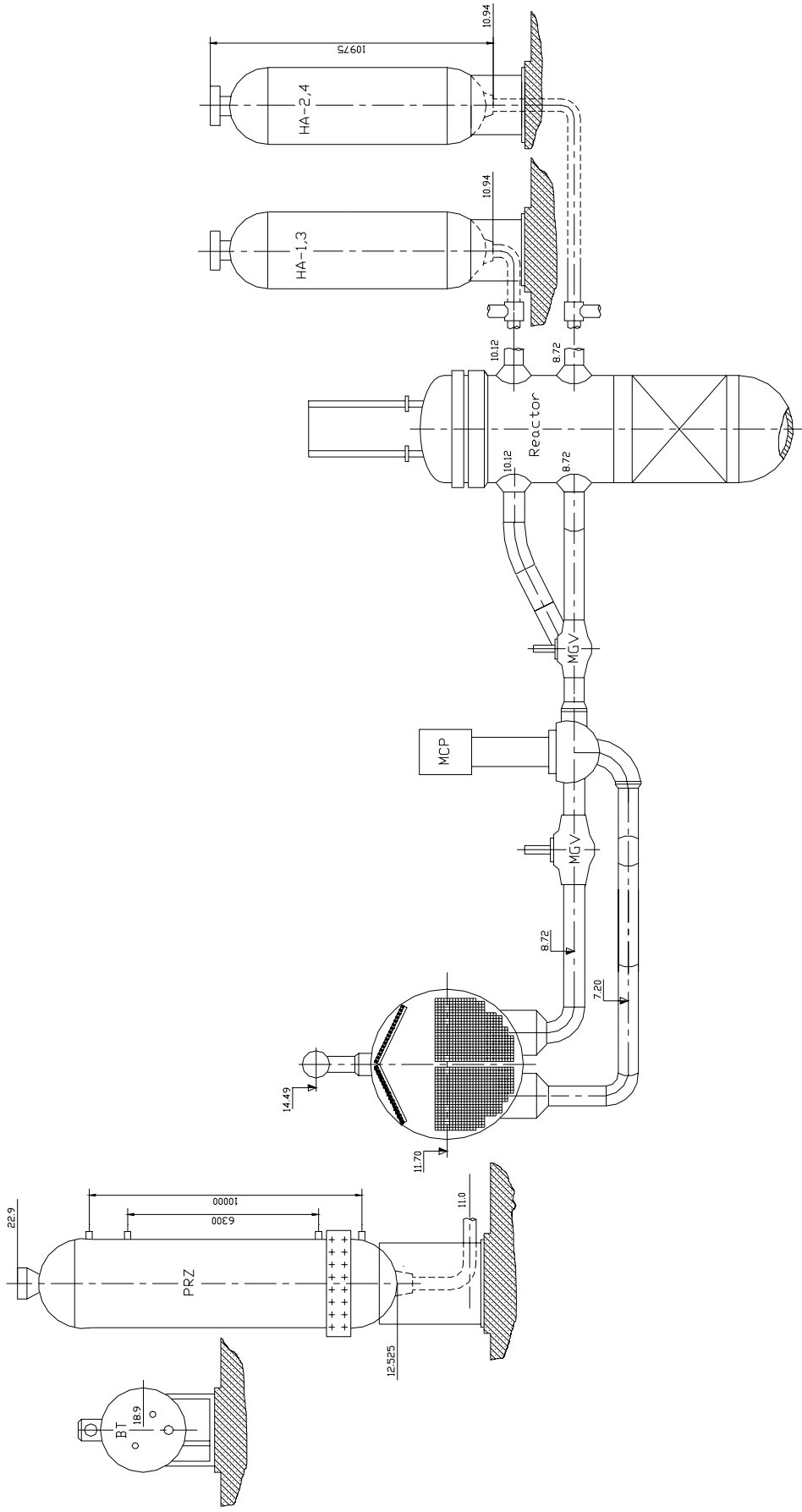


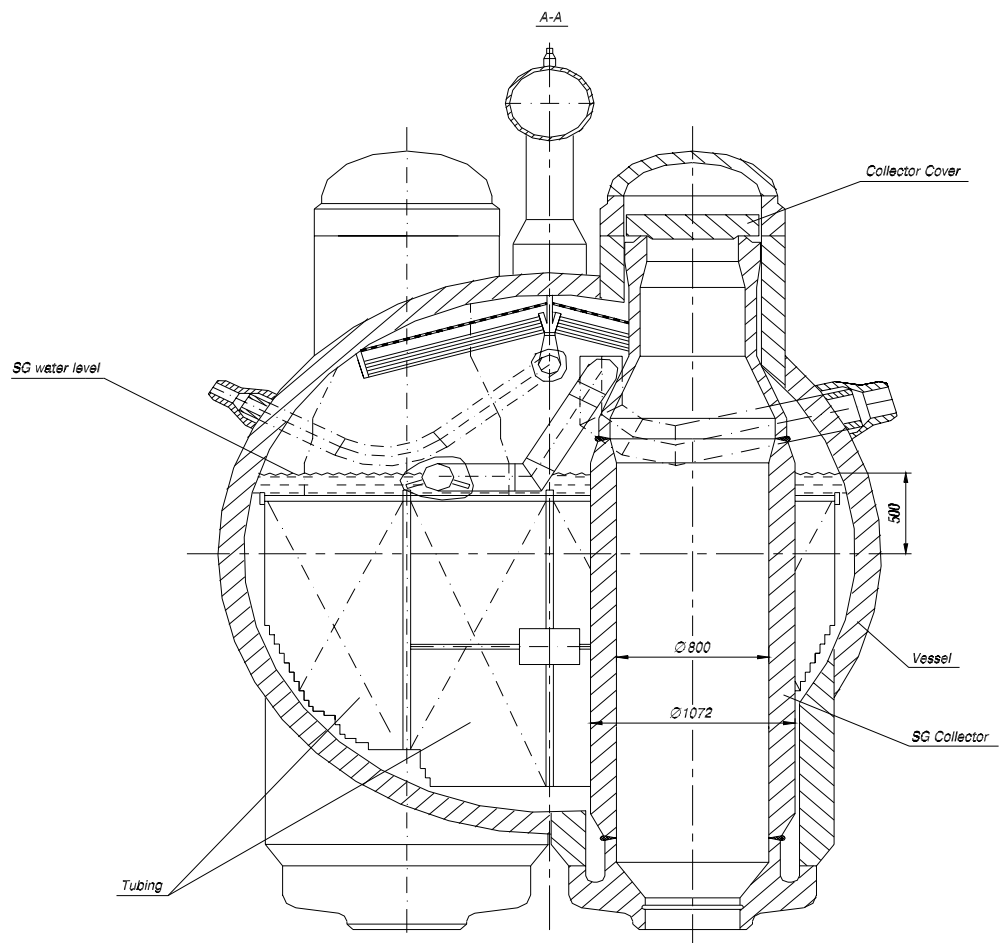
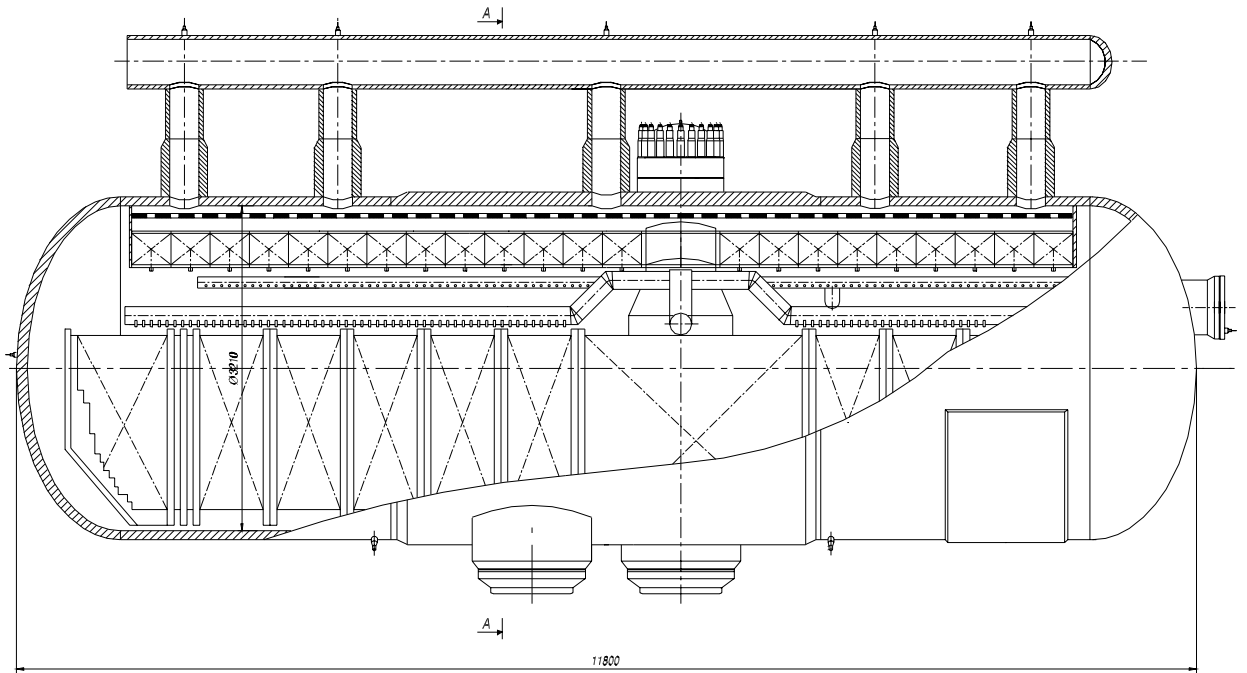
Моделирование течей из первого контура во второй в реакторных установках с реакторами типа ВВЭР-440 с использованием расчетного кода RELAP5/MOD3.2.

