



TPC and ECAL cooling system: status

XIII Collaboration Meeting of the MPD Experiment at the NICA Facility

23 April 2024

Speaker: Alexander S. Fedotov

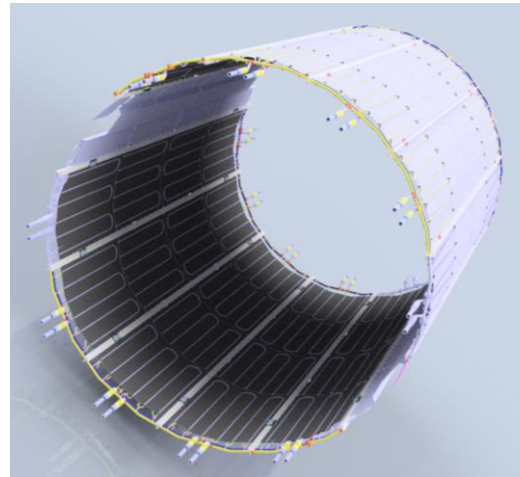
The system

System parameters:

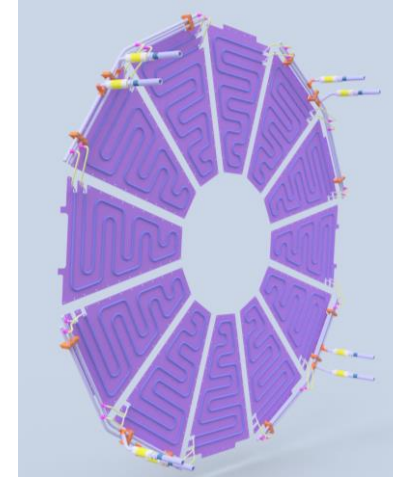
1. Total power: 32 kW
2. Total flow: 60 m³/h.

Leakless regime of operation:
absolute pressure in TPC &
ECAL < 1 atm.

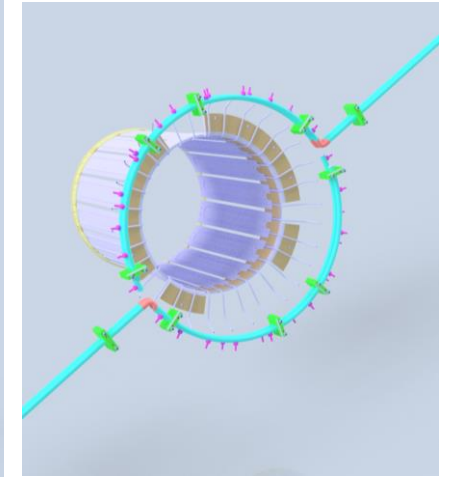
Thermal stabilization of TPC
working gas mixture of 0.1 K



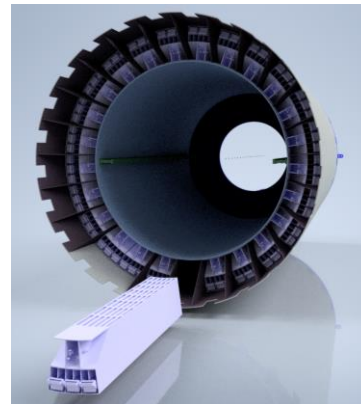
Outer thermal screen



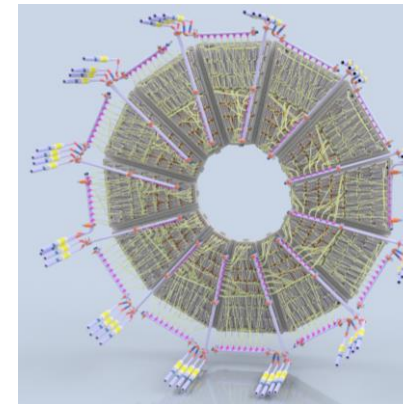
Frontal thermal screen



Internal thermal screen



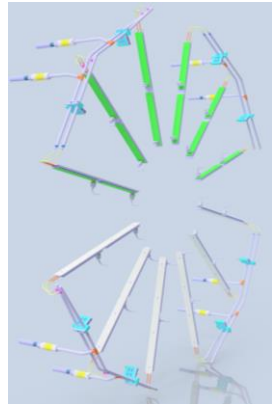
ECAL



SAMPA & FEC
electronics + ROC
cases



Flanges



LVDB and reading
controllers

The approach

Goal: develop and install cooling & thermal stabilization system

Tasks:

- Make detailed **hydrodynamic simulations**;
- Verify simulations with hydraulic experiments;
- Prepare the **technical design** and **deliver the equipment**;
- Find appropriate regimes using thermal experiments;
- Formulate **controlling algorithms** and **assemble the system**.

Hydrodynamic simulations

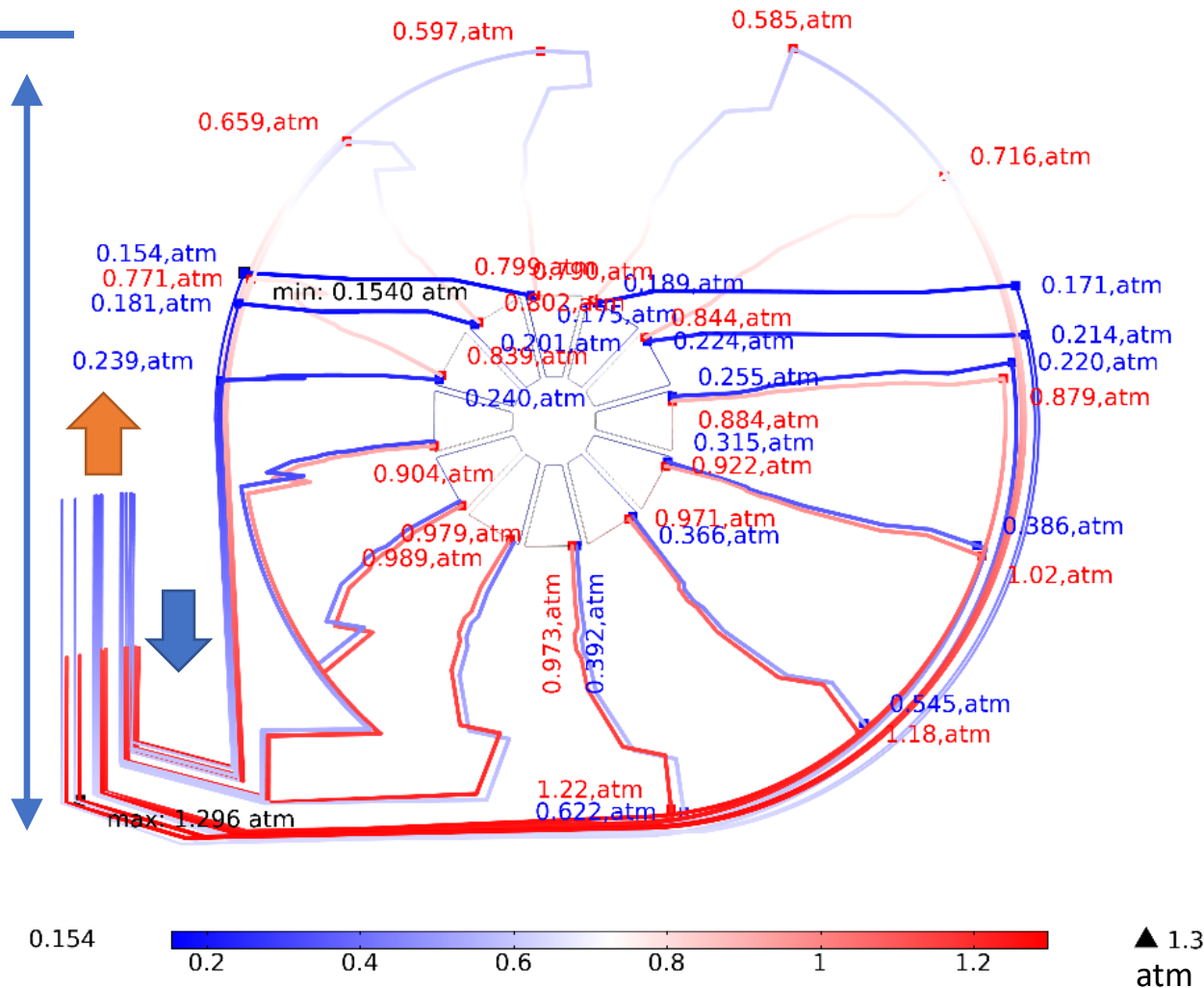
Each contour was simulated with Navier-Stoke on pipe graph:

