



**TECHNICKÝ SKÚŠOBNÝ
ÚSTAV PIEŠŤANY, š.p.**

Krajinská cesta 2929/9, 921 01 Piešťany, Slovenská republika



SNAS

Reg. No. 009/S-047

Skúšobňa TSÚ - Skúšobňa strojov a výrobných zariadení

Tel.: +421-33-7957 219

Fax: +421-33-7723716

E-mail: svz@tsu.sk

www.tsu.eu

POS.: 210700002/PQ

Page: 1 from 25
Count of annex:0

TEST REPORT

No: 210700002/PQ

Test name / Názov skúšky : **THERMAL PERFORMANCE, DURABILITY AND RELIABILITY**
SKÚŠKA TEPELNÉHO VÝKONU, TRVANLIVOSTI A SPOLAHLIVOSTI

Test subject – name / Predmet skúšky : **Flat plate solar collector**
- názov Plochý solárny kolektor

Type - marking / Typ- označenie : **TS 500**

Manufacturer (name & address) : THERMO/SOLAR Žiar s.r.o., Na vartičke 14, 965 01 Žiar nad Hronom
Výrobca (názov a adresa)

Client - Applicant (name & address) / Objednávateľ-žiadateľ (názov a adresa) : THERMO/SOLAR Žiar s.r.o., Na vartičke 14, 965 01 Žiar nad Hronom

Order – application number / Číslo objednávky - žiadosti : 210700002

Testing location / Miesto vykonania skúšky : TSÚ Piešťany, š.p., Krajinská cesta 2929, 92101 Piešťany, Slovakia; www.tsu.sk

Test – procedure method / Identifikácia použitých metód a postupov : MPS 05/3.1/2018, EN ISO 9806:2017;


Date of test performance / Dátum vykonania skúšky : 06/2021 – 08/2021

Distribution / Rozdelovník : 1 x – applicant
1 x – TSU (SSVZ)

Date of issue / Dátum vydania : 16.08.2021

Tested and elaborated by : Ing. Stanislav Zámečník
Skúšal a protokol vyhotovil : Test engineer

Checked and approved by :
Kontroloval a schválil :

 **TECHNICKÝ SKÚŠOBNÝ
ÚSTAV PIEŠŤANY, š.p.**
Skúšobňa TSÚ
Krajinská cesta 2929/9
92101 PIEŠŤANY
- 316 -

Ing. Mário Zemko
Technical manager of Testing Body

Test results introduced in this test report are related to the test subject only. Test report can be reproduced or published as a whole, in parts only with written approval of TSÚ test body.

Výsledky skúšok uvedené v tomto protokole sa týkajú len predmetu skúšky. Protokol o skúške môže byť reprodukován alebo publikovaný len v celku, po častiach len s písomným súhlasom skúšobne TSÚ.

COPYRIGHT © TSÚ Piešťany, š.p.

T-10-13/1.0

Content:

Obsah

Content:	2
1 Symbols a units	3
2 Description of solar collector	5
2.1 Collector identification and instructor installation manual	8
3 Test results	11
3.1 Performance test for liquid heating collectors according to EN ISO 9806:2017	11
3.2 Power output per collector unit	11
3.3 Measured coefficients for the calculation of the thermal output	12
3.4 Determination of the collector incident angle modifier (chapter 26 EN ISO 9806).....	13
3.5 Time constant of the collector(chapter 25.5 EN ISO 9806).....	14
3.6 Effective thermal capacity of the collector(chapter 25.4 EN ISO 9806)	14
3.7 Determination of the pressure drop of the collector(chapter 27 EN ISO 9806)	14
4. Durability and reliability tests of collectors.....	15
4.1 Record of test sequence and summary of results	15
4.2 Internal pressure test.....	16
4.3 Standard stagnation temperarture test.....	16
4.4 Exposure test.....	17
4.5 External thermal shock test	18
4.6 Internal thermal shock test	19
4.7 Rain penetration test	20
4.8 Freeze resistance test	20
4.9 Mechanical load test.....	20
4.9.1 Positive pressure test of the collector and fixings	20
4.9.2 Negative pressure test of the collector and fixings.....	21
4.10 Impact resistance test using steel ball.....	21
4.11 Final inspection.....	22
5. Remarks	23
Table of the measured values for the collector efficiency	24
Table of measuring instruments & test equipment.....	25

1 Symbols a units

1 Symboly a jednotky

A_a	-	Aperture area of collector / plocha apertúry kolektoru	m^2
A_G	-	Gross area of collector / hrubá (obrysová) plocha kolektoru	m^2
b_u	-	Collector efficiency coefficient(wind dependence) / súč.účinnosti kolektoru (závislosť na vetru)	s/m
a_1	-	Heat loss coefficient / súčiniteľ tepelných strát	$Wm^{-2} K^{-1}$
a_2	-	Temperature dependence of the heat loss coefficient /teplotná závislosť súčiniteľa tepelných strát	$Wm^{-2} K^{-2}$
E_L	-	Longwave irradiance / dlhovlnné ožiarenie	W/m^2
C	-	Effective thermal capacity of collector / účinná tepelná kapacita kolektoru	$J.K^{-1}$
c_f	-	Specific thermal capacity of heat transfer fluid / merná tepelná kapacita teplotnosnej látky	$J.kg^{-1}K^{-1}$
G_{hem}	-	Hemispherical solar irradiance / hemisférické solárne ožiarenie	W/m^2
G_s	-	Hemispherical solar irradiance for the standard stagnation temperature / hemisférické solárne ožiarenie pre štandardnú teplotu stagnácie	W/m^2
G_m	-	Average hemispherical solar irradiance / priemerné hemisférické solárne ožiarenie	W/m^2
G^*	-	Net solar irradiance / čisté solárne ožiarenie	W/m^2
G_d	-	Diffuse solar irradiance / difúzne solárne ožiarenie	W/m^2
G_b	-	Direct solar irradiance / priame solárne ožiarenie	W/m^2
H	-	Hemispherical irradiation on collector plane / hemisferické ožiarenie plochy kolektora	MJ/m^2
$K_{hem}(\theta_L, \theta_T)$	-	Incidence angle modifier for the hemispherical solar irradiance / modifikátor úhlu dopadu pre hemisférické ožiarenie	-
$K_b(\theta_L, \theta_T)$	-	Incidence angle modifier for direct solar irradiance / modifikátor úhlu dopadu pre priame ožiarenie	-
$K_{\theta L}$	-	Incidence angle modifier in the longitudinal plane / modifikátor úhlu dopadu v pozdĺžnej rovine	-
$K_{\theta T}$	-	Incidence angle modifier in the transversal plane / modifikátor úhlu dopadu v priečnej rovine	-
K_d	-	Incidence angle modifier for diffuse radiation / modifikátor úhlu dopadu pre difúzne ožiarenie	-
m	-	Mass flowrate of heat transfer fluid / hmotnostný prietok teplotnosnej látky	kg/s
Q	-	Useful power extracted from collector / užitočný výkon získaný z kolektoru	W
Q_{Peak}	-	Peak power. Power output of the collector for normal incidence, $G_b = 850W/m^2$, $G_d = 150W/m^2$ and $\vartheta_m - \vartheta_a = 0 K$ / Max. výkon. Výkon za daných podmienok.	W
ϑ_a	-	Ambient or surrounding air temperature / teplota vonkajšieho alebo obklopujúceho vzduchu	$^{\circ}C$
ϑ_{am}	-	Measured ambient or surrounding air temperature / meraná teplota vonkajšieho alebo obklopujúceho vzduchu	$^{\circ}C$
ϑ_{in}	-	Collector inlet temperature / teplota média na vstupe do kolektora	$^{\circ}C$
ϑ_e	-	Collector outlet temperature / teplota média na výstupe z kolektoru	$^{\circ}C$
ϑ_m	-	Mean temperature of heat transfer fluid / stredná teplota teplotnosnej látky	$^{\circ}C$
ϑ_{stg}	-	Stagnation temperature / stagnačná teplota	$^{\circ}C$
T_m^*	-	Reduced temperature difference ($=\vartheta_m - \vartheta_a / G$) / redukovaný teplotný rozdiel($=\vartheta_m - \vartheta_a / G$)	$m^2 K/W^{-1}$
u	-	Surrounding air speed / rýchlosť vonkajšieho vzduchu	$m.s^{-1}$
Δp	-	Pressure difference between fluid inlet and outlet / tlak. diferencia medzi vstupom a výstupom	Pa
Δt	-	Time interval / časový interval	s