В. Борисенко, И. Каденко, А. Крушинский, В. Мукоид

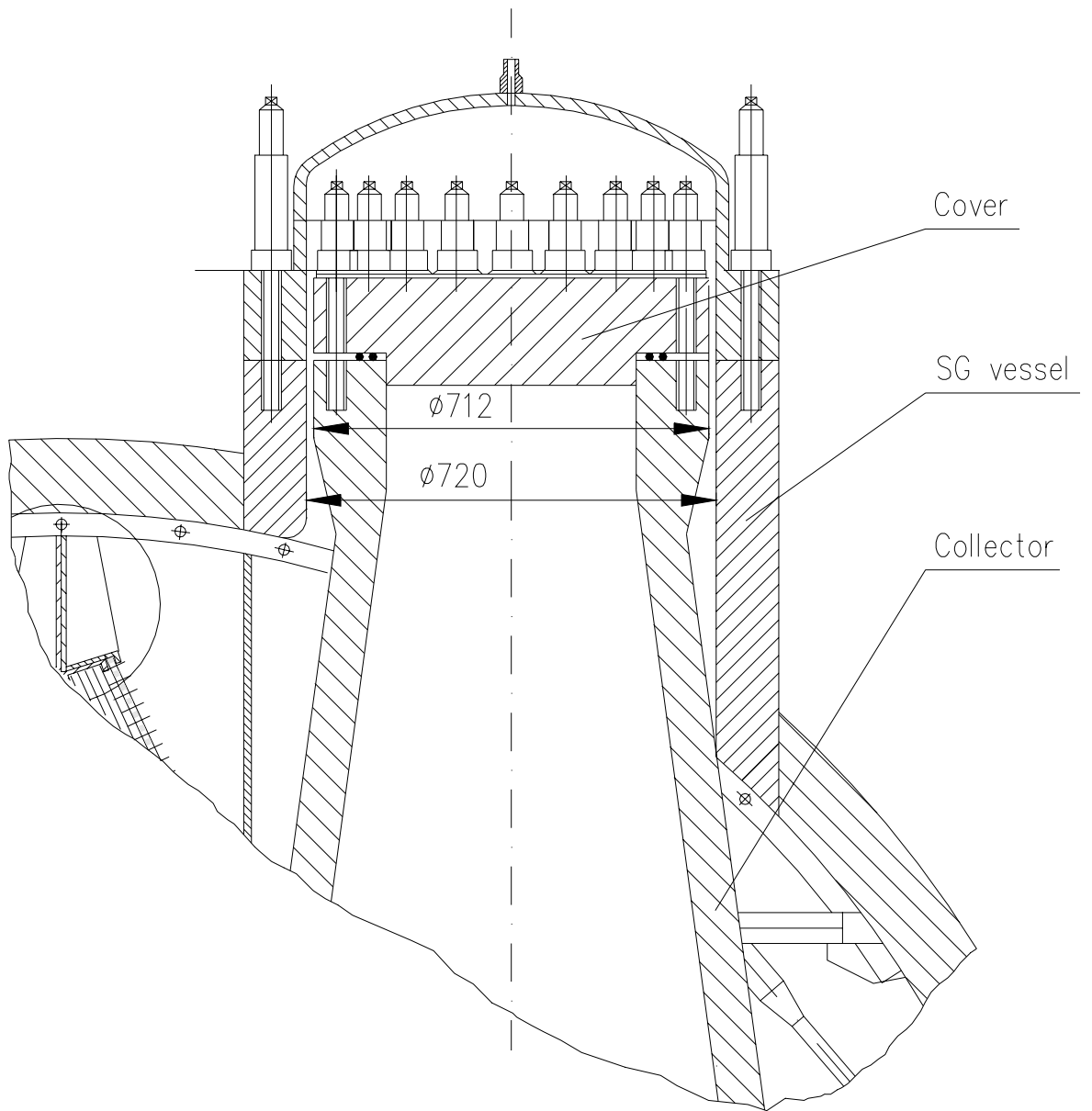
Данная работа посвящена валидации расчетного кода RELAP5/MOD3.2 с точки зрения возможности его использования для расчета теплогидравлических процессов в реакторных установках с реакторами типа ВВЭР. С помощью специально разработанной шестипетлевой RELAP-модели для реактора типа ВВЭР-440 выполнено моделирование переходного процесса, реально имевшего место при эксплуатации энергоблока и обусловленного наличием течи из первого контура во второй. Приведены результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных.



Rivne NPP Unit 1



Steam Generator



SG Collector with Cover

1. ПРЕДЫСТОРИЯ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Энергоблок №1 Ровенской АЭС проектной электрической мощностью 440 МВт с реакторной установкой ВВЭР-440 введен в действие 22.12.1980 г. и в период до 22.01.1982 г. работал на различных уровнях мощности, включая максимально разрешенную – 90% от номинальной.

В 1 час 23 минуты 22.01.1982 г. по причине обесточивания ПНЧИ произошло падение кассеты АРК (09-28) с проектной скоростью 20-30 см/с. При этом мощность реактора снизилась от 90% до 73%. В 1 час 27 минут кассета была взведена, после чего мощность за 5 минут возросла до 82%.

В 1 час 32 минуты (время начала аварии) началось резкое снижение давления первого контура и уровня теплоносителя в компенсаторе давления, вызванное разгерметизацией первого контура вследствие отрыва крышки горячего коллектора парогенератора №5.

На момент начала аварии тепловая нагрузка реактора была равна 1100 МВт (82% от номинальной) при суммарной электрической нагрузке двух турбогенераторов 365 МВт. Блок находился в процессе подъема мощности до номинального уровня 90% с регламентной скоростью 2% номинальной мощности в минуту. В работе находились шесть главных циркуляционных петель первого контура с общим расходом теплоносителя через активную зону 40500 м³ /час и подогревом теплоносителя в реакторе 26.5⁰С. Системы безопасности РУ, включая систему аварийного охлаждения активной зоны, находились в состоянии ожидания согласно проекта.

2. ИНФОРМАЦИЯ О ПЕРЕХОДНОМ ПРОЦЕССЕ

Информация Ровенской АЭС о переходном процессе, которая может быть использована для анализа Стандартной проблемы:

- Краткое описание предыстории переходного процесса;
- Параметры физических процессов, задокументированные в виде непрерывных записей на координатной бумаге с помощью самописцев и представленные в электронном виде;
- Информация о работе основного технологического оборудования первого и второго контуров (в хронологической последовательности);
- Информация о работе систем безопасности (в хронологической последовательности);
- Информация о действиях обслуживающего персонала станции, направленных на ликвидацию аварии (в хронологической последовательности);
- Метрологические характеристики измеренных параметров (шкалы измерений физических величин и нормы точности измерений, регистрируемых УВС).

Указанная выше информация предназначена:

- для задания начальных и граничных условий при моделировании данного переходного процесса с помощью модели RELAP;
- для выполнения сравнительного анализа результатов расчета, которые будут получены путем моделирования, и результатов измерений параметров переходного процесса с помощью штатных средств измерения и регистрации параметров энергоблока №1РАЭС.

3. ХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ СОБЫТИЙ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА.

Время, ч:м:с	Описание события (Работа оборудования)	Примечание
0:00:00	Начало течи из первого контура во второй эквивалентным диаметром 107 мм	Разгерметизация "горячего" коллектора ПГ-5
0:00:12	АЗ-1	$P_{1к} < 95 \text{ кгс/см}^2$
0:00:30	Ввод в действие трех каналов САОЗ ВД.	
0:00:30	Сигнал на закрытие СКТГ-2	Действия оператора
0:00:50	Сигнал на закрытие СКТГ-1	Действия оператора при снижении $P_{гпк}$ с 47 до 42 кгс/см ²
0:01:00	Начало подачи от ГЕ-1(2,3)	$P_{1к} < 60 \text{ кгс/см}^2$
0:06	Начало подачи НБП-3 в петлю №6 ($G=50 \text{ м}^3/\text{ч}$)	Действия оператора.
0:13	Отключение ГЦН-5. Закрытие ГЗЗ-5	Действия оператора.
0:15	Подключение ГЕ-4	Действия оператора.
0:30	Отключение ГЦН-3. Закрытие ГЗЗ-3	Действия оператора (из-за роста уровня в ПГ-3).
0:39	Начало течи горячего коллектора ПГ-1	Изменение $P_{1к}$ от 105 до 40 кгс/см ²
0:40	Отключение ГЦН-1. Закрытие ГЗЗ-1 "холодной" и "горячей" петель	Действия оператора. Наблюдается неплотность ГЗЗ
0:45	Срабатывание ПК ПГ-1	$P_{гпк} > 56.7 \text{ кгс/см}^2$
0:50	Отключение ГЦН-4. Закрытие ГЗЗ-4 "холодной" и "горячей" петель	Действия оператора (из-за несоответствия подпитки и уровня в ПГ-4).
0:59 ... 1:10	Срабатывание ПК ПГ-3,4,5	$P_{гпк} > 56.7 \text{ кгс/см}^2$
1:05	Отключение ГЦН-2,6	Причина не установлена
1:33	Включение ГЦН-6	Действия оператора.
2:06	Включение ГЦН-2	Действия оператора.
4:20	БРУ-К в режим "Расхолаживание" по штатной схеме через ПГ-2 и ПГ-6	Действия оператора.

4. ПАРАМЕТРЫ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ УВС

Зарегистрированные УВС параметры физических процессов, характеризующие протекание переходного процесса РУ, составляют основу для выполнения валидации расчетного кода RELAP5.

Регистрация измеряемых параметров в течение переходного процесса была реализована в виде непрерывных записей на координатной бумаге с помощью самописцев. Все, используемые для валидации, измеренные параметры были представлены в электронном виде в качестве отдельных файлов приложения EXCEL.

Отсчет времени ведется от момента начала течи теплоносителя из первого контура во второй вследствие разгерметизации “горячего” коллектора ПГ-5.

Список параметров переходного процесса энергоблока №1 ПАЭС для валидации расчетного кода RELAP5.