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = -\frac{\nabla P}{\rho} - \frac{1}{2} f \frac{|u| \vec{u}}{D} + \vec{g} \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \\ \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \Delta h &= 8 \text{ m} \\ \Delta p &= \rho g \Delta h \approx \\ &0.8 \text{ atm} \end{aligned}$$

Leakless achieved! We found:

1. Pump **flow** and pressure conditions;
2. Vacuum **tank** pressure;
3. Pipe **diameters**;
4. Pipe **tracing** enhancements.



Example of pressure distribution in ROC cases

Hydrodynamic Experiment

Hydrodynamic experiments

Motivation: ensure that **modelled** and **real** radiators behave the same way

Pressure-flow characteristic is a dependence of applied **pressure difference** on the fluid **flow** used for characterization of hydraulic system

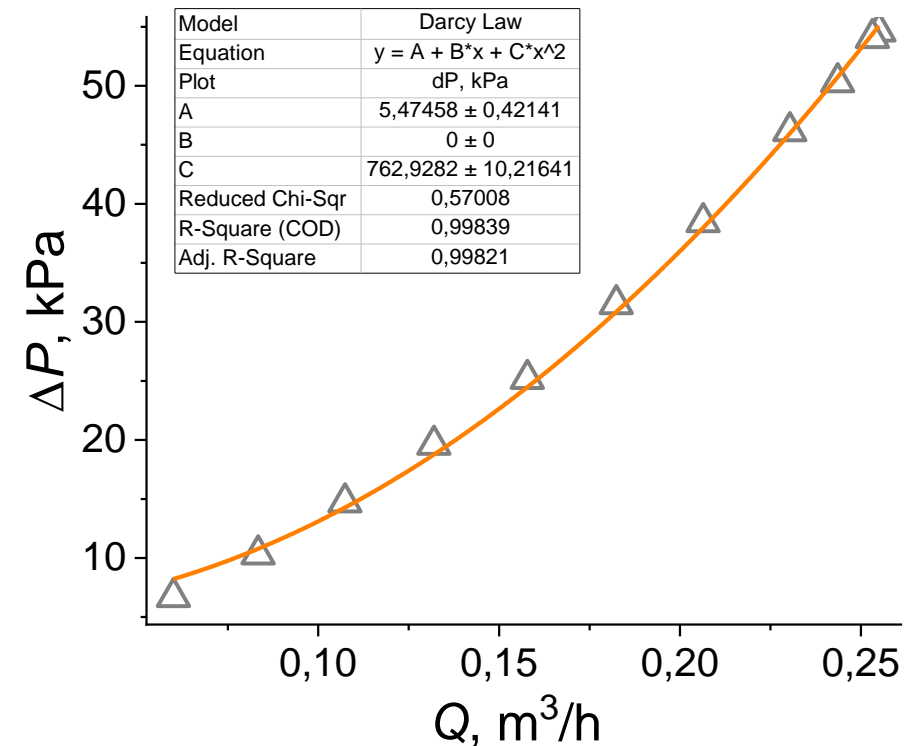
Darcy-Weisbach law: $\Delta P = Aq^2$

ΔP – applied pressure difference;

q – fluid flow;

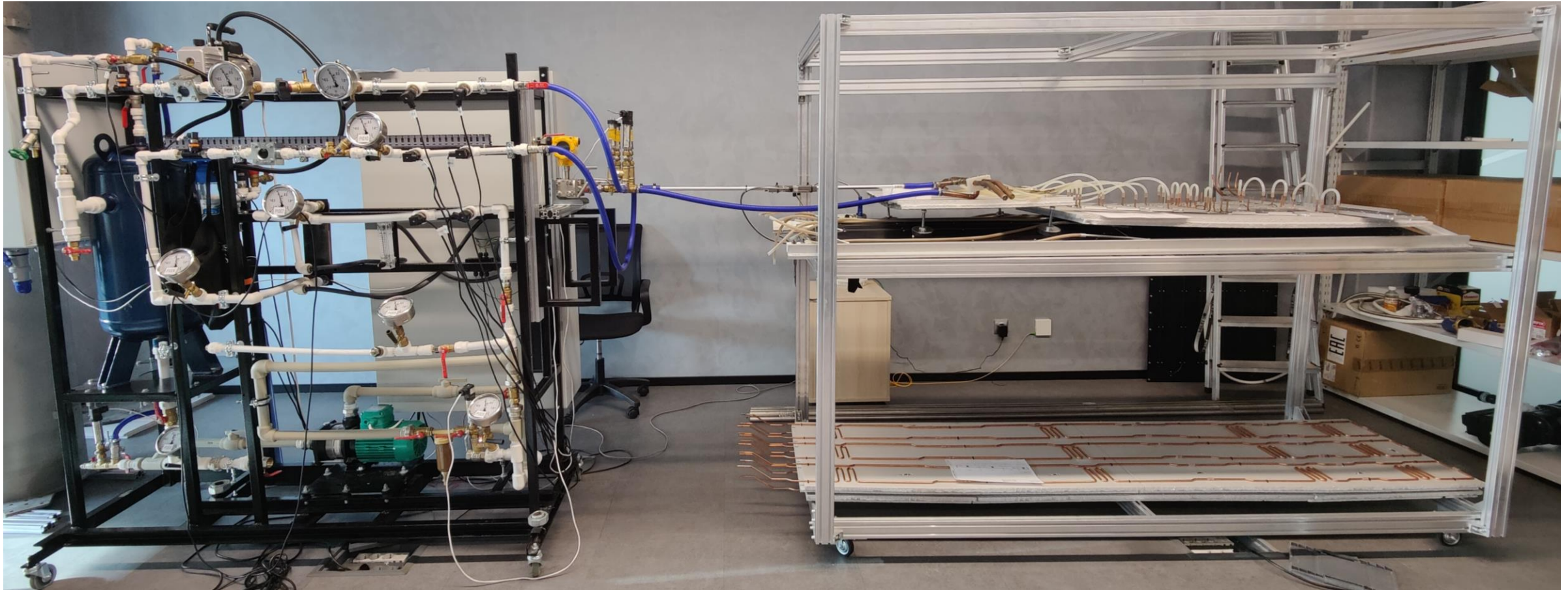
A – hydraulic resistance of system.