ΔT	-	Temperature difference between fluid outlet and inlet / <i>teplotný rozdiel medzi vstupom a výstupom</i>	°K
α	-	Solar absorptance / <i>solárna pohltivosť</i>	-
ε	-	Hemispherical emittance / <i>hemisférická emisivita</i>	-
Θ	-	Angle of incidence / <i>uhol dopadu</i>	degrees
Θ_L	-	Longitudal angle of incidence / <i>longitudal uhol dopadu</i>	degrees
Θ_T	-	Transversal angle of incidence / <i>transversal uhol dopadu</i>	degrees
η_b	-	Collector efficiency based on beam irradiance / <i>účinnosť na základe priameho ožiarenia</i>	-
η_{hem}	-	collector efficiency based on hemispherical irradiance / <i>účinnosť kolektora na základe hemisférického ožiarenia</i>	-
$\eta_{o, hem}$	-	Zero-loss collector efficiency ($\eta_{at T_m^* = 0}$), reference T_m^* based on hemispherical irradiance / <i>účinnosť kolektora při nulových stratách (η při $T_m^* = 0$), vzťahnutá k T_m^* na základe hemisférického ožiarenia</i>	-
$\eta_{o, b}$	-	Peak collector efficiency based on beam irradiance / <i>max. účinnosť na základe priameho ožiarenia</i>	-

2 Description of solar collector

2 Popis slnečného kolektoru

General information Všeobecné informácie	
Manufacturer Výrobca	: THERMO/SOLAR Žiar s.r.o., Na vartičke 14, 965 01 Žiar nad Hronom, Slovakia
Brand name of collector Obchodný názov kolektoru	: Flat plate solar collector
Collector type Typ kolektoru	: TS 500
Serial number Výrobné číslo	: S1587/2101634A005, S1587/2101633A005
Number of drawing: Číslo výkresu	: S1596
Year of production Rok výroby	: 2021

Data about the collector Údaje o kolektore	
Recommended flow range (kg.s ⁻¹)* Doporučený prietok (kg.s ⁻¹)	: 0,0086 – 0,0286
Recommended operating pressure (kPa)* Pracovný tlak (kPa)	: 450
Stagnation temperature at 1000 W/m ² and 30°C ambient temperature (°C)** Stagnačná teplota pri 1000W/m ² a teplote okolia 30°C (°C)	: 196
Gross area (m ²)* Hrubá obrysová plocha (m ²)	: 2,53
Length (mm)* Dĺžka (mm)	: 2009
Width (mm)* Šírka (mm)	: 1259
Height (mm)* Výška (mm)	: 75
Absorber area (m ²)* Plocha absorbéru (m ²)	: 2,26
Aperture area (m ²)* Plocha apertúry (m ²)	: 2,26
Weight empty (kg)* Hmotnosť prázdneho stavu (kg)	: 44,6
Fluid content (l)* Obsah kvapaliny (l)	: 1.72
Heat transfer medium and ratio of mixture, freezing point* Teplonosná látka a zmiešavací pomer,	: water glycol mixture
Alternative heat transfer medium and ratio of mixture, freezing point* Alternatívna teplonosná látka a zmiešavací pomer	: -

Specification of limitations for operation Špecifikácia obmedzenia pri prevádzke	
Maximum operating temperature (°C)* <i>Najvyššia prevádzková teplota (°C)</i>	: 100
Maximum operating pressure (kPa)* <i>Najvyšší prevádzkový tlak (kPa)</i>	: 600
Maximum volume flow rate (kg/s)* <i>Max. prietok</i>	: 0,0286
Maximum tilt angle (°)* <i>max. uhol sklonu kolektora</i>	: 90
Minimum tilt angle (°)* <i>min. uhol sklonu kolektora</i>	: 15
Max. permissible positive pressure load of wind and snow (kg/m ²)* <i>max. dovoľené pozitívne zaťaženie od snehu a vetra</i>	: 230
Max. permissible negative load of uplift forces caused by the wind(kg/m ²)* <i>max. dovoľené negatívne zaťaženie od vztlakových síl vetra</i>	: 250
Other limitations <i>Iné obmedzenia</i>	: -

Collector fixation and mounting Upevnenie a montáž kolektora	
Orientation of mounting* <i>orientácia montáže</i>	: vertical
Collector mounting* <i>Miesto inštalácie</i>	: - inclined roof, on the roof - inclined roof, integrated - free mounting with an elevated track - facade mounting

Cover of collector Kryt kolektoru	
Number of cover* <i>Počet krytov</i>	: 1
Cover materials* <i>Material krytov</i>	: Tempered glass
Thickness of the cover (mm)* <i>Hrúbka krytu (mm)</i>	: 4
Cover solar transmittance τ^* <i>Priepustnosť slnečného žiarenia τ krytom</i>	: 89 ± 1
Structure of the cover(inner/outer)* <i>Konštrukcia krytu</i>	: structured

Absorber Absorbér	
Material* <i>Materiál</i>	: EN AW-5005[AL Mg1(B)]-H24/H34
Construction type (if used)* <i>Konštrukčný typ</i>	: Flat

Thickness of the absorber sheet (mm)* <i>Hrúbka absorbčného plechu (mm)</i>	: 0,4
Solar absorptance α^* <i>Pohltivosť slnečného žiarenia α</i>	: 95
Hemispherical emittance ε^* <i>Hemisféricka emisivita ε</i>	: 13
Brand name of the selective coating and manufacturer* <i>Označenie úpravy povrchu a výrobcu</i>	: ALOx, THERMO/SOLAR Žiar nad Hronom s.r.o.
Type of connection between absorber – tube* <i>Typ spojenia</i>	: compression moulding
Type of hydraulic circuit* <i>typ hydraulického okruhu</i>	: meander
Number of absorber tubes* <i>Počet rúrok absorbéra</i>	: 21
dimensions of absorber tubes(mm), material, density(kg/m ³), heat capacity (J/(kg.K))* <i>Rozmery absorbčných rúrok, materiál, hustota, tepelná kapacita</i>	: CU; Ø10,3 x 0,5; 8930; 394
Distance between absorber tubes (mm)* <i>Vzdialenosť medzi absorbčnými rúrkami</i>	: 87
Number of header tubes* <i>Počet zberných rúrok</i>	: 2
dimensions of the header tubes(mm), material, density(kg/m ³), heat capacity(J/(kg.K))* <i>Rozmery zberných rúrok, materiál</i>	: CU; Ø18 x 0,8; 8930; 394
Number of connections* <i>Počet pripojení</i>	: 4