№	Наименование параметра
Первый контур	
1.	Нейтронный поток (по показаниям ИК)
2.	Нейтронный поток до начала аварии (по показаниям ИК)
3.	Давление в 1 контуре
4.	Средняя температура теплоносителя в первом контуре
5.	Температура петли №1 (“горячая нитка”)
6.	Температура петли №1 (“холодная нитка”)
7.	Температура петли №2 (“горячая нитка”)
8.	Температура петли №2 (“холодная нитка”)
9.	Температура петли №3 (“горячая нитка”)
10.	Температура петли №3 (“холодная нитка”)
11.	Температура петли №4 (“горячая нитка”)
12.	Температура петли №4 (“холодная нитка”)
13.	Температура петли №5 (“горячая нитка”)
14.	Температура петли №5 (“холодная нитка”)

№	Наименование параметра
15.	Температура петли №6 (“горячая нитка”)
16.	Температура петли №6 (“холодная нитка”)
17.	Уровень в КД (уровнемер с базой 10 м)
18.	Уровень в КД (уровнемер с базой 6,3м)
19.	Перепад давления на реакторе
20.	Напор ГЦН-2
21.	Напор ГЦН-3
22.	Напор ГЦН-4
23.	Напор ГЦН-5
24.	Напор ГЦН-6
25.	Температура корпуса КД (паровая, пароводяная и водяная части)
26.	Температура корпуса реактора (наружная поверхность)
Второй контур	
1.	Давление пара в ПГ-1
2.	Давление пара в ПГ-2
3.	Давление пара в ПГ-3
4.	Давление пара в ПГ-5
5.	Давление пара в ПГ-6
6.	Давление в ГПК
7.	Уровень котловой воды в ПГ-1
8.	Уровень котловой воды в ПГ-2
9.	Уровень котловой воды в ПГ-3
10.	Уровень котловой воды в ПГ-4
11.	Уровень котловой воды в ПГ-5
12.	Уровень котловой воды в ПГ-6

5. RELAP-МОДЕЛЬ ЭНЕРГОБЛОКА №1 РАЭС

Шестипетлевая расчетная модель РУ энергоблока №1 Ровенской АЭС разработана на базе имеющейся трехпетлевой теплогидравлической модели RELAP5 реакторной установки ВВЭР-440/213.

Разработка модели включает следующие этапы:

- Разработка нодализацияционной схемы;
- Разработка Описания набора исходных данных (Handbook);
- Разработка Набора исходных данных модели (Input Deck);
- Верификация и валидация расчетной модели;

Основные компоненты, которые требовали доработки при создании шестипетлевой теплогидравлической расчетной модели:

- Первый контур:
 - реактор (в части соединений ГЦТ и трубопроводами ГЕ);
 - главный циркуляционный трубопровод;
 - парогенераторы;
 - главные циркуляционные насосы.
- Второй контур:
 - парогенераторы;
 - паропроводы;
 - главный паровой коллектор (в части соединений с паропроводами);
 - БЗОК; ГПЗ; ПК ПГ.
- Основные технологические системы второго контура:
 - система основной питательной воды;
 - система вспомогательной питательной воды;
 - система аварийной питательной воды.
- Система аварийного охлаждения активной зоны (в части соединений с первым контуром).
- Контрольные системы.

Процессы для валидации расчетного кода RELAP5/MOD3.2

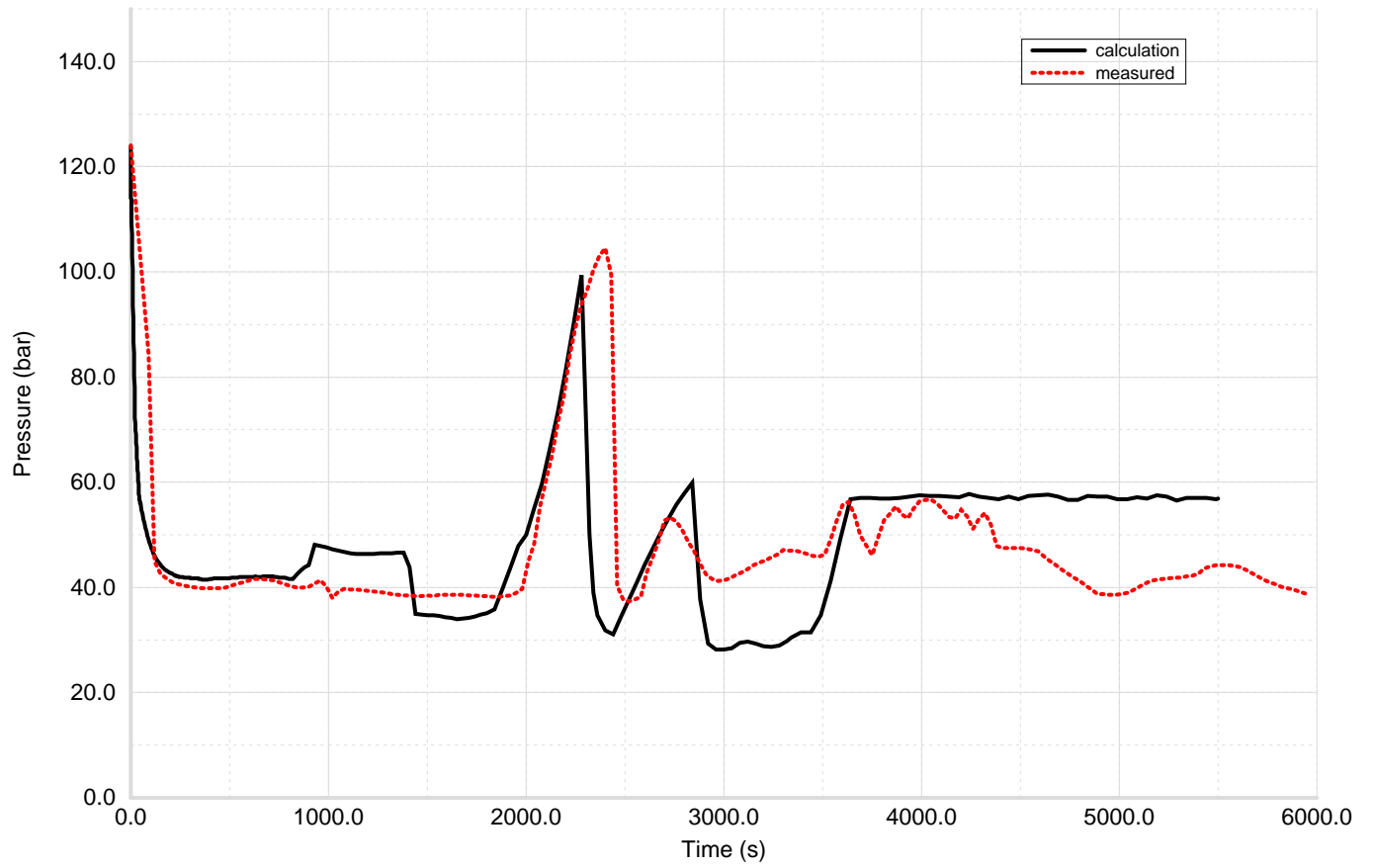
№	Описание	№ согласно USINSC/RINSC
1	Естественная циркуляция теплоносителя в реакторе и петлях	21
2	Теплопередача в ПГ	35, 36
3	Термогидравлика второго контура ПГ	51
4	Общесистемные эффекты	19
5	Перемешивание и конденсация при впрыске воды из САОЗ	3
6	Уровень пароводяной смеси в ПГ	26

Неопределенности данных.

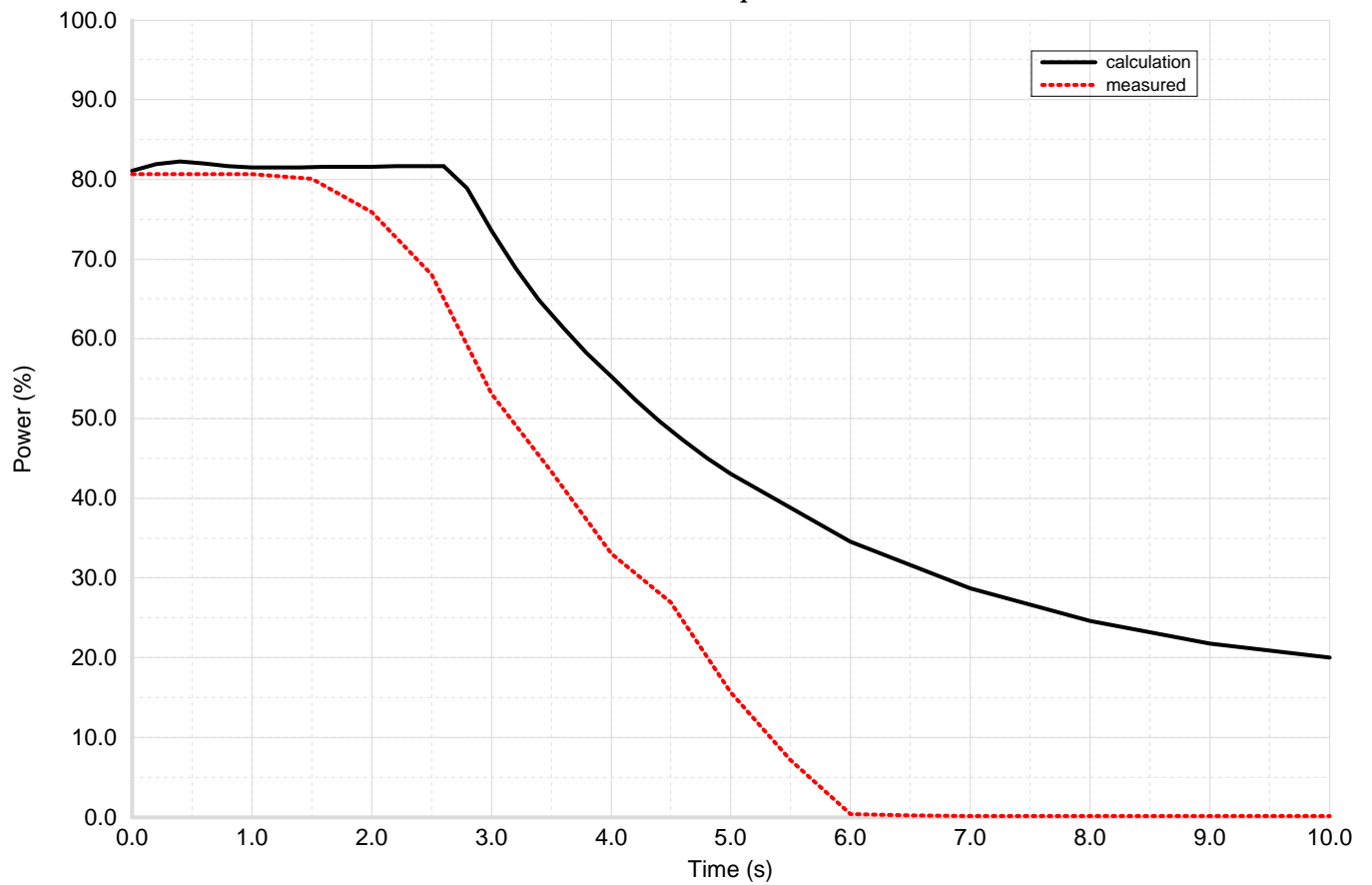
- Неопределенности данных по реализации автоматических блокировок для работы технологического оборудования:
 - СКТГ (закрытие оператором);
 - ГЗЗ (закрытие оператором);
 - БЗОК;
 - ГЦН.
- Неопределенности данных о величине открытия крышек коллекторов ПГ.
- Неопределенности данных о величине протечек ГЗЗ.