A depends on system's properties, computed with Navier-Stokes/measured experimentally



Example of pressure-flow characteristic for FPGA

Hydrodynamic experiments



Experimental setup, ArcoLab, Great Stone, Minsk
(similar to setup upcoming to ECAL testing)

Hydrodynamic experiments



Element	SAMPA	ECAL	Frontal thermal screen	Outer thermal screen	LVDB	ROC case	FPGA
---------	-------	------	------------------------	----------------------	------	----------	------

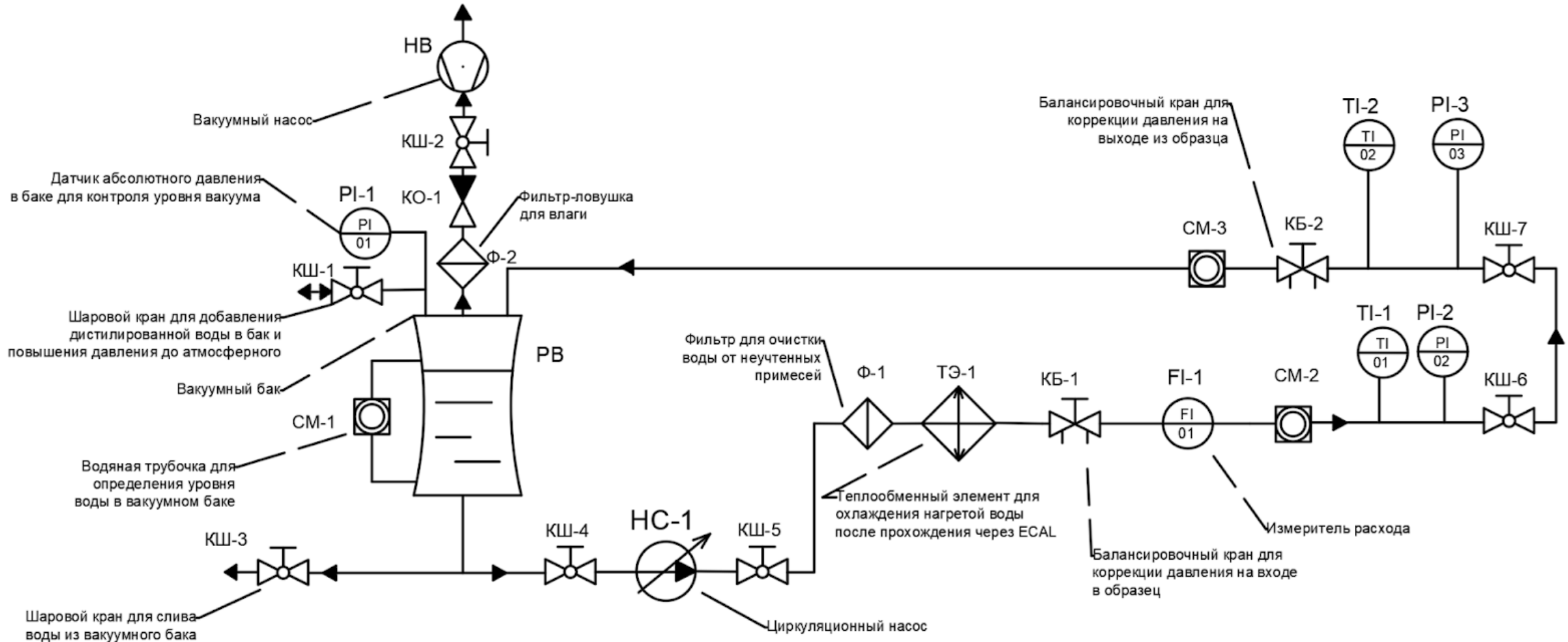
q , m ³ /h	0,55	0,12	0,08	0,91	0,1	0,1	0,27
ΔP_{exp} , atm	0,47	0,16	0,15	0,41	0,5	0,5	0,52
ΔP_{sim} , atm	0,50	0,18	0,15	0,38	0,5	0,5	0,55

Frontal thermal screen behaves **better than predicted**, the rest are **similar**

Hydrodynamic setup for ECAL testing

Setup upcoming to ECAL testing

Motivation: assembled ECAL modules must be tested with cooling



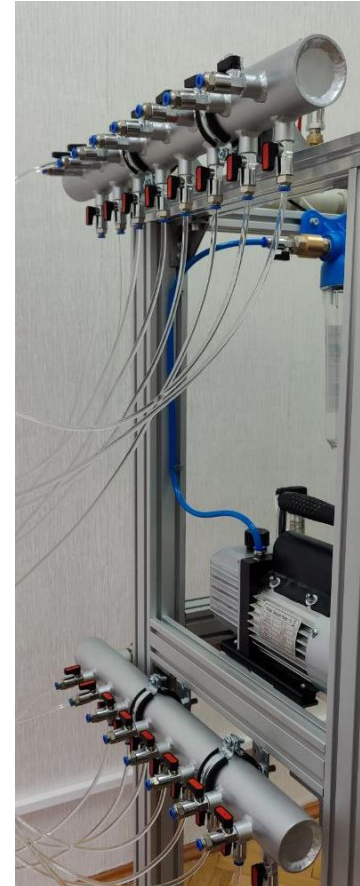
Setup upcoming to ECAL testing

Equipment:

- Vacuum tank, 70 l, stainless steel;
- Vacuum pump VE 115N, up to 20 Pa;
- Circulation pump BWJ2-4, up to 3.5 m³/h;
- Ultrasound flow meter WM9100, 0.01 – 2.5 m³/h;
- Temperature sensor T.Pt-420-DIN, ± 0.5 K;
- Pressure sensors Aplisens PC-28, ± 0.002 atm;
- HDMI Touchscreen Weintek cMT2108X2.