Thermal insulation and casing <i>Tepelná izolácia a skriňa</i>	
Dimensions of the back thermal insulation - thickness (mm)* <i>Rozmery spodnej tepelnej izolácie (mm)</i>	: 40
Dimensions of the thermal insulation on the side (mm)* <i>Rozmery bočnej tepelnej izolácie (mm)</i>	: -
Insulating material* <i>Izolačný materiál</i>	: Mineral wool
Heat capacity of the insulating material [J/(kg . K)]* <i>tepelná kapacita izolačného materiálu</i>	: 1000
Casing material* <i>Materiál skrine,</i>	: EN AW-5754[Al Mg3]
Sealing material* <i>Tesniaci materiál</i>	: Silicon, Illbruck

* manufacturer specification

** determined at the lab

2.1 Collector identification and instructor installation manual

2.1 Identifikácia kolektora a montážny návod

Labelling <i>Štítok kolektora</i>	
The collector has to carry a label <i>Na kolektore musí byť štítok</i>	yes
The label has to be well visible <i>Štítok musí byť dobre viditeľný</i>	yes
The label has to be durable <i>Štítok musí byť trvanlivý</i>	yes
The label includes the following details: <i>Obsahuje:</i>	
Name of manufacturer <i>Názov výrobcu</i>	yes
Type <i>Typ</i>	yes
Serial number <i>Výrobné číslo</i>	yes
Year of production <i>Rok výroby</i>	yes
Gross area of collector <i>Hrubá obrysová plocha kolektora</i>	yes
Dimensions of collector <i>Rozmery kolektoru</i>	yes
Max. operation pressure <i>Najvyšší prevádzkový tlak</i>	yes
Stagnation temperature at 1000 W/m ² and 30°C <i>Stagnačná teplota pri 100W/m² a 30°C</i>	yes
Volume of heat fluid <i>Objem teplotnosnej látky</i>	yes
Weight of empty collector <i>Hmotnosť prázdneho kolektoru</i>	yes
Made in <i>Vyrobené v</i>	yes

The installation manual includes the following details: <i>Montážny návod obsahuje:</i>	
Dimensions and weight of collector <i>Rozmery a hmotnosť</i>	yes
Instructions about the transport and handling <i>Pokyny pre dopravu a manipuláciu</i>	yes
Description of the mounting procedure for the all type of mounting and accessories provided by manufacturer <i>Popis postupu montáže pre všetky spôsoby montáže</i>	yes
Recommendations about lightning protection <i>Doporučenie o ochrane proti blesku</i>	yes
Instructions about the coupling of the collectors to one another and the connection of the collector field to the heat transfer circuit, including dimensions of pipe connections for collector arrays up to 20 m ² <i>Popis pre vzájomné spojenie kolektorov a pripojenie kolektorového okruhu pre prenos tepla, včítane rozmerov pripojovacieho potrubia pre kolektorové pole do plochy 20m²</i>	yes
Recommendations about the heat transfer media which may be used and precautions to be taken during filing, operation and service <i>Doporučenie druhu teplonosnej látky, ktorá môže byť použitá a opatrenia, ktoré musia byť dodržované v priebehu plnenia, prevádzky a údržby</i>	yes
Maximum operation pressure, pressure drop and maximum and minimum tilt angle, maximum admissible wind and snow load <i>Najvyšší prevádzkový tlak, tlakovú stratu a najväčší a najmenší uhol sklonu kolektora</i>	yes
Maintenance requirements <i>Požiadavky na údržbu</i>	yes

Schematic illustration of the collector (by the manufacturer):
Schematický náčrt kolektoru (od výrobcu)

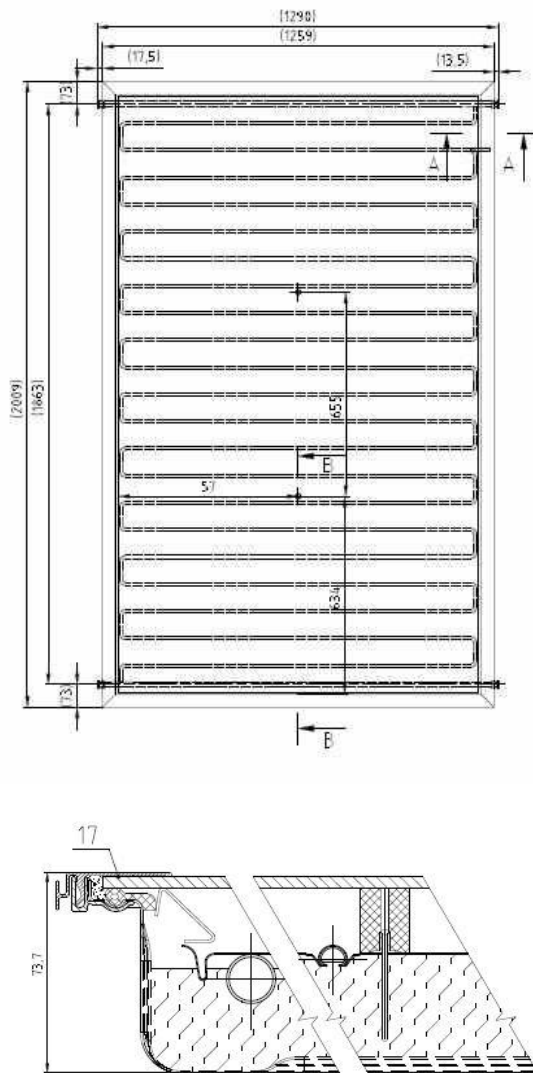


Figure 1

3 Test results

3. Výsledky skúšok

3.1 Performance test for liquid heating collectors according to EN ISO 9806:2017

3.1 Skúška výkonu kolektorov podľa EN ISO 9806:2017

Thermal performance has been tested based on test methods:

Tepelný výkon bol skúšaný na základe skúšobných metód:

EN ISO 9806
Outdoor – Steady
stade method

Vonkajšia - metóda
ustáleného stavu



EN ISO 9806
Indoor – Steady state
method

Vnútorá - metóda ustáleného
stavu



EN ISO 9806
Outdoor – Quasi-dynamic
method

Vonkajšia - metóda
Kvázidynamická



Latitude <i>Zemepisná šírka</i>	: Piešťany, 48,59° north
Longitude <i>Zemepisná dĺžka</i>	: Piešťany 17.83° ost
Collector azimuth <i>Azimut kolektoru</i>	: tracked (<i>natáčaný</i>)
Collector tilt <i>Sklon kolektoru</i>	: tracked (<i>natáčaný</i>)
Mean wind speed <i>Priemerná rýchlosť</i>	: 3 m/s
Kind of fluid <i>Typ skúšobného teplotnosného média</i>	: water (<i>voda</i>)
Orientation of absorber tubes during testing (horizontal or vertical) <i>Orientácia rúrok absorberu pri skúške (vodorovne alebo zvisle)</i>	: vertical (<i>vertikálne</i>)