Primary to secondary leak

Primary side pressure

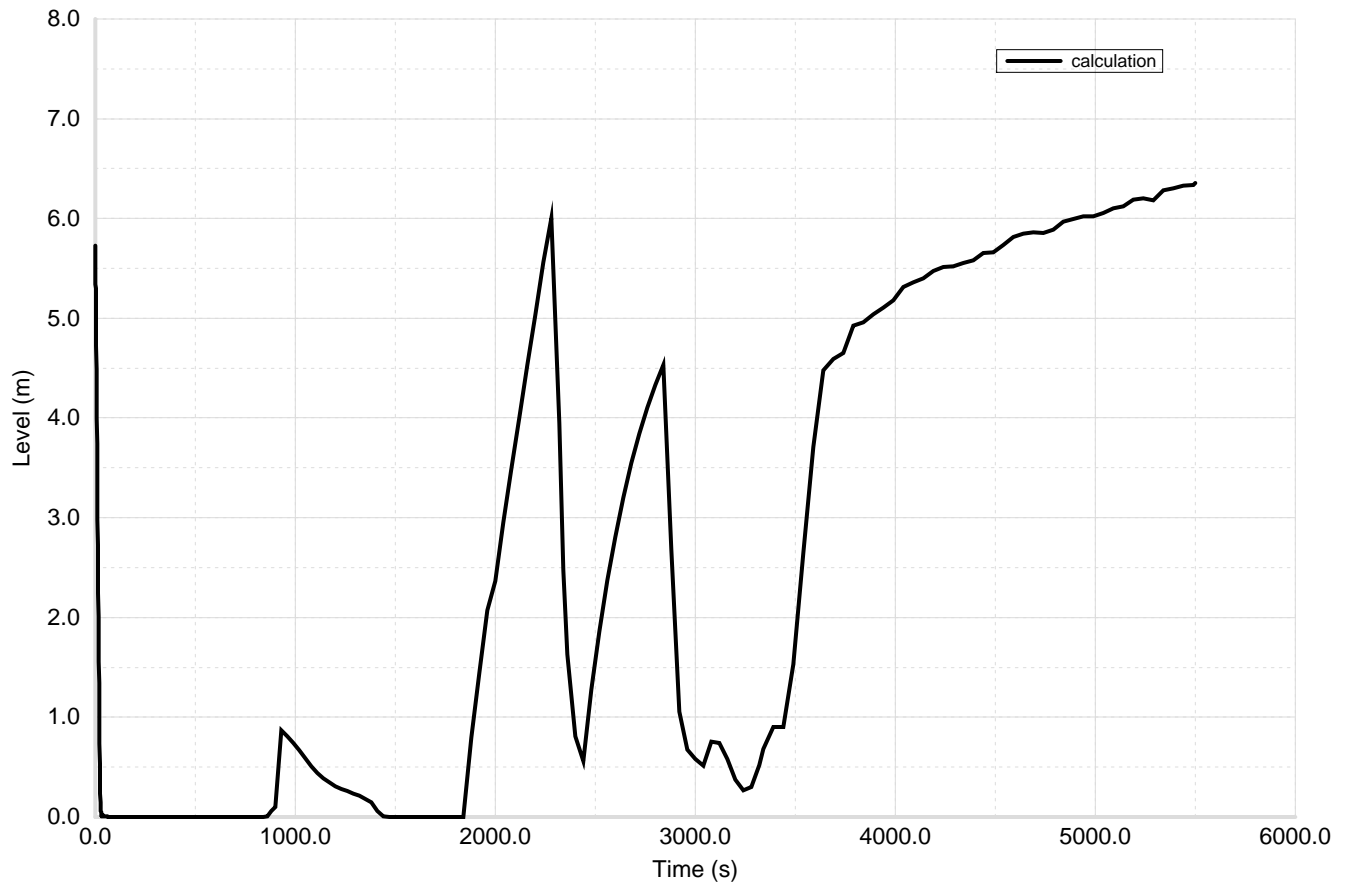


Reactor power

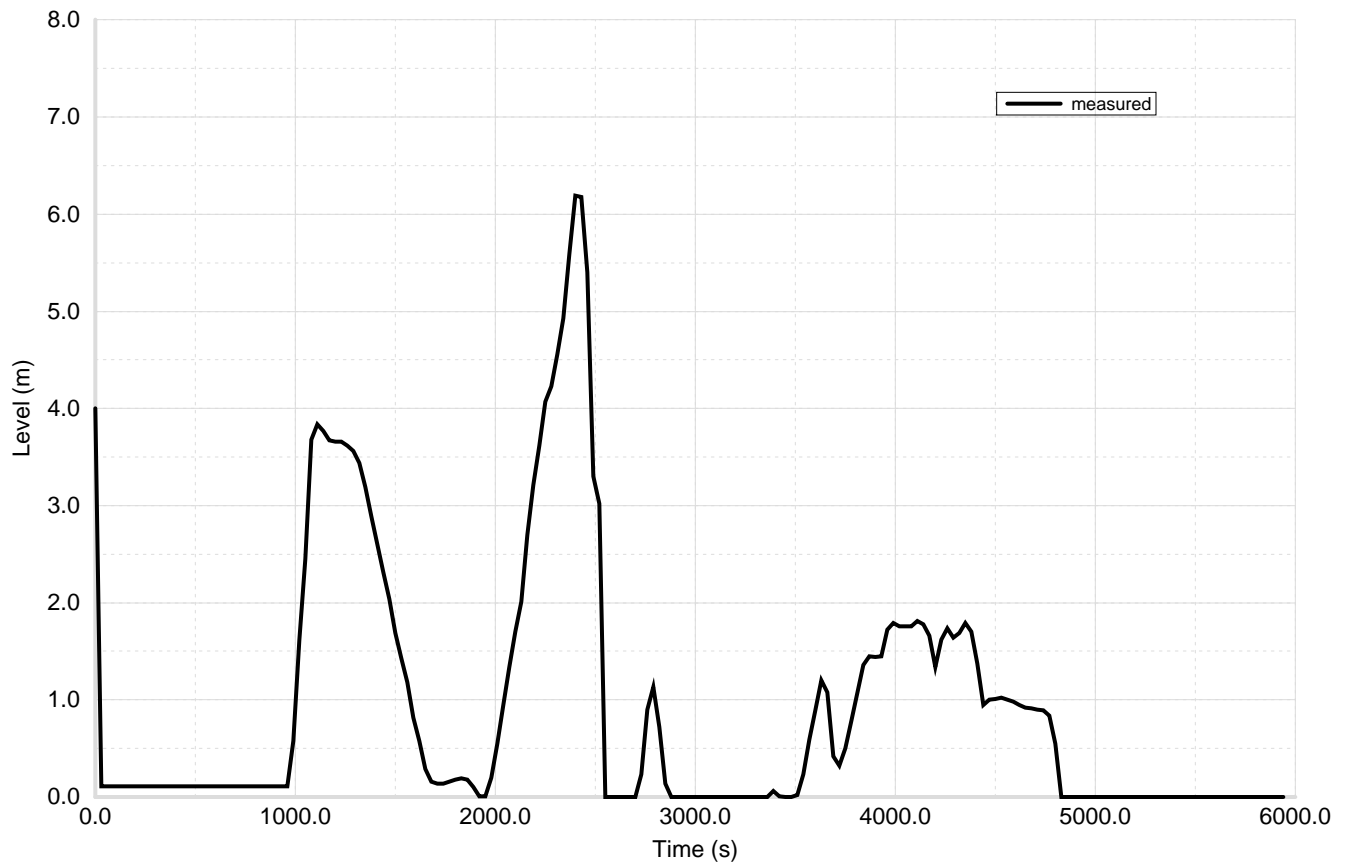


Pressuriser level

Calculation

