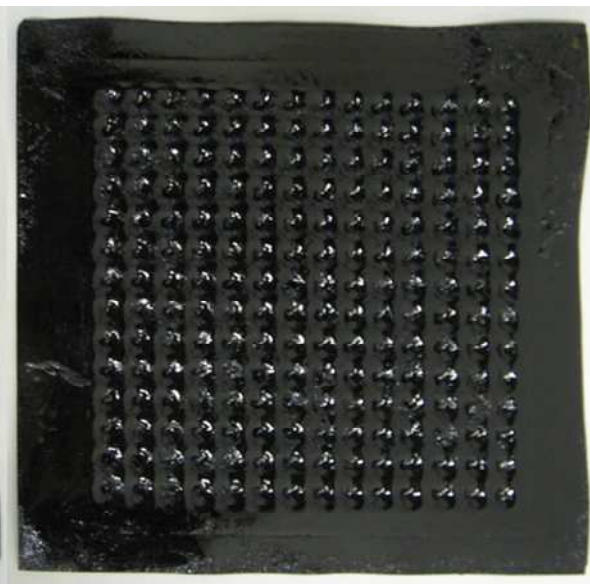


Absorbéry s nátěrem barvy RABSORB 5:

a) žebrovitý povrch



b) jehlancovitý povrch

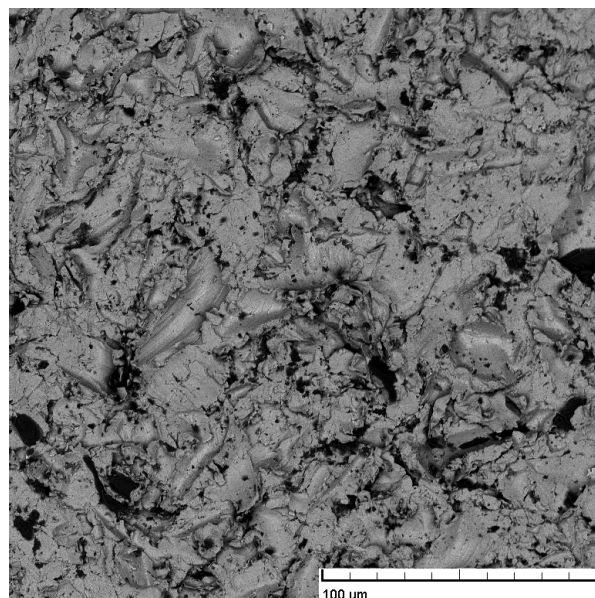


PŘÍLOHA 3

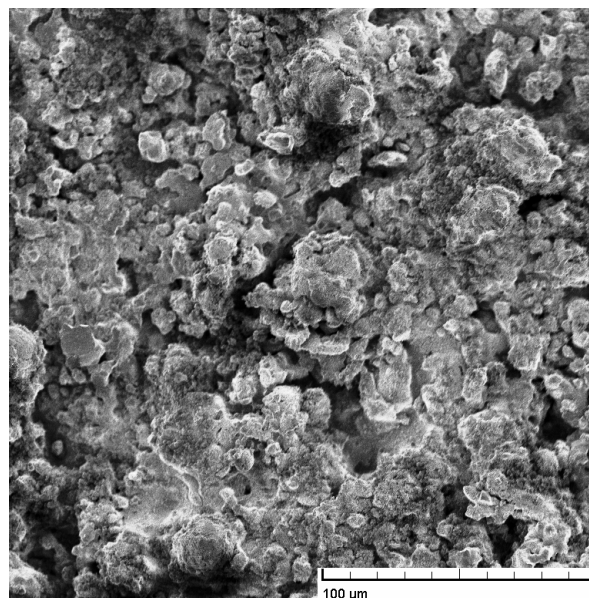
3/3

Struktury aplikovaných absorpčních povrchů zkoušených absorbérů

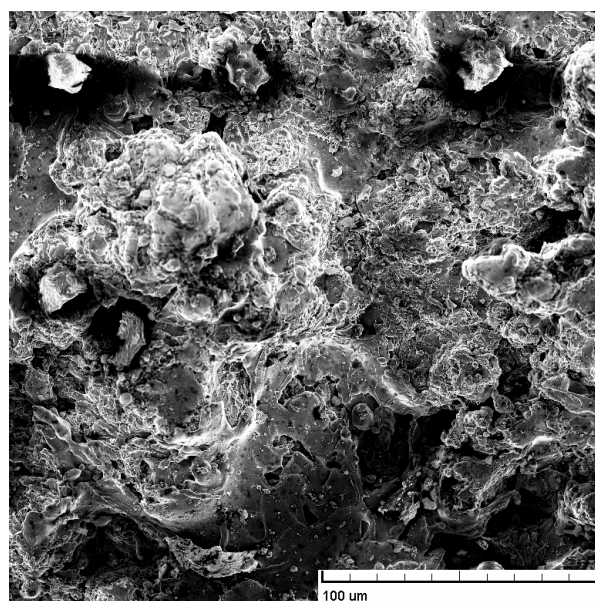
Otryskaný povrch (elektronový mikroskop)



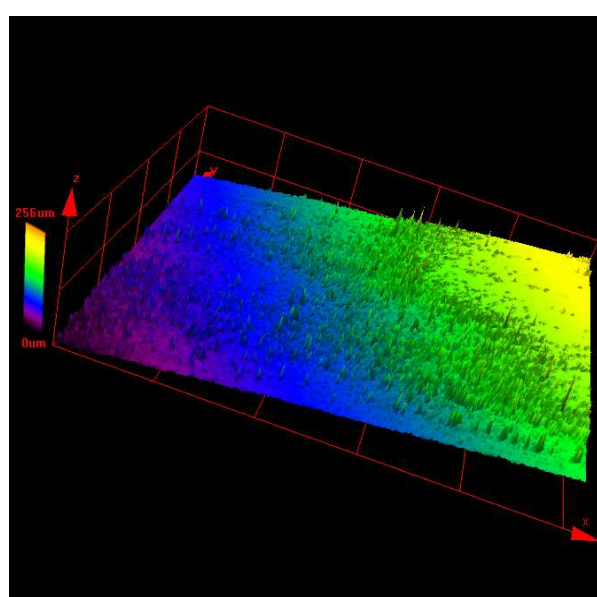
Povlak Cr_2O_3 (elektronový mikroskop)



Povlak Ni + 3%Al (elektronový mikroskop)



Nátěr RABSORB 5 (konfokální mikroskop)



General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\text{ }\mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\text{ mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\text{ }\mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\text{ }\Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

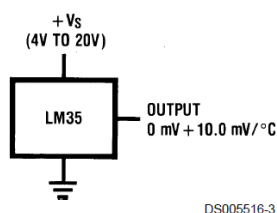
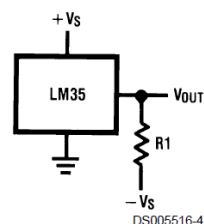


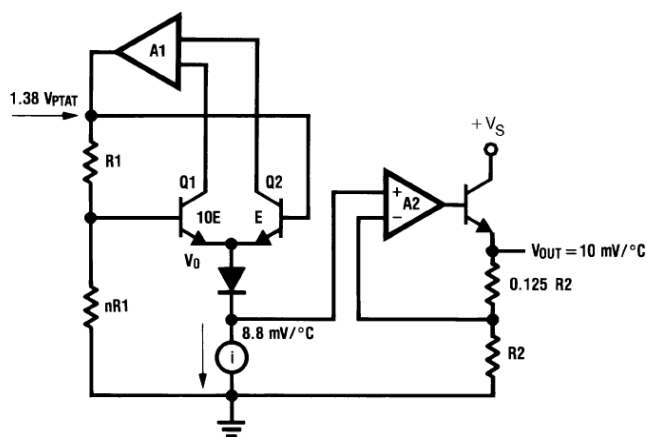
FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\text{ }\mu\text{A}$
 $V_{OUT} = +1,500\text{ mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\text{ mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\text{ mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Block Diagram



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

Z03A (Rev G)

**TO-92 Plastic Package (Z)
Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
NS Package Number Z03A**

PŘÍLOHA 5 [1]