Peak Power (under blue sky SRC, $\vartheta_m - \vartheta_a = 0$, incident angle of 0°) per collector unit - W_{peak} <i>Najvyšší výkon kolektorovej jednotky</i>	: 1817 W
--	----------

3.2 Power output per collector unit

3.2 Výkon kolektorovej jednotky

Performance of collector (W) <i>Výkon kolektoru (W)</i>		Irradiance <i>Ožiarenie ($W \cdot m^{-2}$)</i>		
		400 ($G_b = 0$ $G_d = 400$)	700 ($G_b = 440$ $G_d = 260$)	1000 ($G_b = 850$ $G_d = 150$)
$\vartheta_m - \vartheta_a$ in °K	0	679	1250	1817
	10	596	1166	1733
	20	507	1078	1645
	30	414	984	1551
	40	315	886	1452
	50	211	782	1349
	60	102	673	1240
	70	0	559	1126
	80	0	440	1007
	90	0	316	883

NOTE: The reported values are valid for normal incidence of irradiance
Poznámka: Udané hodnoty sú pri kolmom dopade ožiarenia

The curve of the power output of a collector unit under SRC
Krivka výkonu kolektora pri podmienkach SRC

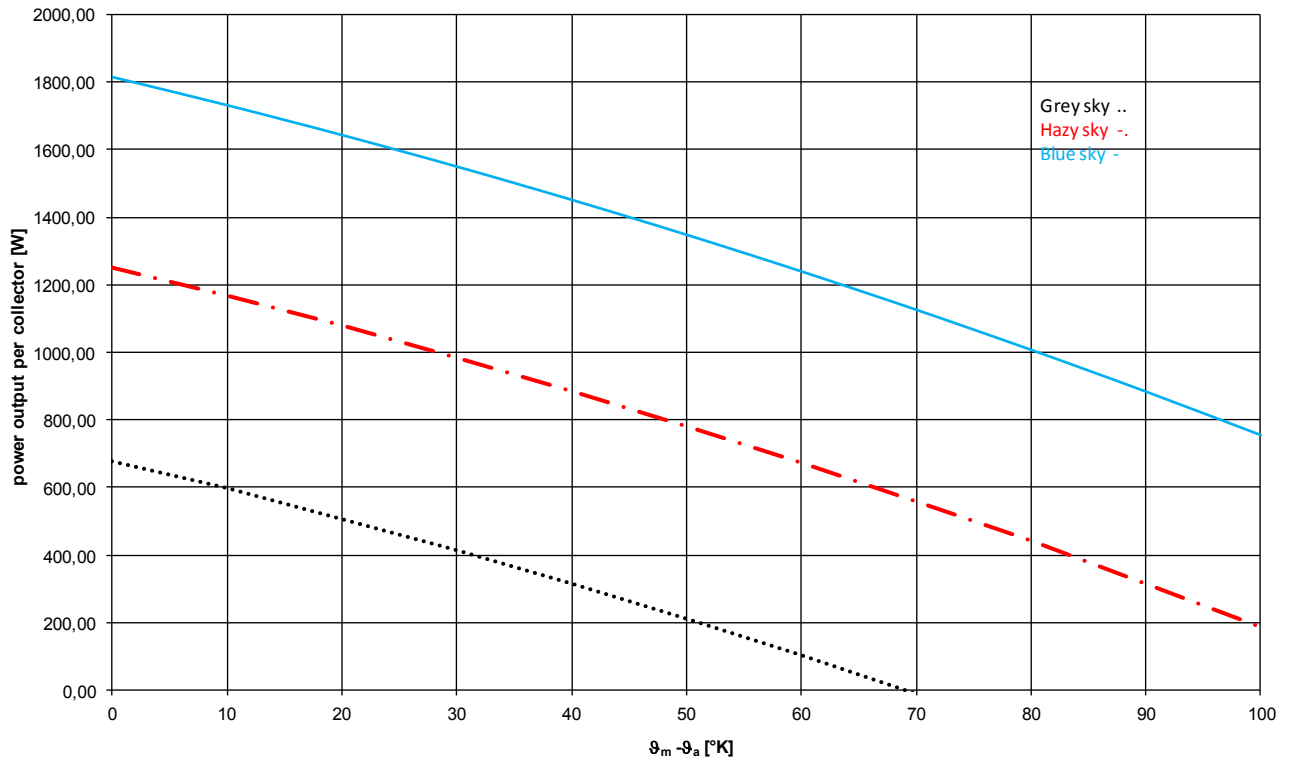


Figure: Power output per collector unit (under SRC)
Výkon kolektorovej jednotky (za podmienok SRC)

3.3 Measured coefficients for the calculation of the thermal output

3.3 Stanovené koeficienty pre výpočet tepelného výkonu

Reference area	Gross area	
A_G [m ²]	2,53	
$Q/A_G = \eta_{0, hem} \cdot G_{hem} - a_1 \cdot (\vartheta_m - \vartheta_a) - a_2 \cdot (\vartheta_m - \vartheta_a)^2$		
Coefficient based on gross area		Standard deviation
$\eta_{0, hem}$ [-]	0,7186	0,001
$\eta_{0, b}$ [-] (estimated)	0,7263	
a_1 [W/(m ² .K)]	3,20	0,11
a_2 [W/(m ² .K ²)]	0,010	0,002

3.4 Determination of the collector incident angle modifier (chapter 26 EN ISO 9806)

3.4 Stanovenie modifikátora uhlu dopadu na kolektore (čl. 26 EN ISO 9806)

EN ISO 9806
Outdoor – Steady
state method

Vonkajšia - metóda
ustáleného stavu



EN ISO 9806
Indoor – Steady state
method

Vnútorná - metóda ustáleného
stavu



EN ISO 9806
Outdoor – Quasi-dynamic
method

Vonkajšia - metóda
Kvázidynamická



Latitude <i>Zemepisná šírka</i>	:	Piešťany, 48,59° north
Longitude <i>Zemepisná dĺžka</i>	:	Piešťany 17.83° ost
Collector azimuth <i>Azimut kolektoru</i>	:	tracked (<i>natáčaný</i>)
Collector tilt <i>Sklon kolektoru</i>	:	tracked (<i>natáčaný</i>)
Mean wind speed <i>Priemerná rýchlosť</i>	:	3 m/s
Kind of fluid <i>Typ skúšobného teplotnosného média</i>	:	water (<i>voda</i>)
Orientation of absorber tubes during testing (Horizontal or vertical) <i>Orientácia rúrok absorbéru pri skúške (vodorovne alebo zvisle)</i>	:	vertical (<i>vertikálne</i>)

Model for the incidence angle modifier:

Model pre modifikátor uhla dopadu:

$$K_{\text{hem}}(\theta_L, \theta_T) = \eta_{o,\text{hem}}(\theta_L, \theta_T) / \eta_{o,\text{hem}}(0, 0)$$

$$K_b(\theta_L, \theta_T) = 1 + b_0 \cdot (1 - 1/\cos\theta)$$

Result of the measurements

Výsledky meraní

Incidence angle <i>Uhol dopadu</i> θ	$K_{\text{hem}}(\theta)$	$b_0(\text{estimated})$	$K_d(\text{estimated})$
30°	0,987	-	-
50°	0,952	-	-
	-	0,085	0,924

Incidence angle modifier – table of values

Modifikátor uhla dopadu – tabuľka hodnôt

Incidence angle <i>Uhol dopadu</i> θ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$K_{\theta L}$	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,84	0,60	0,00
$K_{\theta T}$	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,84	0,60	0,00

3.5 Time constant of the collector(chapter 25.5 EN ISO 9806)

3.5 Časová konštanta kolektora (čl. 25.5 EN ISO 9806)

This test was not performed.