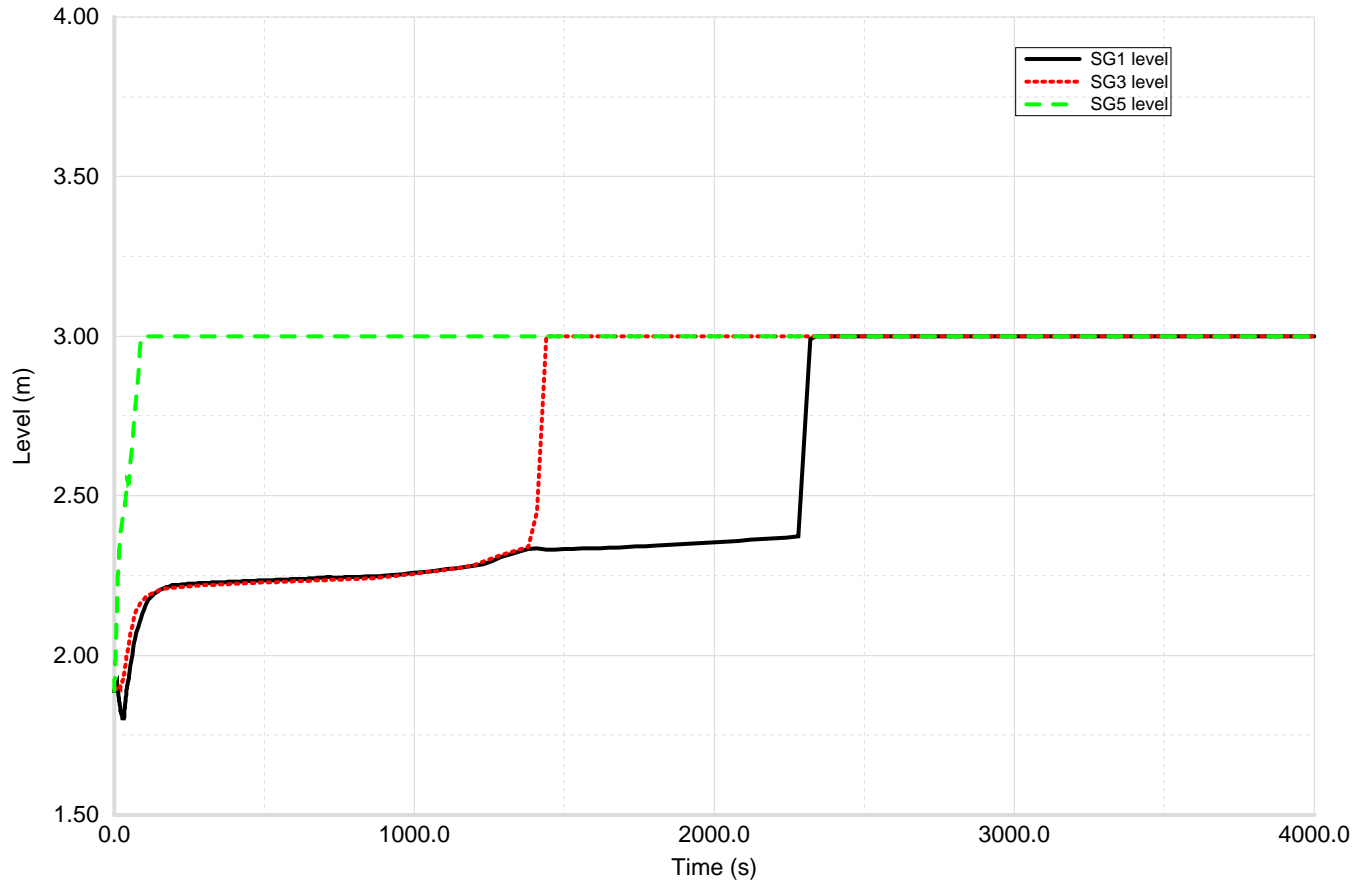


Measure

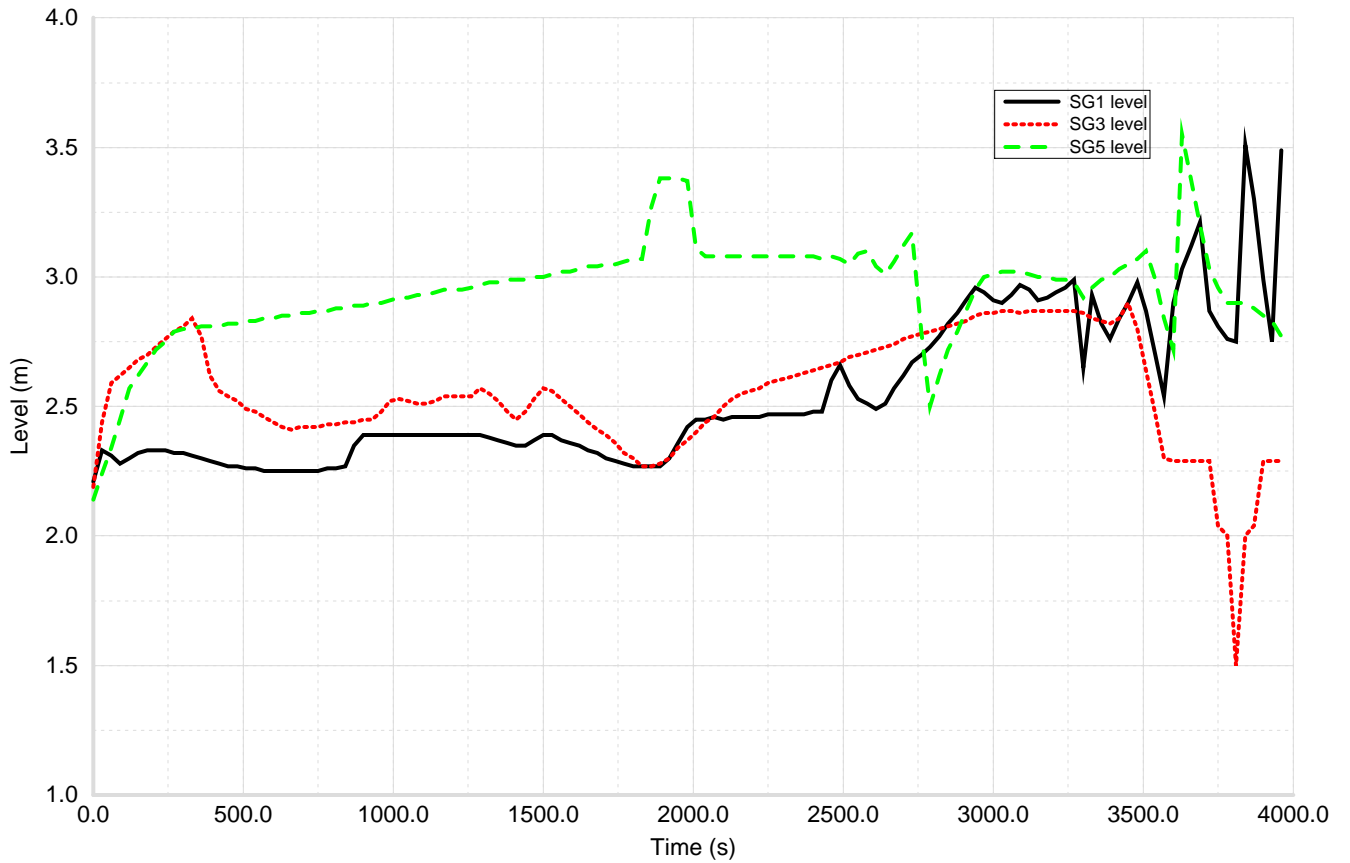


Steam generator levels

Calculation

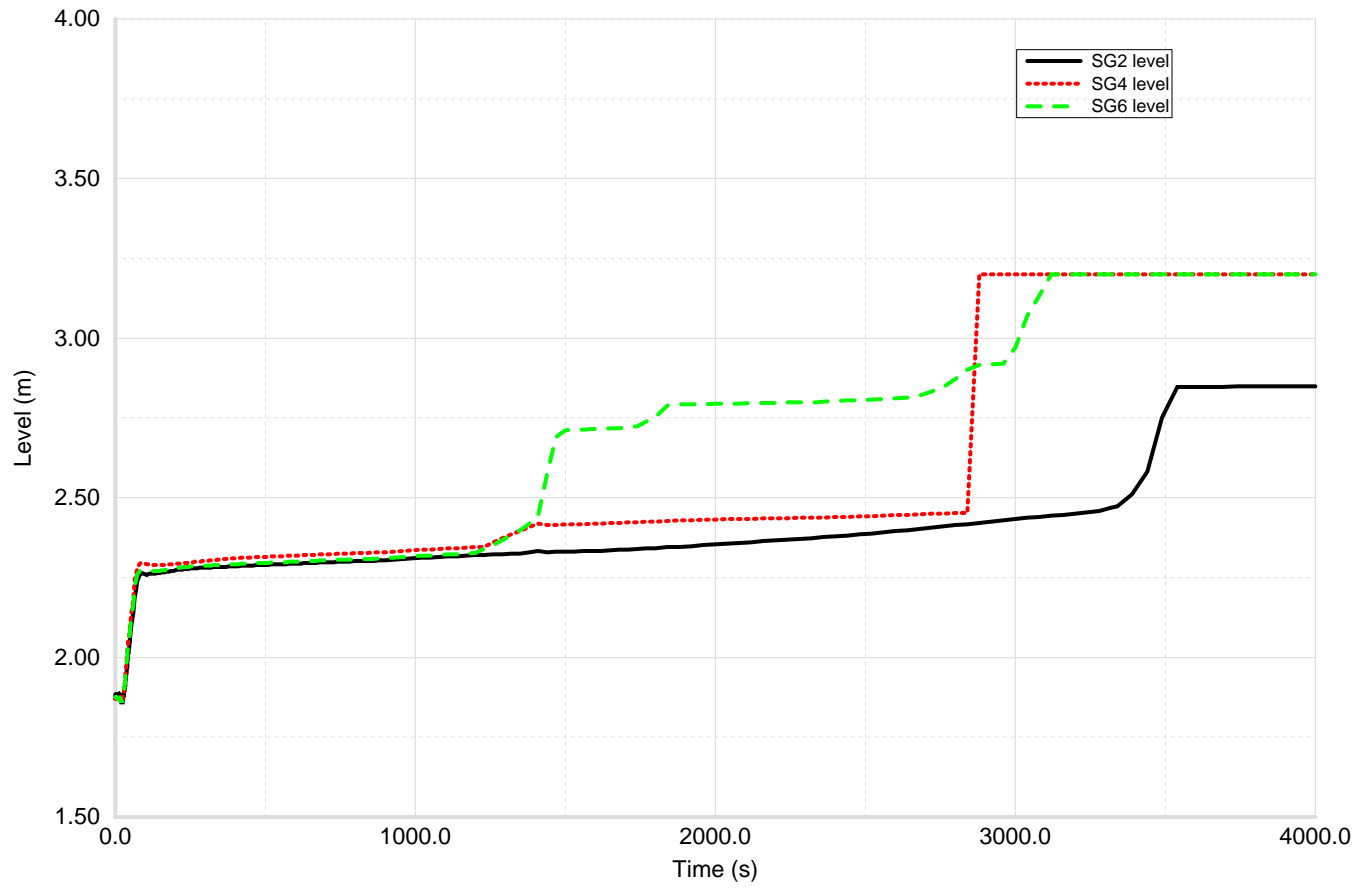


Measure