Technická specifikace průtokoměru FCH-m-POM-LC

Mini Durchflussmesser Low Flow Flowmeter

Technische Daten Messprinzip	Technical specification	Anwendung: Wasser, Diesel, Heizöl und sonstige nicht aggressive Medien. Application: Water, Diesel, Oil and other non aggressive, aqueous liquids.
Messprinzip	Measurement principle	Turbine
Abtastsystem	Sensing principle	Hall Sensor/ Hall effect, non-contacting
Ausgangssignal	Output: square wave	NPN open-collector sinking (2 x I/U)
Durchflussrichtung	Flow direction	in Pfeilrichtung / at arrow-direction
Durchflussbereich L/min.	Flow range LPM	0,05 – 3,0 L/ min (H ₂ O bei / at 22°C)
Düse	Nozzle	D= 3,0 mm integriert/ integrated
Impulszahl/ Liter	Pulses output/ Litre	ca. 2.500 Imp./L / H ₂ O 20°C
Viskosität der Medien ν	Viscosity ν	0,5 - 10 mPas
Messgenauigkeit ($\nu = 1$ mPas)	Accuracy ($\nu = 1$ mPas)	+/- 2% (bei gleichen Betriebsbedingungen)
Wiederholgenauigkeit	Repeatability of frequency response	+ - 0,5 % (bei gleichen Betriebsbedingungen) + - 0,5 % (at the same operating conditions)
Betriebs/ Berstdruck p_{max}	Continuous-/ Burst in pressure	-0,7- 4 bar / 10 bar (bei / at 22°C)
Betriebstemperatur	Running temperature	-20°C... + 80°C
Einbaulage	Installation position	beliebig / any
Anschluss	Port Connection	2x D 6 mm Schlauchanschluss / Hose-c.
Material / Rotor / O-Ring	Materials/ Rotor/ Gasket	POM-natur / PVDF / FKM
Achse / Lagerung	Axle/ Bearing	Achse / Axle= PVDF
Spannungsversorgung	Voltage supply	5- 24 VDC max.
Strombelastung I_{max}	Output current I_{max}	25 mA max.
Gebergewicht	Weight	25 Gramm (incl. connector)
Abmessung in mm	Dimensions in mm	s. Zeichnung / see drawing

Serie: FCH-m-POM-LC
Art.-Nr: 150392



Lieferumfang: Durchflussmesser,
Gegenstecker mit Kontakten u. Düse
D= 1,6 mm.
Connector with crimp contacts and
nozzle D= 1,6 mm included

Durchflussmengen und Impulse:
Flow rate and Pulses /Litre:

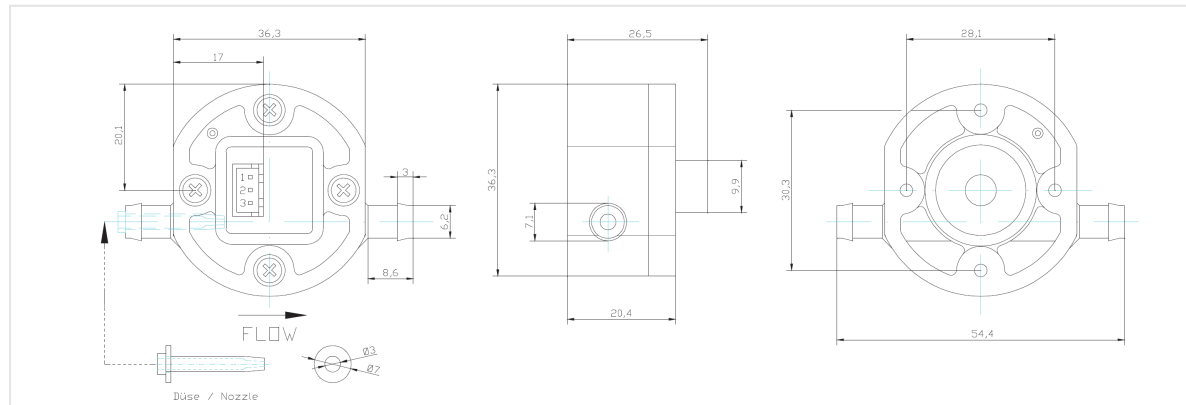
Q1 = 0,03 – 1,8 L/min., Düse: 1,6 mm
K= 8.500 Imp./L, Pulses / Litre

Q2 = 0,05 – 3,0 L/min., Düse: 3 mm
K= 2.500 Imp./L, Pulses / Litre

Steckerbelegung /
Electrical connection



R* = nicht integriert/ not integrated
(für / for PNP use pull-up R*>= 1k6)



PŘÍLOHA 6 [30]

Příklad výsledků kalkulace ozáření dle PGIS pro Brno v měsíci dubnu

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Inclination of plane: 35 deg.

Orientation (azimuth) of plane: 0 deg.