Táto skúška sa nevykonala.

3.6 Effective thermal capacity of the collector(chapter 25.4 EN ISO 9806)

3.6 Účinná tepelná kapacita kolektora (čl. 25.4 EN ISO 9806)

Estimation due to material data

Výpočet na základe parametrov použitých materiálov

C = 13,6 kJ.K⁻¹ (effective thermal capacity of the collector filled with water-glycol-50%:50%)

C = 7,35 kJ.K⁻¹ (effective thermal capacity of the collector without fluid)

3.7 Determination of the pressure drop of the collector(chapter 27 EN ISO 9806)

3.7 Stanovenie tlakových strát kolektora (čl. 27 EN ISO 9806)

The pressure drop curve was determined with water as heat transfer fluid with an average inlet temperature of 20 ± 2°C and with ambient temperature of 20°C.

Tlakové straty boli stanovené pomocou vody ako teplotnosné médium s priemernou teplotou 20 ± 2°C a pri teplote okolia 20°C.

$$\Delta p = b \cdot \dot{V}^2 + a \cdot \dot{V}$$

The following coefficients were calculated by regression of the measured data:

Nasledujúce koeficienty boli stanovené pomocou regresnej analýzy z nameraných hodnôt:

a = 45,12 (Pa.h)/l

b = 1,21 (Pa.h²)/l²

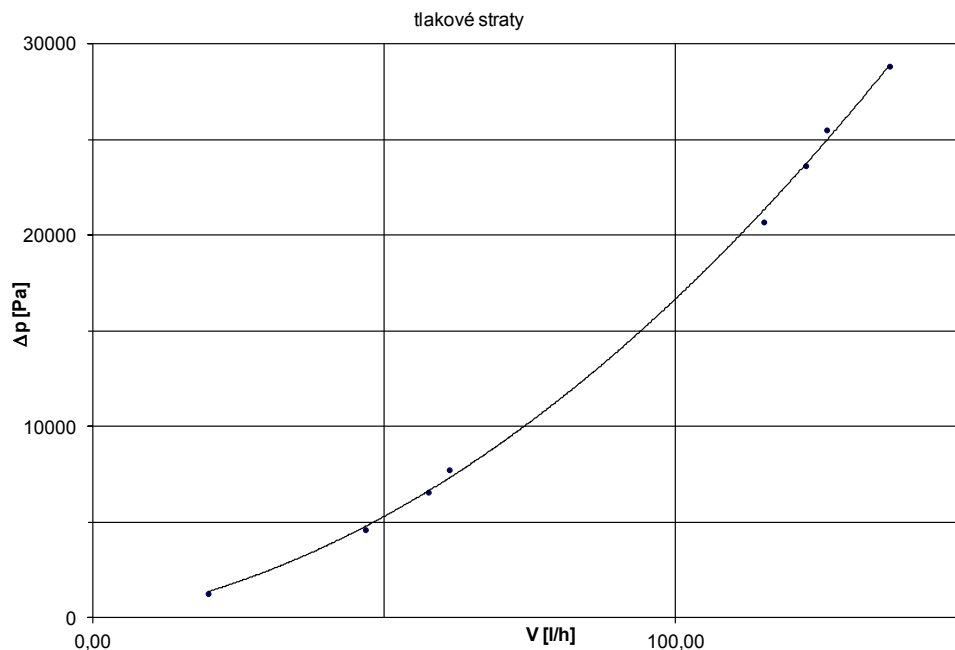


Table of measured data

Tabuľka nameraných hodnôt

Flow rate prietok (l/h)	0,0	19,8	46,8	57,6	61,2	115,2	122,4	126	136,8
Pressure drop Tlakové straty (Pa)	0	1270	4610	6570	7740	20690	23630	25500	28830

4. Durability and reliability tests of collectors

4. Skúšky trvanlivosti a spoľahlivosti

4.1 Record of test sequence and summary of results

4.1 Zápis postupu skúšky a súhrn hlavných výsledkov

Test	Date		Result
	start	end	
Delivery of test sample <i>Dodanie vzorky</i>	18.05.2021	18.05.2021	passed
Standart stagnation temperature <i>Stagnačná teplota</i>	26.06.2021	26.06.2021	passed
Exposure or pre-exposure <i>Vystavenie vonkajším vplyvom</i>	18.06.2021	28.07.2021	passed
External thermal shock – first <i>Vonkajší tepelný ráz – prvý</i>	-	-	not relevant
External thermal shock – second <i>Vonkajší tepelný ráz – druhý</i>	-	-	not relevant
Internal thermal shock – first <i>Vnútný tepelný ráz – prvý</i>	19.06.2021	19.06.2021	passed
Internal thermal shock – second <i>Vnútný tepelný ráz – druhý</i>	23.07.2021	23.07.2021	passed
Rain penetration <i>Odolnosť proti dažďu</i>	02.08.2021	02.08.2021	passed
Freeze resistance <i>Odolnosť proti mrazu</i>	-	-	not relevant
Internal pressure <i>Vnútný tlak</i>	03.08.2021	03.08.2021	passed
Mechanical load – positive <i>Mechanické zaťaženie – pozitívne</i>	30.07.2021	30.07.2021	passed
Mechanical load – negative <i>Mechanické zaťaženie – negatívne</i>	31.07.2021	31.07.2021	passed
Impact resistance <i>Prierazná odolnosť</i>	29.07.2021	29.07.2021	passed
Final inspection <i>Konečná kontrola</i>	04.08.2021	04.08.2021	passed
Thermal performance <i>Tepelný výkon</i>	08.07.2021	12.07.2021	performed
Pressure drop measurement <i>Meranie tlakových strát</i>	01.07.2021	01.07.2021	performed

Comments:

Thermal performance test and pressure drop measurement were performed on the collector with registration number 210700002/102/4992 – sample No. 2. Other tests were performed on collector with registration number 210700002/102/4993 – sample No. 1.

The test sequence may have been adapted to the internal requirements of the test institute.

Merania tepelného výkonu a tlakové straty boli vykonané na kolektore s identifikačným číslom 210700002/102/4992 – vz.č.2. Ostatné skúšky boli vykonané na kolektore s identifikačným číslom 210700002/102/4993-vz.č.1

4.2 Internal pressure test

4.2 Vnútrotný tlak

Technical details of collector

Technické detaily kolektora

Collector type <i>Typ kolektora</i>	liquid, glazed
Max. collector operating pressure specified by manufacturer <i>Najvyšší prevádzkový tlak kolektora špecifikovaný výrobcom</i>	6 bar

Test conditions

Skúšobné podmienky

Surrounding temperature <i>Teplota okolia</i>	21°C , shielded for light
Test pressure <i>Skúšobný tlak</i>	9 bar
Duration <i>Trvanie skúšky</i>	15 min.