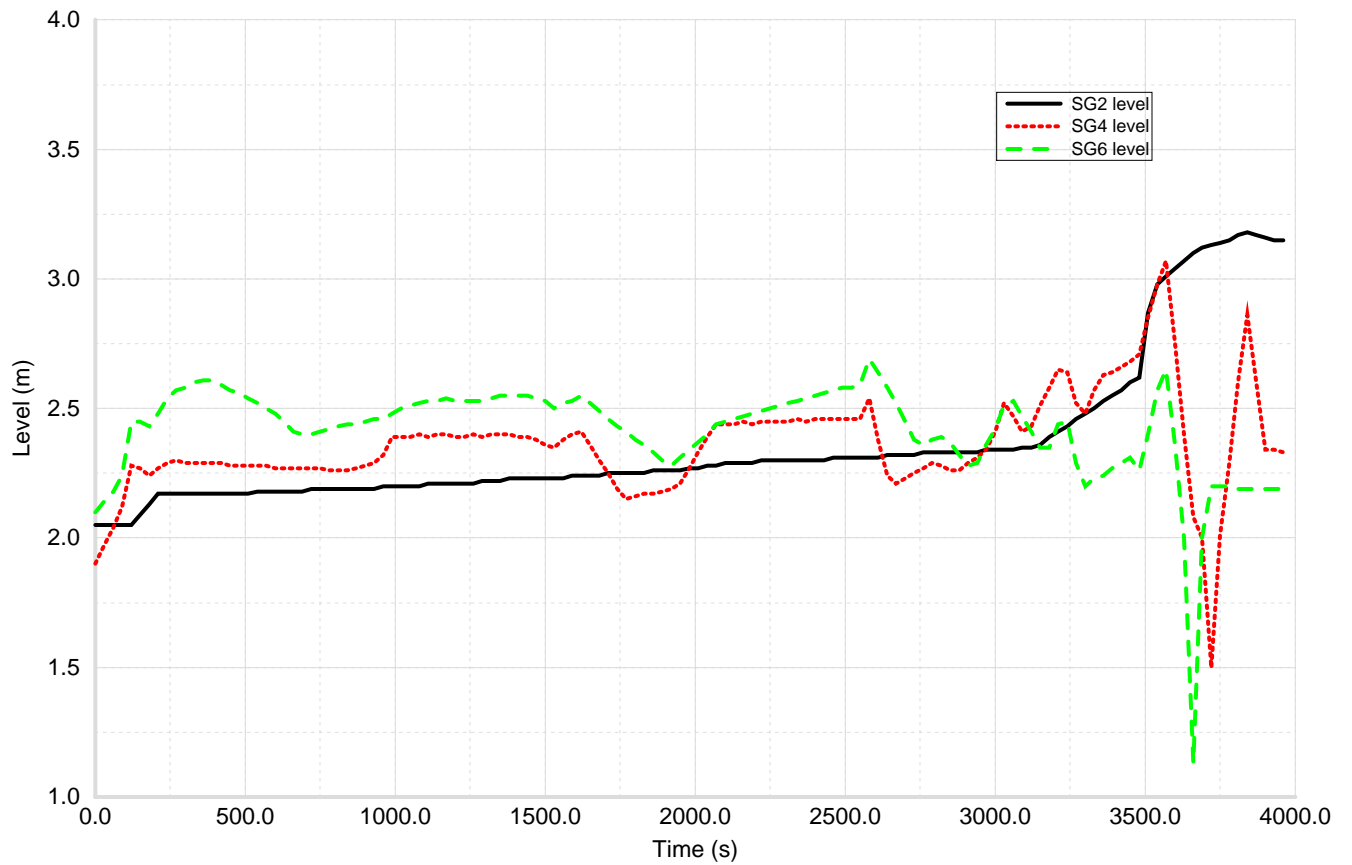


Steam generator levels

Calculation

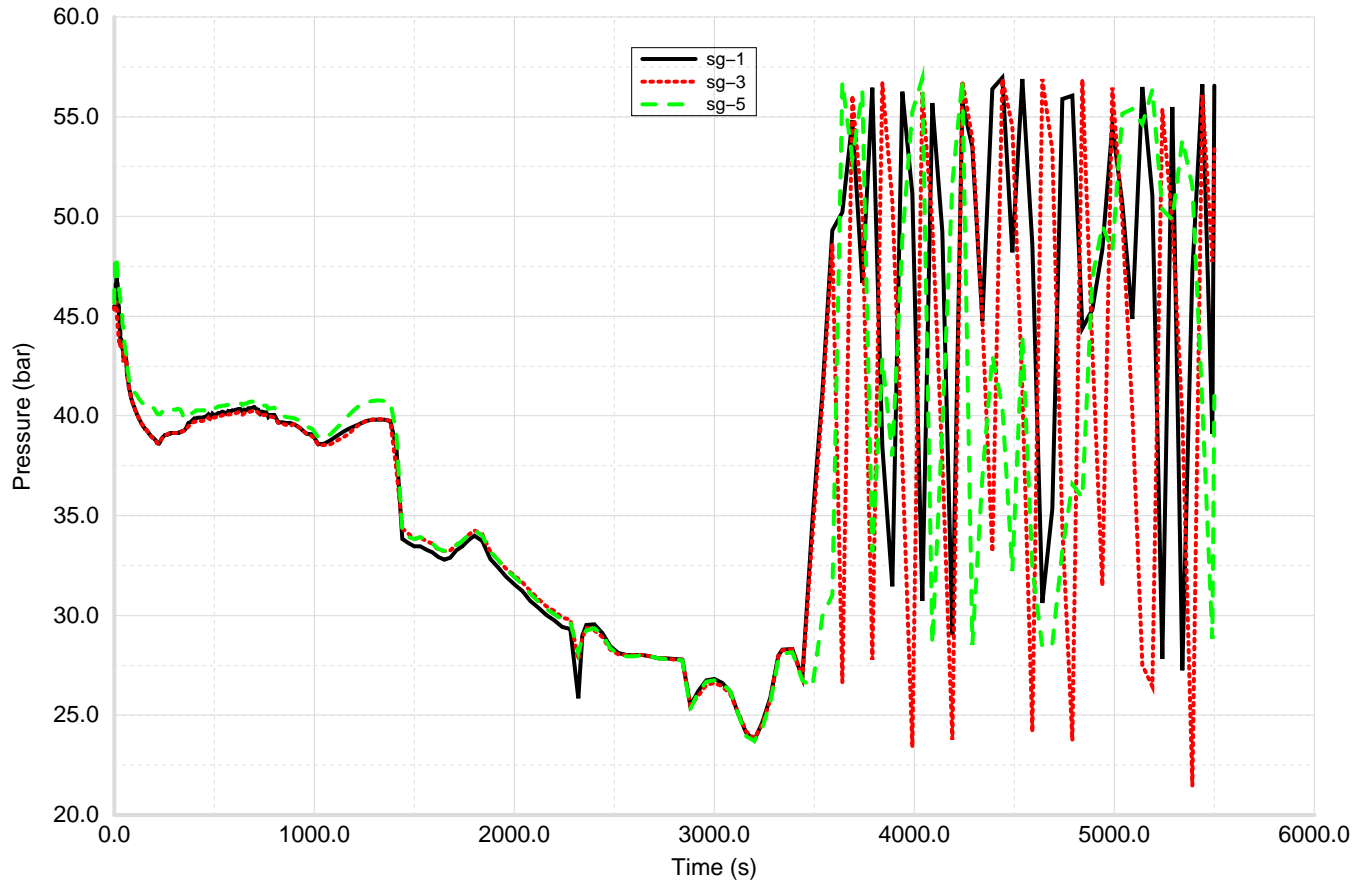


Measure

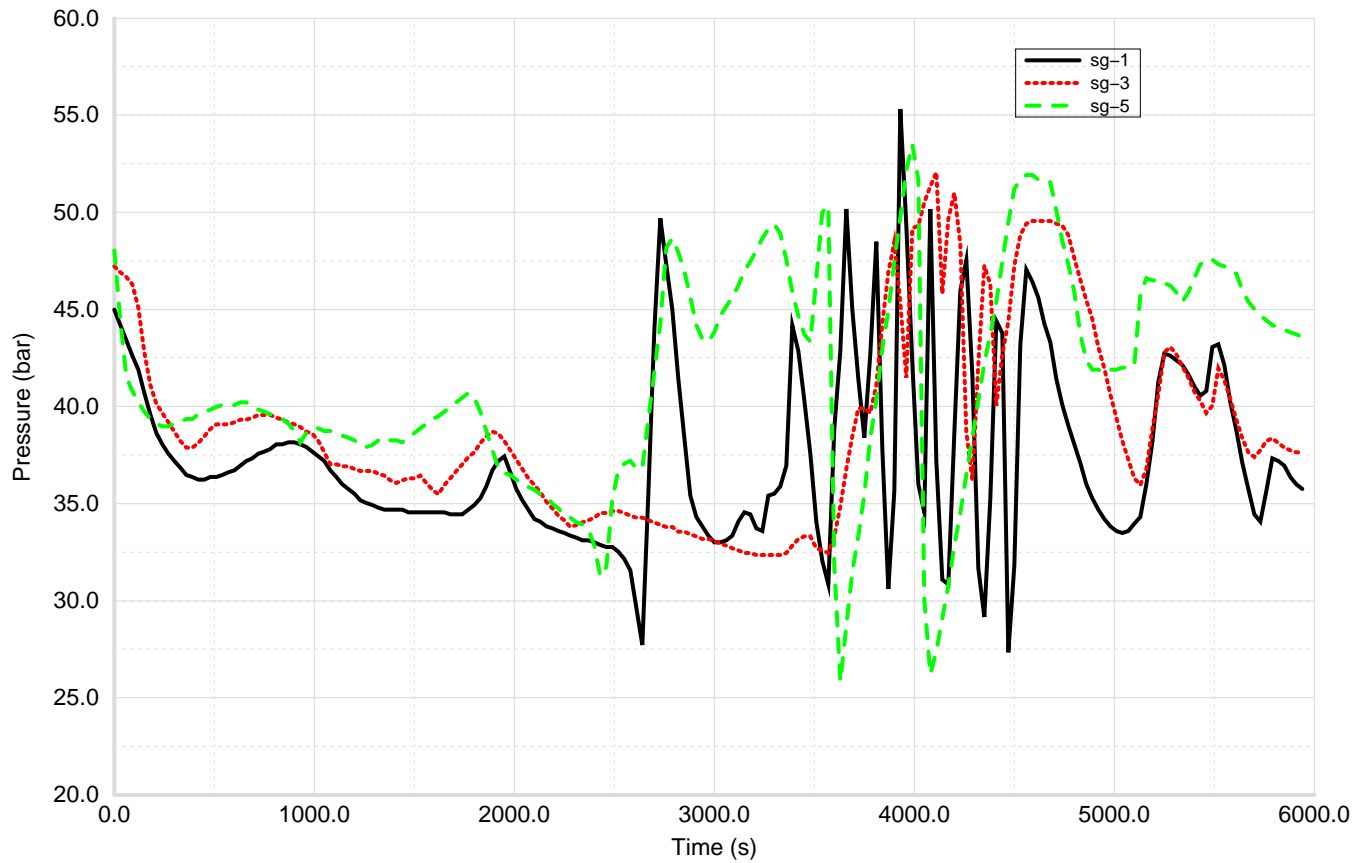