All-new equipment, toll product by ArcoLab

Has been tested in thermal experiments, delivered in May!



Custom manifolds with 16 ports of water supply



Setup showcase

<https://youtube.com/shorts/ixjC55NTjrY?feature=share>

Thermal experiments

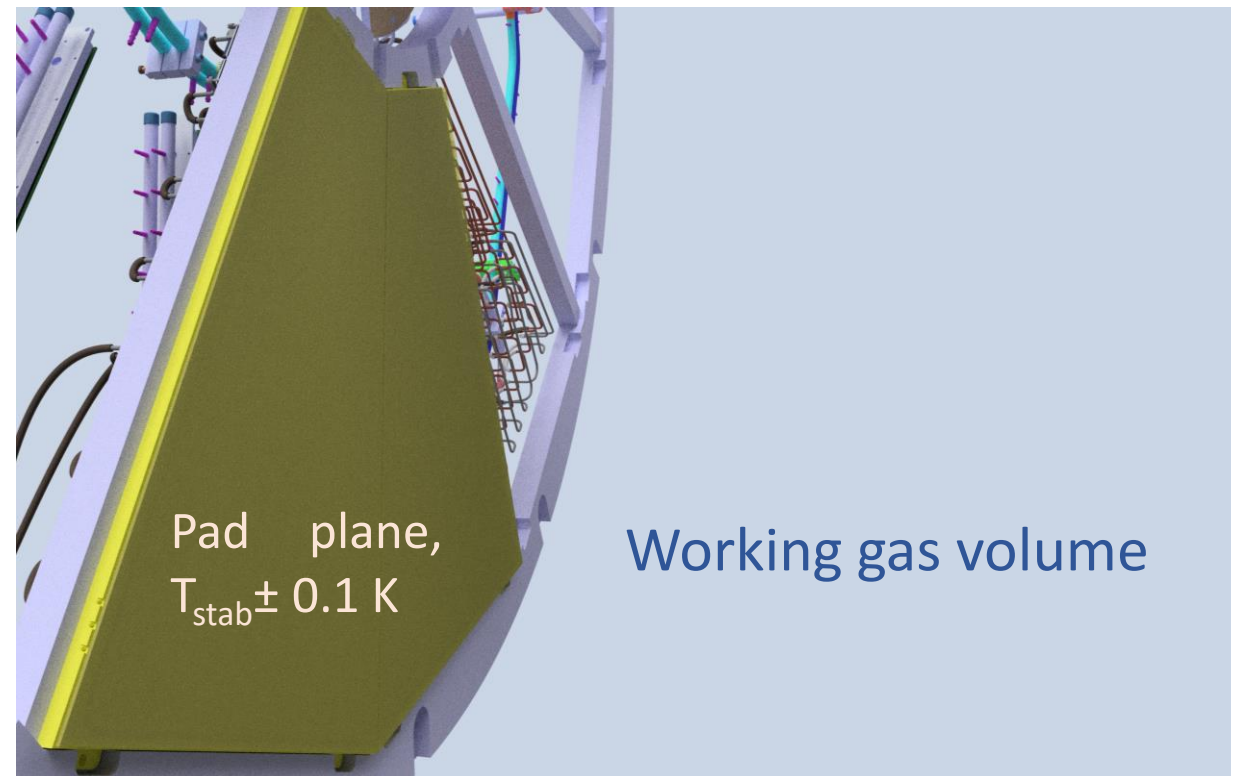
Thermal experiments

Motivation: we need to know if **thermal stabilization of 0.1 K** is possible by design

The goal: thermally stabilize pad plane of Read-out chamber in laboratory condition under **nominal** water supply

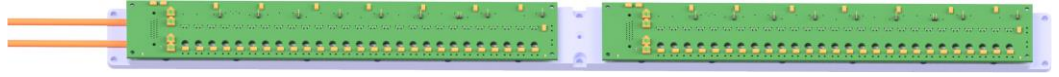
United team:

- BSU INP Lab of FPM;
- BSU INP EMMEL;
- JINR LHEP;
- ArcoLab.