Test results

Výsledky skúšky

Observation <i>Zistenie</i> leakage, swelling, distortion/ <i>netesnosť, vydutie, skrútenie</i>	none
Major failures according to clause 17 of EN ISO 9806:2017 <i>Podstatné vady podľa čl. 17 EN ISO 9806:2017</i>	none

4.3 Standard stagnation temperature test

4.3 Určenie stagnačnej teploty

Remarks

Poznámky

Method used to heat collectors <i>Použitá metóda</i>	outdoor test, not filled
Location of temperature sensor <i>Umiestnenie teplotného senzora</i>	sensor attached to the rear side of the absorber <i>senzor umiestnený na zadnej strane absorbéra</i>

Test conditions

Skúšobné podmienky

Collector tilt angle <i>Uhol sklonu kolektora</i>	45°; south
Average hemispherical irradiance during test <i>Priemerné ožiarenie počas testu</i>	1002 W.m ²
Average surrounding air temperature <i>Priemerná teplota okolia</i>	24,9°C
Average surrounding air speed <i>Priemerná rýchlosť vzduchu okolia</i>	< 1 m/s
Average absorber temperature <i>Priemerná teplota absorbéra</i>	192 °C
Duration of test <i>Trvanie skúšky</i>	60 min.

Test results
Výsledky skúšky

Observation Zistenie degradation, distortion, shrinkage or outgassing (degradácia, skrútenie, zmrštenie alebo splynovanie)	none
Major failures according to clause 17 of EN ISO 9806:2017 Podstatné vady podľa EN ISO 9806:2017	none
Stagnation temperature for 30°C / 1000 W/m ² determined according to clause 9.3 of EN ISO 9806:2017 Stagnačná teplota pri 30°C / 1000 W/m ² podľa čl. 9.3 EN ISO 9806:2017	196°C
Stagnation temperature for 30°C / 1000 W/m ² determined according to clause 9.4 of EN ISO 9806:2017 Stagnačná teplota pri 30°C / 1000 W/m ² podľa čl. 9.4 EN ISO 9806:2017	-

4.4 Exposure test

4.4 Vystavenie vonkajším vplyvom

Test conditions

Skúšobné podmienky

Test method, climate class tested Použitá metóda, testované klimatická trieda	outdoor test, not filled, as no facade collector class A
Collector tilt angle, azimuth Uhol sklonu kolektora, orientácia	45°; south
Part A Časť A	Exposition for at least 30 days with a daily global irradiation $H \geq 540 / 600 / 700 \text{ MJ/m}^2$ Min. 30 dni vystavenia žiarenia s celkovou hodnotou žiarenia väčšou ako 540/600/700 MJ/m ²
Part B Časť B	Exposition for at least 32 hours at irradiation $G \geq 900 / 1000 / 1100 \text{ W/m}^2$ and ambient temperature $\vartheta_a \geq 15^\circ / 20^\circ / 40^\circ \text{ C}$. The minimum duration of every period is $\geq 30 \text{ min}$. Min. 32 hodín vystavenia žiarenia s hodnotou žiarenia väčšou ako 900/1000/1100 W/m ² a teplote $t_a \geq 15 / 20 / 40^\circ \text{ C}$. Minimálny čas úseku je $\geq 30 \text{ min}$.

Climatic condition for all valid days during the test (Part A)

Klimatické podmienky pre všetky platné dni počas testu (časť A)

Date	$\vartheta_a [^\circ\text{C}]$ (mean)	H [MJ/m ²]
18.06.2021	29,6	6,16
19.06.2021	29,7	28,6
20.06.2021	28,9	28
21.06.2021	29	27,1
22.06.2021	27,4	23,1
23.06.2021	27,5	8,7
24.06.2021	31	25,2
25.06.2021	24,6	22,4
26.06.2021	24,5	27
27.06.2021	26	28,7
28.06.2021	28,3	24,6
29.06.2021	30,8	26,3
30.06.2021	24	28,8
01.07.2021	21,4	22,5
08.07.2021	33,3	26,8
09.07.2021	24,9	11
10.07.2021	24,5	29,3
11.07.2021	20,6	7,3
12.07.2021	24,6	21,5

13.07.2021	29,8	24,7
14.07.2021	25	11,3
15.07.2021	24,8	23,8
16.07.2021	27,2	23
17.07.2021	26,8	15,6
18.07.2021	28	22
19.07.2021	26,8	27,3
20.07.2021	22,4	25,4
21.07.2021	23	26,7
22.07.2021	24,2	27,1
23.07.2021	24,6	23,3
	Suma:	673,26
Total : 30 days in which H > 600 MJ/m ²		

Climatic condition for valid days during the test (Part B)
Klimatické podmienky pre platné dni počas testu (časť B)

Date	G [W/m ²]	θ _a [°C]	Δt [hod.]
19.06.2021	1002	30,8	1,7
21.06.2021	1010	30,1	0,7
22.06.2021	1022	29,9	0,5
24.06.2021	1064	29,3	1,5
26.06.2021	1095	25,3	1,55
27.06.2021	1011	27,4	2,05
28.06.2021	1075	30,1	1,1
29.06.2021	1015	32,9	0,6
30.06.2021	1005	24,9	1,7
10.07.2021	1020	25,5	2,3
12.07.2021	1039	24,8	0,9
15.07.2021	1065	24,7	1,9
16.07.2021	1008	28,3	0,9
18.07.2021	1002	29,8	0,76
19.07.2021	1037	27,4	1,1
20.07.2021	1102	23,8	0,9
21.07.2021	1054	24,2	2,4
22.07.2021	1028	26,4	3,1
23.07.2021	1036	25,6	1,1
24.07.2021	1049	29,4	1,3
25.07.2021	1008	26,9	0,7
27.07.2021	1022	29,3	1,75
28.07.2021	1011	29,1	1,7
	Total:		32,21

Test results
Výsledky skúšky

Observation <i>Zistenie</i>	none
Major failures according to clause 17 of EN ISO 9806:2017 <i>Podstatné vady podľa EN ISO 9806:2017</i>	none

4.5 External thermal shock test

4.5 Vonkajší tepelný ráz

The test is not relevant, because the collector uses the toughened glass.
Skúška je irelevantná, pretože kolektor používa tvdené sklo.