Steam generator pressure

Calculation

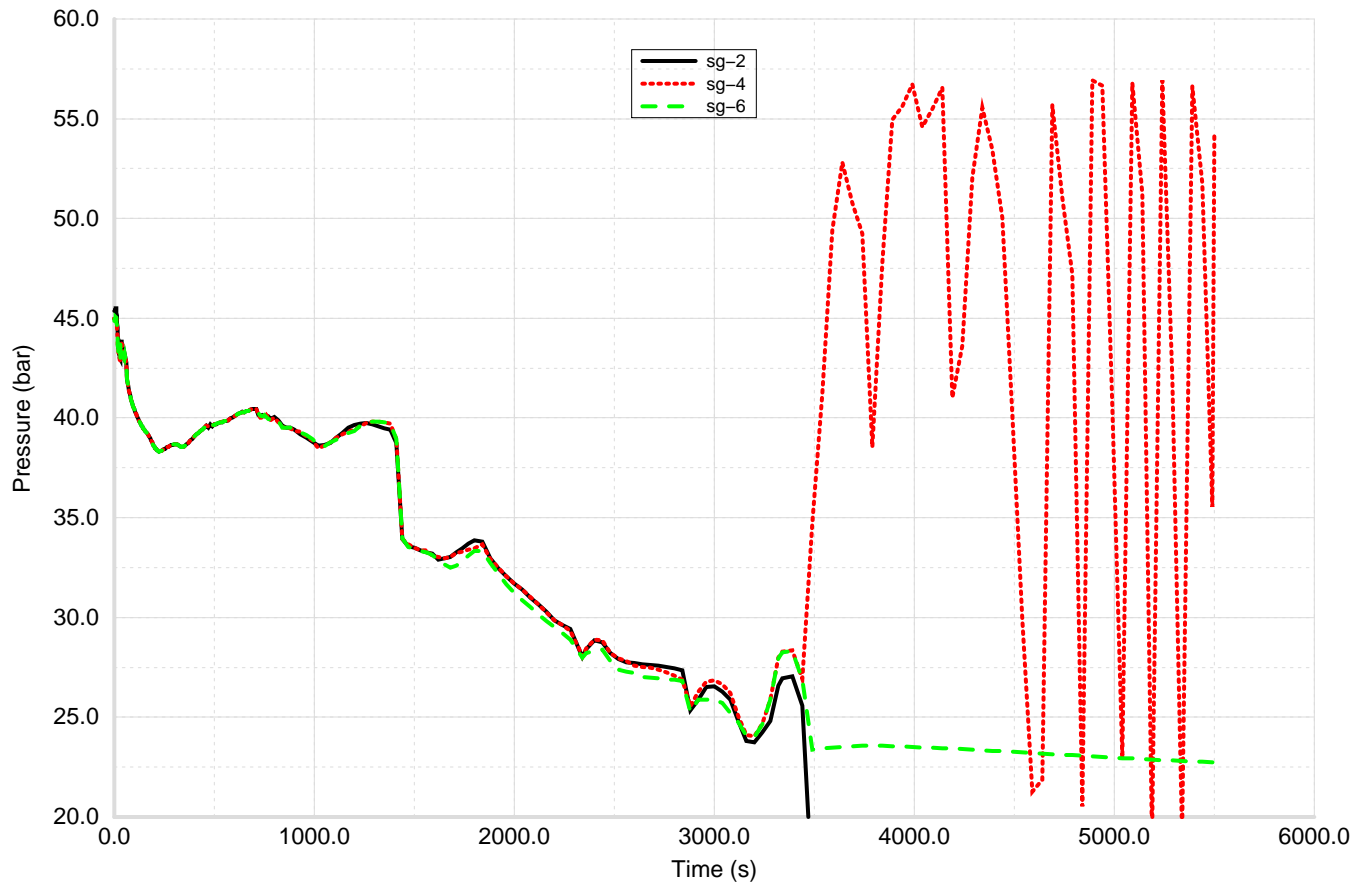


Measure

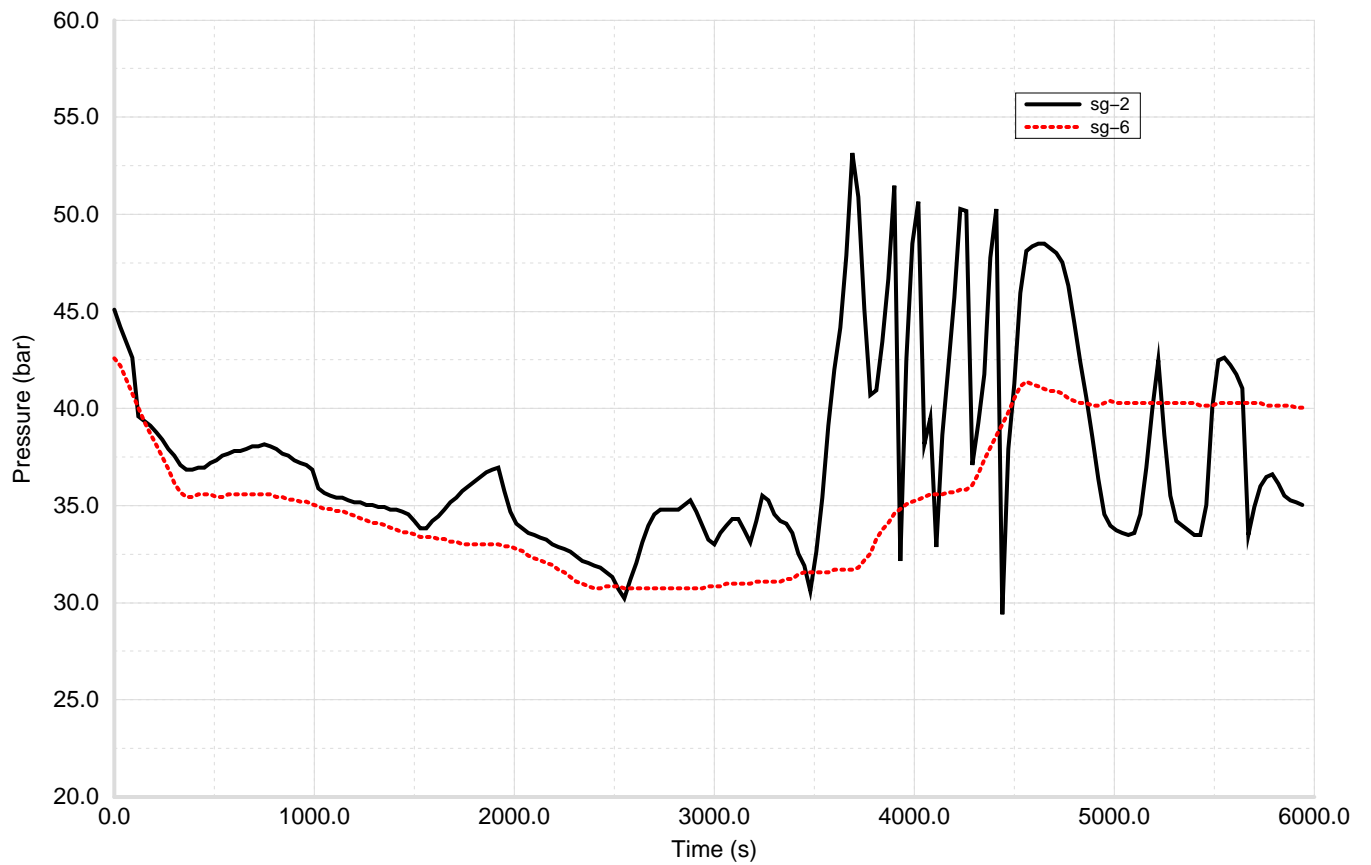


Steam generator pressure

Calculation