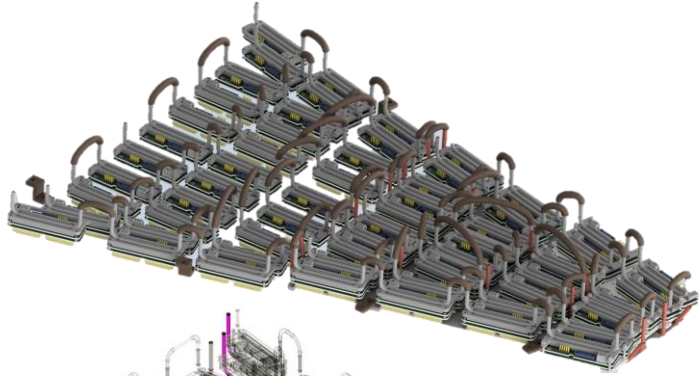


Pad plane is in contact with working gas mixture

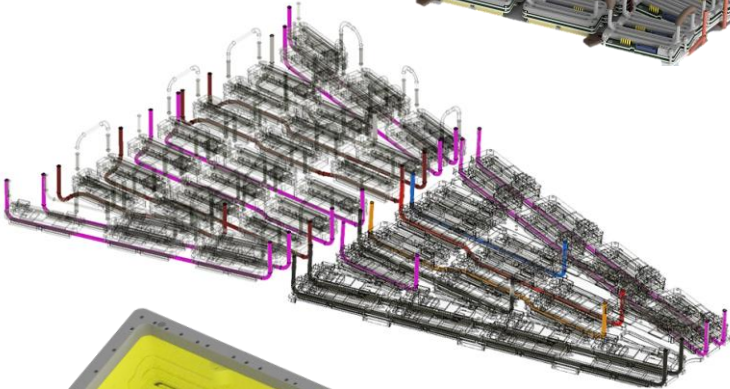
Thermal experiments



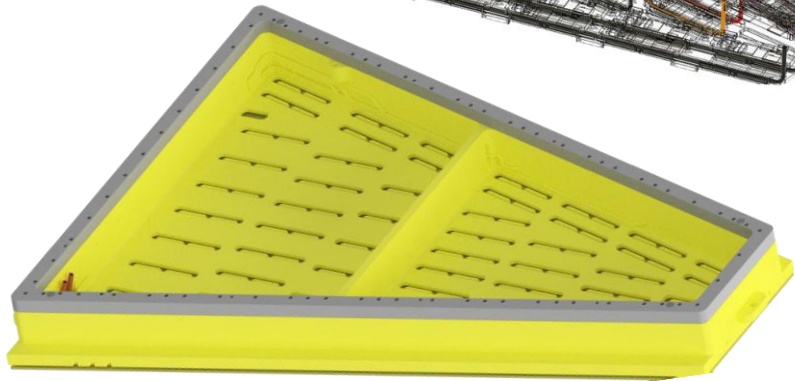
LVDB



FPGA



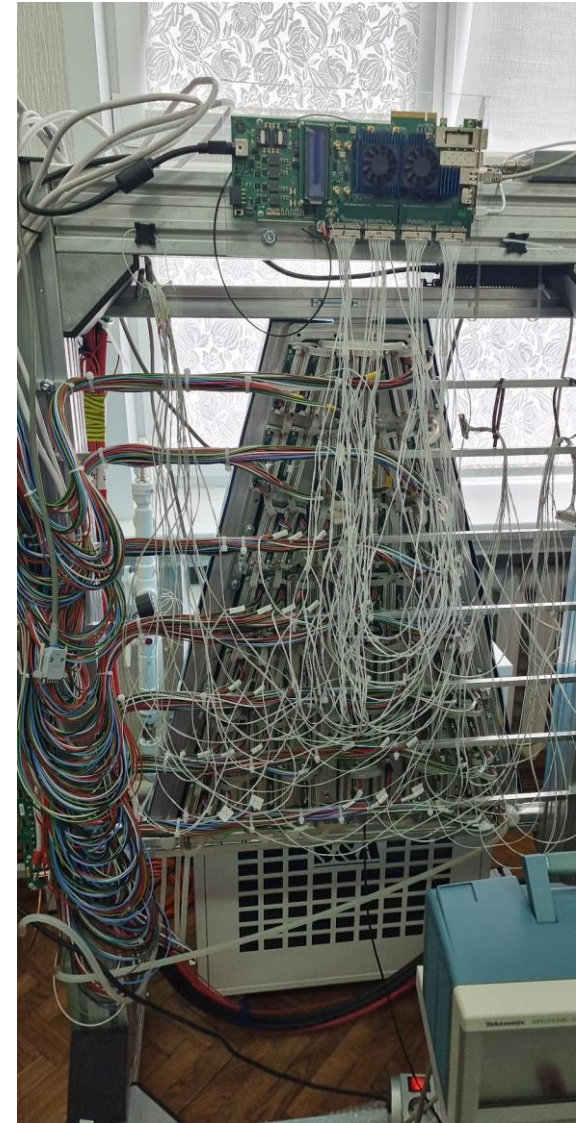
SAMPA



ROC case



Water supply

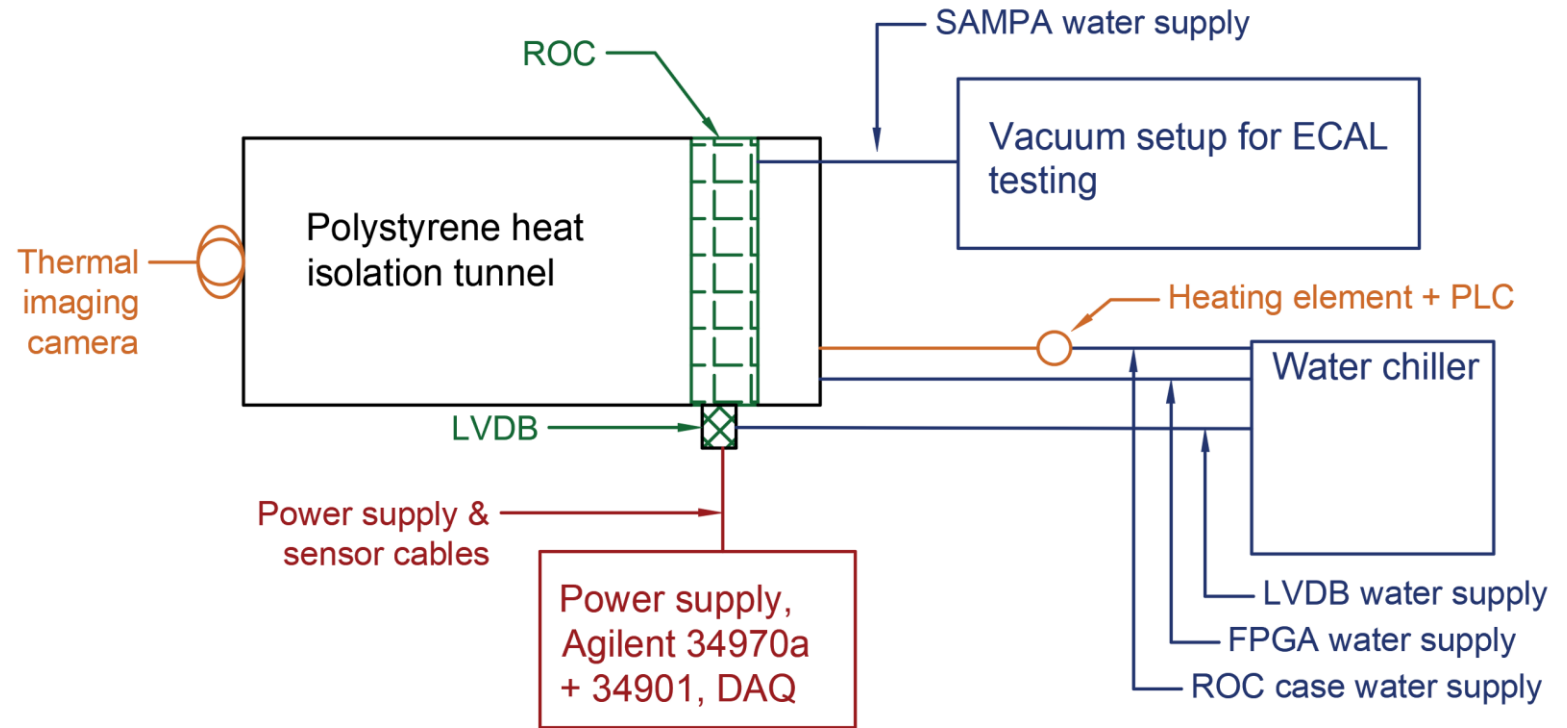


Electric cables

Thermal experiments

Experiment design:

- Water had been supplied by 4 lines separately;
- ROC was thermally isolated from the environment;
- Room was conditioned;
- Temperature sensors and calibrated thermal camera were used.