4.6 Internal thermal shock test

4.6 Skúška vnútorným tepelným rázom

Test conditions

Skúšobné podmienky

Shock No. <i>Šok číslo</i>		1	2
Test performed <i>Test vykonaný</i>		outdoor	outdoor
Test combined with exposure test <i>Test kombinovaný s testom vystavenia vonkajším vplyvom</i>		Yes	yes
Collector tilt angle <i>Uhol sklonu kolektora</i>	°	45; south	45; south
Average irradiance during test <i>Priemerné ožiarenie počas testu</i>	W/m ²	1002	1036
Minimum irradiance during test <i>Najnižšie ožiarenie počas testu</i>	W/m ²	985	993
Average surrounding air temperature <i>Priemerná teplota okolia</i>	°C	30,8	25,6
Minimum surrounding air temperature <i>Najnižšia teplota okolia</i>	°C	30,1	24,8
Period during which the required operating conditions were maintained before the shock <i>Časový úsek, v ktorom boli udržiavané požadované podmienky pred vykonaním testu</i>	min.	60	60
Flowrate of heat transfer fluid <i>Prietok teplotnosnej látky</i>	kg/s	0,029	0,029
Temperature of heat transfer fluid <i>Teplota teplotnosnej látky</i>	°C	17	17
Duration of heat transfer fluid flow <i>Trvanie prietoku teplotnosnej látky</i>	min.	5	5

Test results

Výsledky skúšky

Observation – Shock No. 1 <i>Zistenie</i>	none
Major failures according to clause 17 of EN ISO 9806:2017 <i>Podstatné vady podľa EN ISO 9806:2017</i>	none
Observation – Shock No. 2 <i>Zistenie</i>	none
Major failures according to clause 17 of EN ISO 9806:2017 <i>Podstatné vady podľa EN ISO 9806:2017</i>	none

4.7 Rain penetration test

4.7 Skúška odolnosti proti prieniku dažďa

Test conditions

Skúšobné podmienky

Collector mounting <i>Montáž kolektora</i>	outdoor test open frame shaded
Collector tilt angle <i>Uhol sklonu kolektora</i>	15°
Method used to keep absorber warm <i>Metóda udržania teploty absorbéra</i>	hot water circulation
Absorber temperature or temperature of heat transfer fluid (water) <i>Teplota absorbéra alebo teplota teplotonosnej látky (voda)</i>	51 °C
Flowrate of water spray <i>Prietok vodnej sprchy</i>	0,15 kg/s
Temperature of water spray <i>Teplota vodnej sprchy</i>	17 °C
Duration of water spray <i>Trvanie skúšky</i>	250 min.

Test results

Výsledky skúšky

Observation <i>Zistenie</i>	none
Major failures according to clause 17 of EN ISO 9806:2017 <i>Podstatné vady podľa EN ISO 9806:2017</i>	none

4.8 Freeze resistance test

4.8 Skúška odolnosti proti mrazu

The freeze resistance test is not relevant, because the manufacturer suggests a application of the collector only with a freeze fluid.

Skúška odolnosti proti mrazu je irelevantná, pretože výrobca dovoľuje prevádzkovať kolektor iba s použitím nemrznúcej kvapaliny.

4.9 Mechanical load test

4.9 Skúška mechanickým zaťažením

4.9.1 Positive pressure test of the collector and fixings

4.9.1 Skúška pozitívnym tlakom na kolektor a úchyty

Test conditions

Skúšobné podmienky

Method used to apply pressure <i>Metóda použitá pre vytvorenie tlaku</i>	loading with water <i>zaťaženie pomocou vody</i>
Maximum pressure load <i>Max. tlakové zaťaženie</i>	2300Pa

Test results
Výsledky skúšky

Observation Zistenie damage at the collector cover, box and fixing after the test <i>poškodenie krytu kolektora, skrine a spojovacích prvkov po skúške</i>	none
Major failures according to clause 17 of EN ISO 9806:2017 <i>Podstatné vady podľa EN ISO 9806:2017</i>	none

4.9.2 Negative pressure test of the collector and fixings

4.9.2 Skúška negatívnym tlakom na kolektor a úchyty

Test conditions
Skúšobné podmienky

Method used to apply pressure <i>Metóda použitá pre vytvorenie tlaku</i>	suction cups <i>prísavky</i>
Maximum pressure load <i>Max. tlakové zaťaženie</i>	2500 Pa

Test results
Výsledky skúšky

Observation Zistenie damage at the collector cover, box and fixing after the test <i>poškodenie krytu kolektora, skrine a spojovacích prvkov po skúške</i>	none
Major failures according to clause 17 of EN ISO 9806:2017 <i>Podstatné vady podľa EN ISO 9806:2017</i>	none

4.10 Impact resistance test using steel ball

4.10 Skúška odolnosti proti nárazu použitím ocelevej guľičky

Test conditions
Skúšobné podmienky

Diameter of ball <i>Priemer guľičky</i>	33,3 mm
Mass of ball <i>Hmotnosť guľičky</i>	150g
Type of impact <i>Druh nárazu</i>	vertical <i>zvislý</i>

Point of impact No. 1 <i>Bod dopadu č. 1</i>		Point of impact No. 2 <i>Bod dopadu č. 2</i>		Point of impact No. 3 <i>Bod dopadu č. 3</i>		Point of impact No. 4 <i>Bod dopadu č. 4</i>	
Dropping height <i>Výška</i>	Observation <i>Zistenie</i>	Dropping height <i>Výška</i>	Observation <i>Zistenie</i>	Dropping height <i>Výška</i>	Observation <i>Zistenie</i>	Dropping height <i>Výška</i>	Observation <i>Zistenie</i>
0,4	0	0,4	0	0,4	0	0,4	0
0,6	0	0,6	0	0,6	0	0,6	0

0,8	0	0,8	0	0,8	0	0,8	0
1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0
1,2	0	1,2	0	1,2	0	1,2	0
1,4	0	1,4	0	1,4	0	1,4	0
1,6	0	1,6	0	1,6	0	1,6	0
1,8	0	1,8	0	1,8	0	1,8	0
2,0	0	2,0	0	2,0	0	2,0	0

Legend
Legenda

Absorber leakage or such deformation that permanent contact between absorber and cover is established <i>Netesnosť absorbéra alebo deformácia, ktorá spôsobuje stály dotyk absorbéra a krytu</i>	1
Breaking or permanent deformation of cover or cover fixing <i>Lom alebo trvalá deformácia krytu alebo jeho upevnenia</i>	2
Breaking or permanent deformation of collector fixing or collector box <i>Lom alebo trvalá deformácia upevnenia kolektora alebo kolektorovej skrine</i>	3
Loss of cacuum or low pressure (applicable for vacuum or subatmospheric collectors) <i>Strata vákua alebo podtlaku (platí pre vákuové alebo podtlakové kolektory)</i>	4
Any other abnormality resulting in a significant reduction of performance or service life time <i>Akékoľvek iné abnormality zapríčiňujúce zníženie výkonu alebo životnosti</i>	5
Aesthetical defects(e.g. dents) neither affecting the function and durability nor the power output of the collector <i>Estetické poruchy(napr. priehlbiny) neovplyvňujúce ani funkciu a trvanlivosť ani tepelný výkon kolektora.</i>	6
No failures <i>Žiadne podstatné aj nepodstatné vady</i>	0

4.11 Final inspection

4.11 Konečná kontrola

Evaluation according to the following scale:
Hodnotenie problémov v súlade s nasledujúcou stupnicou

- | | |
|--|--------------------------------|
| 0 – no problem | <i>(žiadny problém)</i> |
| 1 – minor problem | <i>(nie závažný problém)</i> |
| 2 – major failure | <i>(závažná chyba)</i> |
| * - inspection to establish the condition was not possible | <i>(kontrola nebola možná)</i> |