Time	G	G _d	G _c	DNI	DNI _c	A	A _d	A _c
09:07	489	194	709	392	747	613	208	944
09:22	517	199	756	400	762	624	211	959
09:37	543	204	801	407	776	633	214	972
09:52	566	208	841	413	787	640	215	982
10:07	588	211	878	418	797	646	217	991
10:22	606	214	911	423	806	652	218	998
10:37	622	216	939	427	813	656	219	1000
10:52	636	218	963	430	819	659	219	1010
11:07	647	219	982	432	824	662	220	1010
11:22	655	220	997	434	827	664	220	1020
11:37	660	221	1010	435	829	665	220	1020
11:52	663	221	1010	436	831	665	220	1020
12:07	663	221	1010	436	831	665	220	1020
12:22	660	221	1010	435	829	665	220	1020
12:37	655	220	997	434	827	664	220	1020
12:52	647	219	982	432	824	662	220	1010
13:07	636	218	963	430	819	659	219	1010
13:22	622	216	939	427	813	656	219	1000
13:37	606	214	911	423	806	652	218	998
13:52	588	211	878	418	797	646	217	991
14:07	566	208	841	413	787	640	215	982
14:22	543	204	801	407	776	633	214	972
14:37	517	199	756	400	762	624	211	959
14:52	489	194	709	392	747	613	208	944
15:07	459	187	658	383	730	601	205	927
15:22	427	180	605	373	711	587	201	907
15:37	393	172	549	362	689	570	195	883
15:52	359	164	492	349	665	551	190	856
16:07	323	154	434	334	637	530	183	825
16:22	286	143	376	318	607	505	175	789
16:37	248	132	317	300	572	477	165	747
16:52	211	119	260	279	532	445	155	699
17:07	175	106	205	256	488	409	143	644

G: Global irradiance on a fixed plane (W/m^2), G_d: Diffuse irradiance on a fixed plane (W/m^2), G_c: Global clear-sky irradiance on a fixed plane (W/m^2), DNI: Direct normal irradiance (W/m^2), DNI_c: Clear-sky direct normal irradiance (W/m^2), A: Global irradiance on 2-axis tracking plane (W/m^2), A_d: Diffuse irradiance on 2-axis tracking plane (W/m^2), A_c: Global clear-sky irradiance on 2-axis tracking plane (W/m^2).

PŘÍLOHA 7 [21]

Technická specifikace měřicí karty NI USB-6221

General	
Product Family	Multifunction Data Acquisition
Form Factor	USB
Operating System/Target	Windows
DAQ Product Family	M Series
Measurement Type	Quadrature encoder , Voltage
RoHS Compliant	Yes
USB Power	External-Powered
Analog Input	
Channels	16 , 8
Single-Ended Channels	16
Differential Channels	8
Resolution	16 bits
Sample Rate	250 kS/s
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V - 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	3100 μ V
Maximum Voltage Range Sensitivity	97.6 μ V
Minimum Voltage Range	-200 mV - 200 mV
Minimum Voltage Range Accuracy	112 μ V
Minimum Voltage Range Sensitivity	5.2 μ V
Number of Ranges	4
On-Board Memory	4095 samples
Analog Output	
Channels	2
Resolution	16 bits
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V - 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	3230 μ V
Minimum Voltage Range	-10 V - 10 V
Minimum Voltage Range Accuracy	3230 μ V
Update Rate	833 kS/s
Current Drive Single	5 mA
Digital I/O	
Bidirectional Channels	24
Timing	Software , Hardware
Maximum Clock Rate	1 MHz
Logic Levels	TTL
Input Current Flow	Sinking , Sourcing
Output Current Flow	Sinking , Sourcing
Programmable Input Filters	Yes
Supports Programmable Power-Up States?	Yes
Current Drive Single	24 mA
Current Drive All	448 mA
Supports Pattern I/O?	Yes
Maximum Input Range	0 V - 5 V
Maximum Output Range	0 V - 5 V
Counter/Timers	
Counters	2
Maximum Range	0 V - 5 V
Max Source Frequency	80 MHz
Pulse Generation	Yes
Resolution	32 bits
Timebase Stability	50 ppm

PŘÍLOHA 8

Grafické znázornění naměřených hodnot účinnosti zkoušených typů absorbérů

Podmínky zkoušky: $G = 520 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, $\dot{m} \approx 0,01 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$, $T_E \approx 23,5^\circ \text{C}$