General scheme of combined setup

Thermal experiments

Full setup
for thermal
experiment



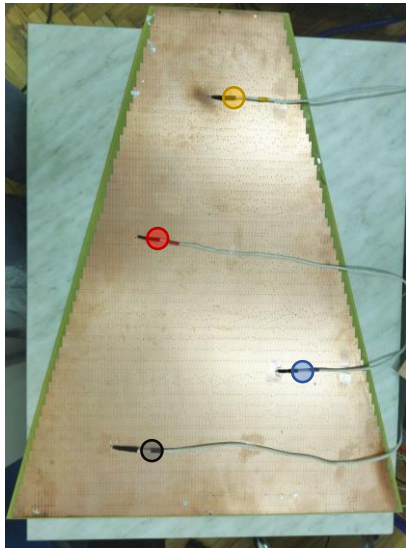
[https://youtu.be/
kcda9WyVOU](https://youtu.be/kcda9WyVOU)

Thermal experiments

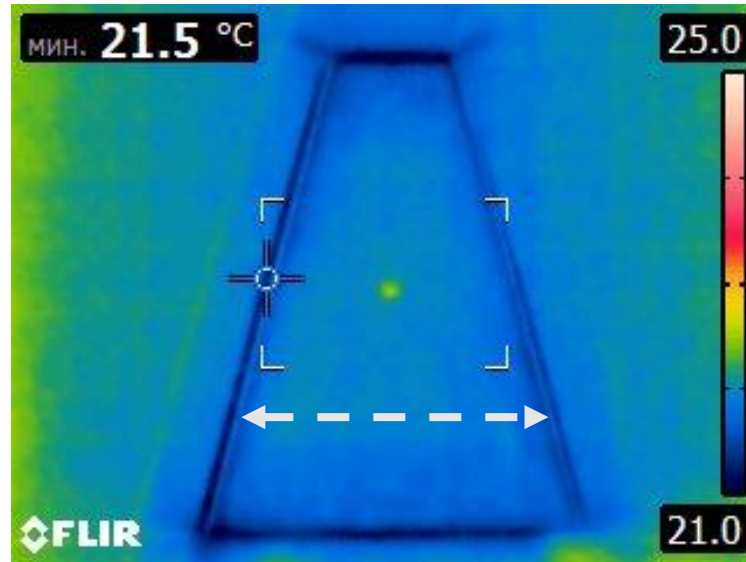
Environment: 24°C

SAMPA input: 25°C (stationary)

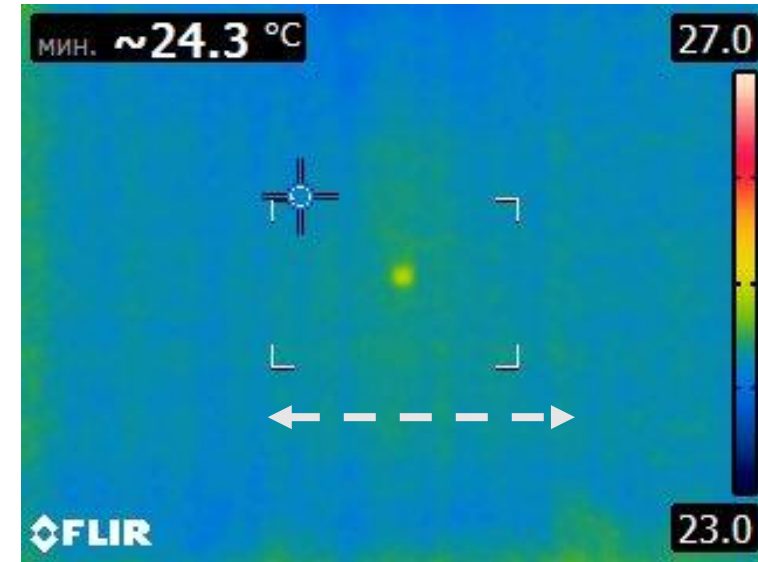
FPGA input: 17-18 °C



Thermal camera Flir E8 was calibrated with Pt-1000 thermal sensors

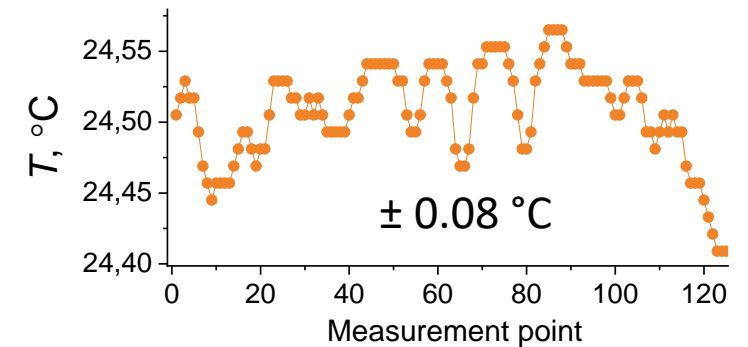
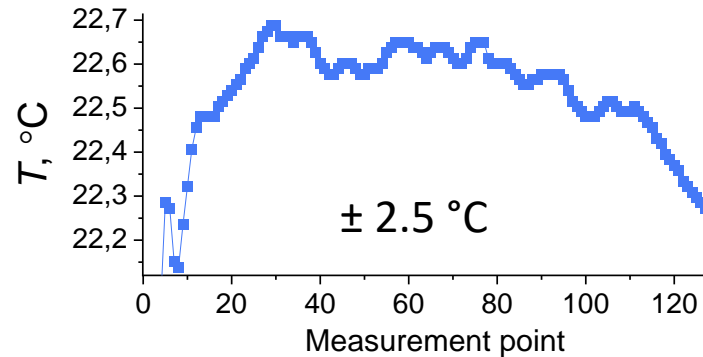