Test results
Výsledky

Collector component <i>Časť kolektoru</i>	Potential problem <i>Možný problém</i>	Result <i>Hodnotenie</i>
		Sample No.1
Collector box/fasteners <i>Skriňa kolektoru/upevnenie</i>	Cracking/warping/corrosion/rain penetration/Accumulation of humidity/etc. <i>Popraskanie/zbortenie/korózia/prienik d'ážda / akumulácia vlhkosti</i>	0
Collector mounting/structure <i>Montáž/konštrukcia</i>	Strenght/safety/loosening/fatiguing/etc. <i>Pevnosť/bezpečnosť/uvoľnenie/únava</i>	0
Seals/gasket <i>Ucpávky/tesnenie</i>	Cracking/loss of adhesion/elasticity/brittleness <i>Popraskanie/súdržnosť/pružnosť/krehkosť</i>	0
Cover <i>Kryt</i>	Cracking/breaking/crazing/buckling/delamination/warping/outgassing <i>Popraskanie/lom/vlasové trhliny /vybúlenie /štiepenie/ zbortenie/bublinatenie</i>	0
Absorber as a whole <i>Absorber ako celok</i>	Deformation/corrosion/buckling/etc <i>Deformácia / korózia / vybúlenie</i>	0
Absorber coating <i>Povlak absorbéru</i>	Cracking/crazing/blistering/discolouration/peeling/flaking <i>Popraskanie/vlasové trhliny/pluzgierovanie/zmena farby/lúpanie/odlupovanie</i>	0
Reflectors <i>Reflektor</i>	Deformation/cracking/crazing/blistering/discolouration/peeling/flaking <i>Deformácia/popraskanie/vlasové trhliny/ pluzgierovanie/ zmena farby/lúpanie/odlupovanie</i>	0
Absorber tubes and headers <i>Rúrky a zberné rúrky absorbéru</i>	Deformation/corrosion/leakage/loss of bonding/irreversible swelling <i>Deformácie/korózia/netesnosť/porušenie spojov</i>	0
Absorber mountings <i>Upevnenie absorbéru</i>	Deformation/corrosion <i>Deformácie/korózia</i>	0
Insulation <i>Izolácia</i>	Water retention/outgassing/swelling/degradation/scorching/singeing/any other detrimental changes that could adversely affect collector performance/fouling <i>Zadržovanie vody/bublinatenie/opuch/degradácia/ popálenie / opálenie / akékoľvek iné škodlivé zmeny, ktoré by mohli nepriaznivo ovplyvniť výkon / znečistenie kolektora</i>	0
Corrosion and other deterioration caused by chemical action. Anywhere in the collector <i>Korózia a iné poškodenia spôsobené chemickým pôsobením. Kdekoľvek v kolektore</i>	Corrosion shall be considered severe if it impairs the function of the collector or if there is evidence that it will progress <i>Korózia sa považuje za závažnú, ak narúša funkciu kolektora alebo ak existuje dôkaz, že bude postupovať</i>	0
Retention of water. Anywhere in the collector <i>Zadržovanie vody. Kdekoľvek v kolektore</i>	Excessive retention of water anywhere in the collector <i>Nadmerné zadržiavanie vody kdekoľvek v kolektor</i>	0

5. Remarks

5. Záver

The present report has been performed according to EN ISO 9806:2017. Main purpose for testing has been to fulfill all requirements for the SolarKeymark label and is valid for collector TS 500.

Table of the measured values for the collector efficiency*Tabuľka nameraných hodnôt pre stanovenie účinnosti kolektora*Reference area: gross area = 2,53m²

Referenčná plocha: obrysová plocha

Measuring point No.	G_{hem} [W/m ²]	G_d / G_{hem} [-]	m [kg/min]	ϑ_{in} [°C]	ϑ_e [°C]	$\vartheta_e - \vartheta_{in}$ [°K]	ϑ_m [°C]	ϑ_a [°C]	$\vartheta_m - \vartheta_a$ [°K]	T_m [m ² K/W]	η_{hem} [-]
1	907	0,12	1,715	21,42	35,06	13,641	28,2405	26,36	1,8835	0,00208	0,7103
2	893	0,12	1,719	21,53	35,01	13,475	28,2675	26,23	2,0375	0,00228	0,7143
3	908	0,12	1,717	21,54	35,26	13,715	28,3975	26,37	2,0315	0,00224	0,7142
4	921	0,12	1,717	21,47	35,34	13,865	28,4025	26,82	1,5835	0,00172	0,7118
5	943	0,12	1,735	39,34	52,22	12,884	45,7820	27,34	18,4400	0,01955	0,6526
6	950	0,12	1,734	39,38	52,39	13,005	45,8825	27,60	18,2785	0,01924	0,6535
7	954	0,12	1,737	39,45	52,41	12,961	45,9305	27,46	18,4705	0,01936	0,6497
8	961	0,12	1,735	39,54	52,65	13,112	46,0960	27,48	18,6160	0,01937	0,6517
9	984	0,12	1,716	64,45	76,26	11,807	70,3575	28,11	42,2525	0,04294	0,5682
10	979	0,12	1,712	64,46	76,21	11,745	70,3365	28,32	42,0215	0,04292	0,5668
11	998	0,12	1,714	64,47	76,45	11,973	70,4585	28,57	41,8875	0,04197	0,5675
12	991	0,12	1,718	64,47	76,32	11,852	70,3940	28,56	41,8340	0,04221	0,5670
13	971	0,13	1,716	77,09	87,24	10,150	82,1650	24,08	58,0850	0,05982	0,4960
14	970	0,14	1,714	77,14	87,26	10,120	82,2000	24,13	58,0700	0,05987	0,4945
15	977	0,14	1,713	77,14	87,30	10,160	82,2200	24,18	58,0400	0,05941	0,4926
16	967	0,14	1,715	77,15	87,24	10,090	82,1950	24,18	58,0150	0,05999	0,4948

Table of measuring instruments & test equipment

Tabuľka meracích prístrojov a zariadení

Measuring equipment		ident. code
Air speed <i>Snímač rýchlosti vetra</i>	Vaisala WAA 151	D32311
Hemispherical solar irradiance <i>Hemisférické ožiarenie</i>	Kipp @Zonen CMP 11	080385
Diffuse solar irradiance <i>Difúzne ožiarenie</i>	Kipp @Zonen CMP 11	080386
Water flow <i>Prietok</i>	OPTIMASS 7000 T06	G100000001102333
Ambient temperature <i>Teplota okolia</i>	Sensor PT-100	334/10
Temperature of absorber <i>Teplota absorbéra</i>	Thermo senzor typ K	1624/3
Temperature of collector ϑ_{in} <i>Teplota vody na vstupe do kolektora ϑ_{in}</i>	PT-100, Sensit TR 013-60	6346/1008
Temperature of water <i>Teplota vody</i>	PT-100, Sensit TR 013-60	7278/1208
Temperature of collector ϑ_e <i>Teplota vody na výstupe z kolektora ϑ_e</i>	PT-100, Sensit TR 013-60	6345/1008
Pressure <i>Hydraulický tlak</i>	DMP331	1832593
Mass <i>Hmotnosť</i>	HFM 3000	WF1422241