Pad plane without ROC input water heating

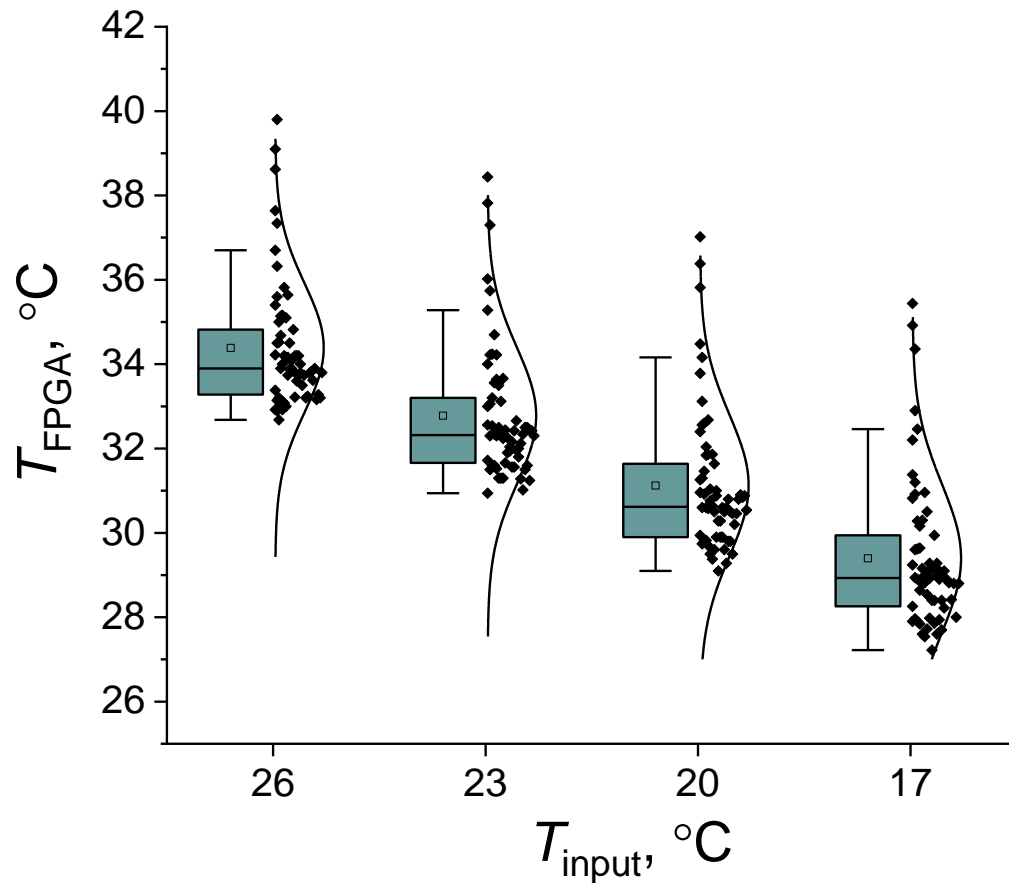


Pad plane with ROC input water heating $T = 23^\circ\text{C}$

Sensor	$T_{\text{sensor}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{camera}}, ^\circ\text{C}$
Yellow	21,82	21,87
Red	21,67	21,67
Blue	21,50	21,56
Grey	21,86	21,87



Thermal experiments



Distribution of FPGA card temperatures for different temperature of input water

Questions remained:

- 1) What if there is a gradient of external heat load?
- 2) What if frontal thermal screen are subjected to overheating?
- 3) What is the degree of thermal stabilization at the outer thermal screen?

Funding for the development of advanced thermal measurements setup has just been granted by Plenipotentiary Representative of the Republic of Belarus (delivered to JINR by August 2024)

Conclusions

- The experimental measurements of flow-pressure characteristics of MPD cooling system **coincide with numerical evaluations**;
- Functioning front-end electronics of the ROC was stabilized at nominal flow using four water lines equipped with ultrasonic flowmeters and controlled via PLC. The temperature homogeneity achieved on the pad plane is **not worse than 0.1 K**, which meets the requirements for MPD experiments;
- Hydraulic testing setup for ECAL modules is coming after May holidays; thermal testing setup is coming in August.

Co-authorship and gratitude

Research was directly conducted by

Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University:

Ilya Zur,
Aliaksei Kunts,
Yaroslav Galkin

Belarusian State University, Physics Faculty:

Maria Medvedeva,
Yuliya Shafarevich

ArcoLab:

Alexander Shish,
Vladimir Senkevich,
Mikhail Vaschilenko

JINR:

Alexander Fedotov,
Alexander Fedyunin
Alexander Makarov,
Gleb Mescheryakov,
Sergei Movchan,
Andrei Terleckiy,

Research would not be possible without

Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University:

Julia Fedotova
Vladimir Tchekhovski

ArcoLab:

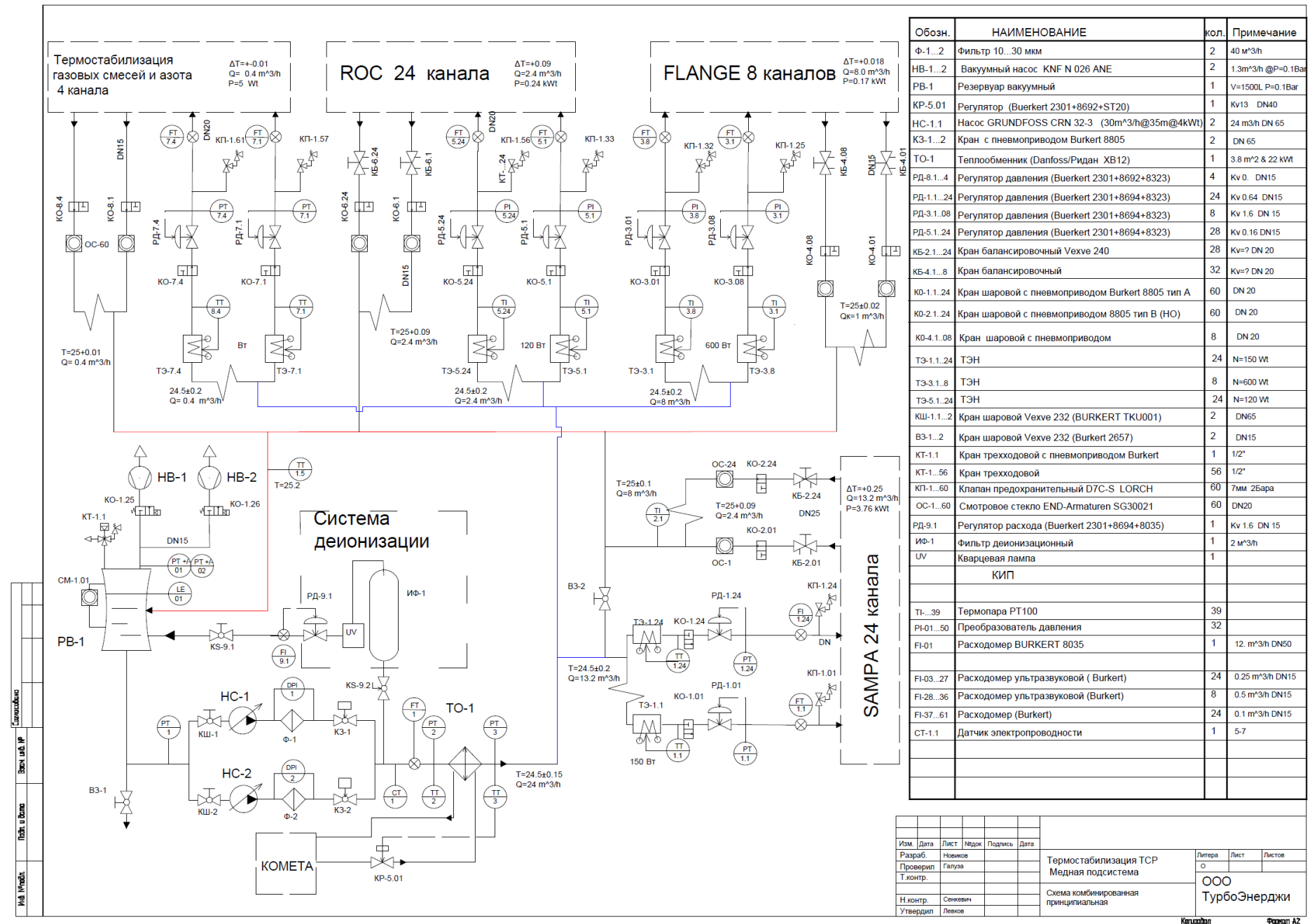
Alexander Galuza,
Alexander Novikov,
Kirill Levkov

JINR:

Igor Balashov,
Vyacheslav Samsonov

Additional slides: status from engineering team

Схема Cu-TS замкнутого контура



Обозн.	НАИМЕНОВАНИЕ	кол.	Примечание
Ф-1...2	Фильтр 10...30 мкм	2	40 м³/ч
НВ-1...2	Вакуумный насос KNF N 026 ANE	2	1.3м³/3h @P=0.1Bar
PB-1	Резервуар вакуумный	1	V=1500L P=0.1Bar
KP-5.01	Регулятор (Buerkert 2301+8692+ST20)	1	Kv13 DN40
HC-1.1	Насос GRUNDFOSS CRN 32-3 (30м³/3h@35m@4kW)	2	24 м³/ч DN 65
K3-1...2	Кран с пневмоприводом Burkert 8805	2	DN 65
TO-1	Теплообменник (Danfoss/Ридан XB12)	1	3.8 м² & 22 кВт
РД-8.1...4	Регулятор давления (Buerkert 2301+8692+8323)	4	Kv 0. DN15
РД-1.1...24	Регулятор давления (Buerkert 2301+8694+8323)	24	Kv 0.64 DN15
РД-3.1...08	Регулятор давления (Buerkert 2301+8694+8323)	8	Kv 1.6 DN 15
РД-5.1...24	Регулятор давления (Buerkert 2301+8694+8323)	28	Kv 0.16 DN15
КБ-2.1...24	Кран балансировочный Vexve 240	28	Kv=? DN 20
КБ-4.1...8	Кран балансировочный	32	Kv=? DN 20
КО-1.1...24	Кран шаровой с пневмоприводом Burkert 8805 тип А	60	DN 20
КО-2.1...24	Кран шаровой с пневмоприводом 8805 тип В (НО)	60	DN 20
КО-4.1...08	Кран шаровой с пневмоприводом	8	DN 20
ТЭ-1.1...24	ТЭН	24	N=150 Вт
ТЭ-3.1...8	ТЭН	8	N=600 Вт
ТЭ-5.1...24	ТЭН	24	N=120 Вт
КШ-1.1...2	Кран шаровой Vexve 232 (BURKERT TKU001)	2	DN65
ВЗ-1...2	Кран шаровой Vexve 232 (Burkert 2657)	2	DN15
КТ-1.1	Кран трехходовой с пневмоприводом Burkert	1	1/2"
КТ-1...56	Кран трехходовой	56	1/2"
КП-1...60	Клапан предохранительный D7C-S LORCH	60	7мм 25бара
ОС-1...60	Смотровое стекло END-Armaturen SG30021	60	DN20
РД-9.1	Регулятор расхода (Buerkert 2301+8694+8035)	1	Kv 1.6 DN 15
ИФ-1	Фильтр деионизационный	1	2 м³/3h
UV	Кварцевая лампа	1	
КИП			
ТИ...39	Термопара РТ100	39	
РД-01...50	Преобразователь давления	32	
FI-01	Расходомер BURKERT 8035	1	12 м³/3h DN50
FI-03...27	Расходомер ультразвуковой (Burkert)	24	0.25 м³/3h DN15
FI-28...36	Расходомер ультразвуковой (Burkert)	8	0.5 м³/3h DN15
FI-37...61	Расходомер (Burkert)	24	0.1 м³/3h DN15
СТ-1.1	Датчик электропроводности	1	5-7

Изм.	Дата	Лист	Челок	Подпись	Дата	Термостабилизация TCP Медная подсистема	Литера	Лист	Листов	
Разработчик	Новиков						ООО ТурбоЭнерджи			
Проверил	Галуза									
Т.контр.										
Н.контр.	Селевнич					Схема комбинированная принципиальная				
Утвердил	Левков									

Система термостабилизации и охлаждения MPD разрабатываемая компанией ООО “Арколаб” располагается на Южной подвижно платформе. Система конструктивно подразделяется на три подсистемы:

- Система термостабилизации медного контура;
- Система термостабилизации алюминиевого контура
- Система охлаждения медного контура

Баки с вакуумными насосами

На сегодняшний день разработано КД и изготовлены баки на 3 подсистемы. Вакуумные насосы так же изготовлены и поставлены ООО «АркоЛаб»).

Насосные модули

Насосные модули – разработано КД, начато изготовление 3-х насосных модулей. Все оборудование для насосных модулей закуплено.

Раздающие коллектора

Раздающие коллектора находятся на финальной стадии моделирования, планируемы срок сдачи КД - 10.05.2024. В настоящий момент закуплена пробная партия регулирующих седельных пневмоклапанов. Планируется их тестирование до 16.05.2024г. Также закуплена пробная партия расходомеров. Ожидается их поставка в начале мая. После получения расходомеров планируется их тестирование в течение мая. После тестирования, если будет получен положительный результат, планируется их закупка.

Сборные коллектора

На сборные коллектора разработано КД, запуск в производство планируется после окончания конструкторских работ по раздающим коллекторам. 15.05.2024

Конструкторские работы на MPD

Коллектора ESCAL

Производятся конструкторские работы по моделированию коллекторов для ESCAL, модели для согласования планируется предоставить к 30.04.2024

Трассировки труб

Разработана схема заполнения окон MPD и силового каркаса, смоделировано заполнение самых загруженных окон, изготовлен макет 17 и 19 окна магнитопровода в полную величину и произведена прокладка труб в соответствии с моделью и расчётами. Модель прокладки труб во всех окнах магнитопровода планируется завершить 31.05.2024

Трассировка труб по магниту и переход на платформу находятся в разработке, планируемая дата окончания 31.05.2024

Электрика и автоматизация

В настоящий момент идет разработка конструкторских и схемотехнических решений. Окончание работ планируется до конца мая. Запущены в производство шкафы управления насосных модулей (металлические оболочки). Окончание их производства планируется до конца мая. Производство основных шкафов управления и силовой электроники планируется запустить после окончания конструкторских работ в конце мая. Срок изготовления – до конца июля.

Конструкторские работы на MPD

Коллектора ECAL

Производятся конструкторские работы по моделированию коллекторов для ECAL, модели для согласования планируется предоставить к 30.04.2024

Трассировки труб

Разработана схема заполнения окон MPD и силового каркаса, смоделировано заполнение самых загруженных окон, изготовлен макет 17 и 19 окна магнитопровода в полную величину и произведена прокладка труб в соответствии с моделью и расчётами. Модель прокладки труб во всех окнах магнитопровода планируется завершить 31.05.2024

Трассировка труб по магниту и переход на платформу находятся в разработке, планируемая дата окончания 31.05.2024

Электрика и автоматизация

В настоящий момент идет разработка конструкторских и схемотехнических решений. Окончание работ планируется до конца мая. Запущены в производство шкафы управления насосных модулей (металлические оболочки). Окончание их производства планируется до конца мая. Производство основных шкафов управления и силовой электроники планируется запустить после окончания конструкторских работ в конце мая. Срок изготовления — до конца июля.