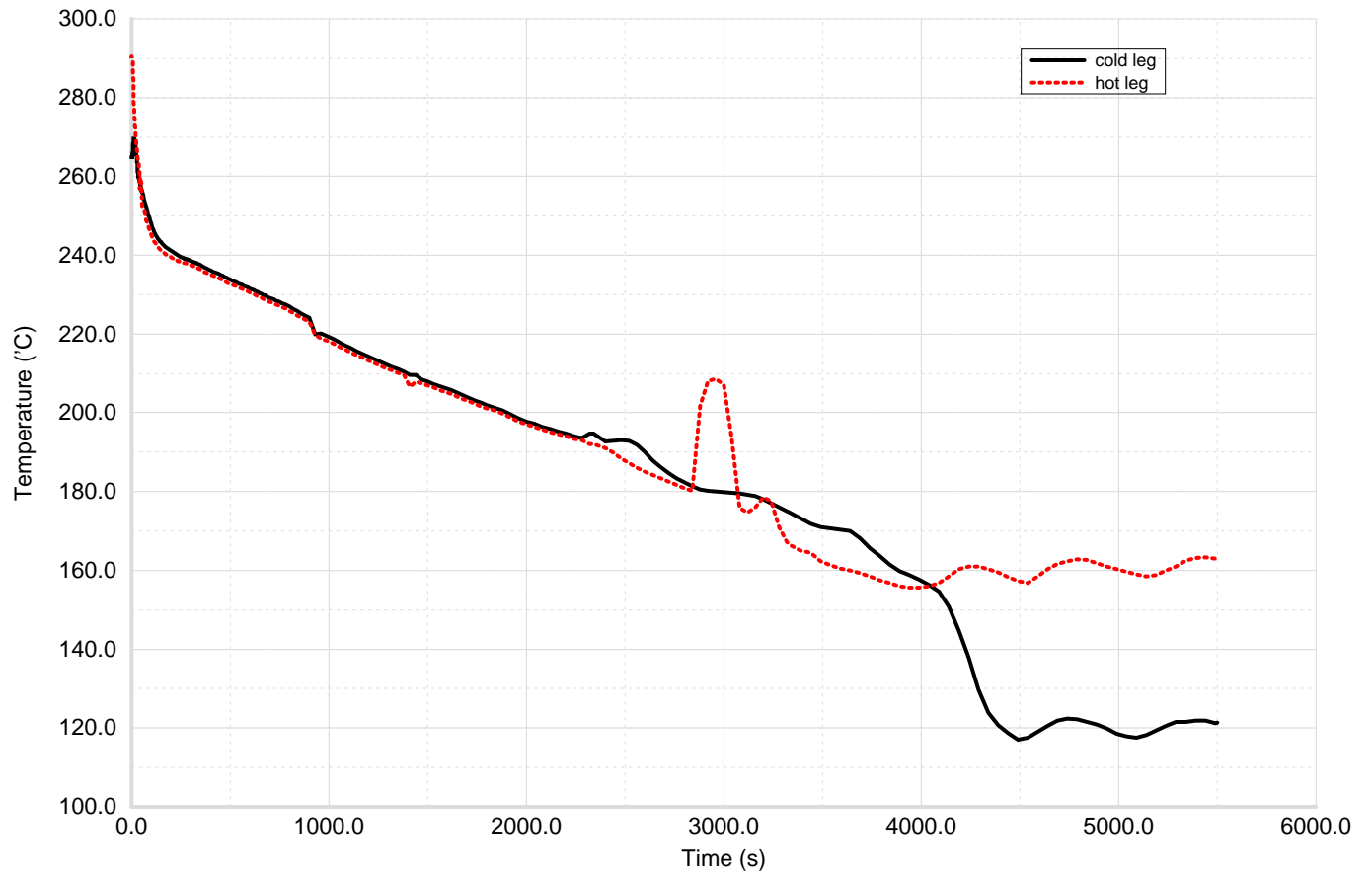


Measure

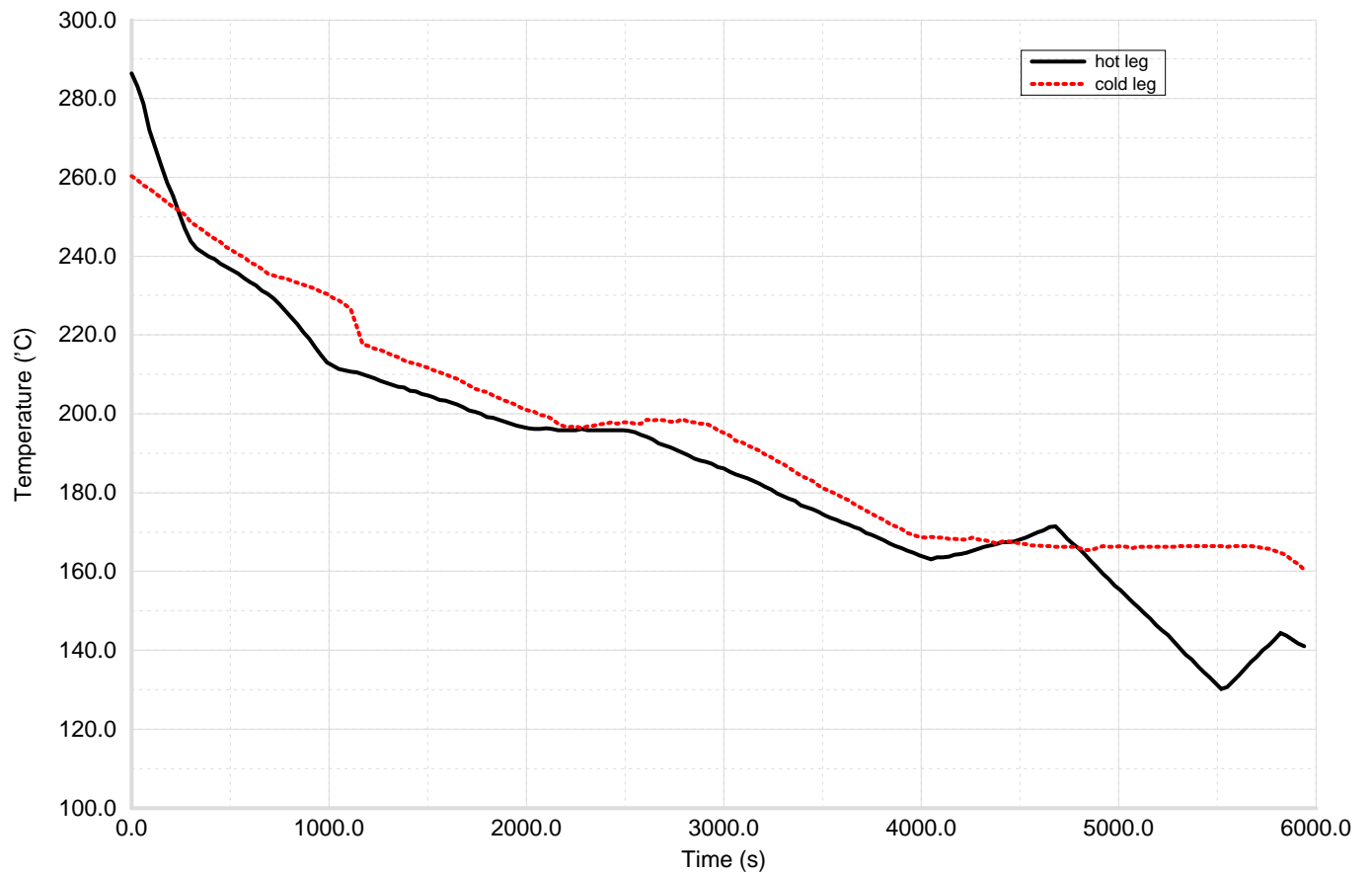


Loop1 cold and hot legs temperature

Calculation

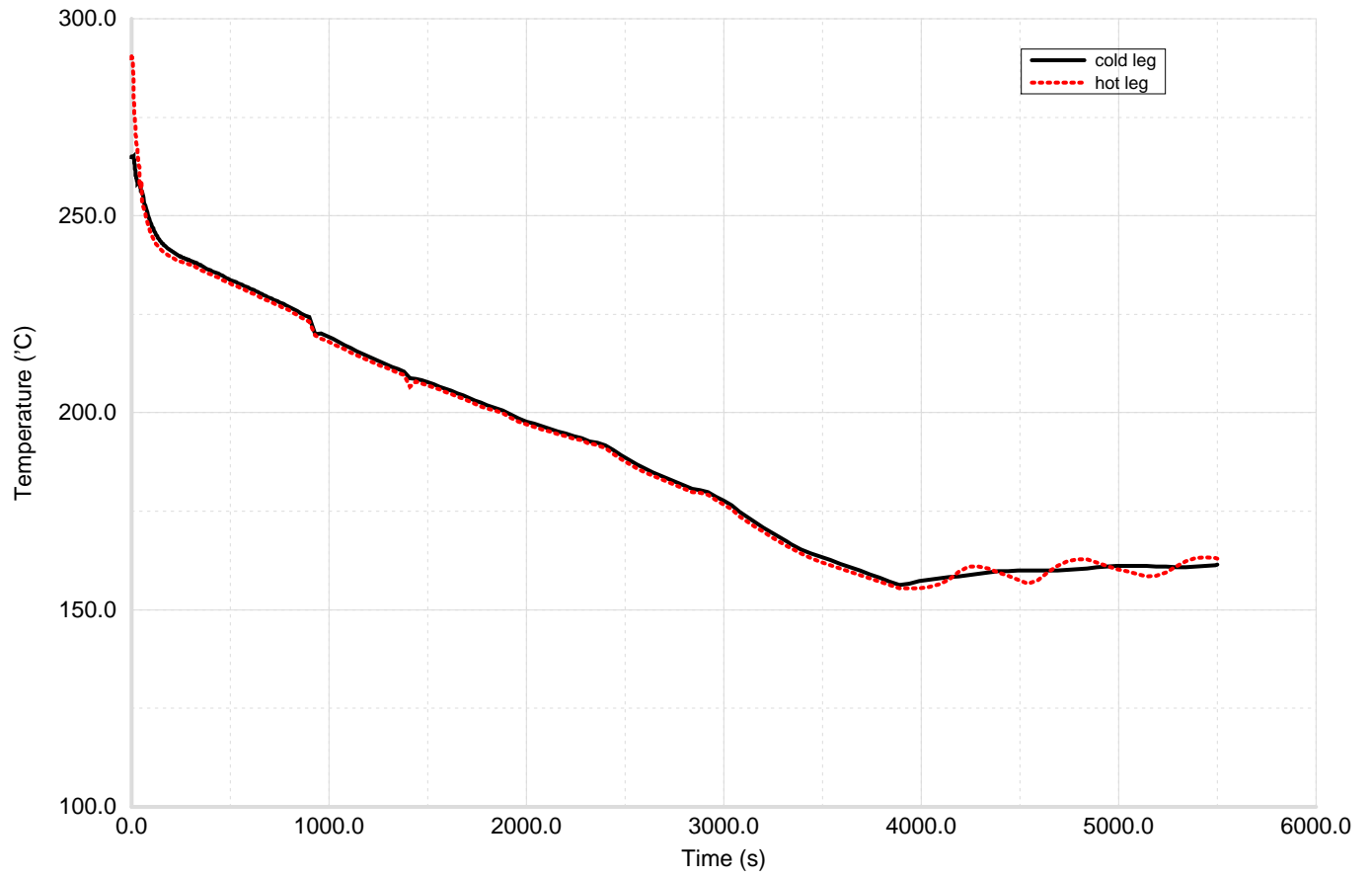


Measure

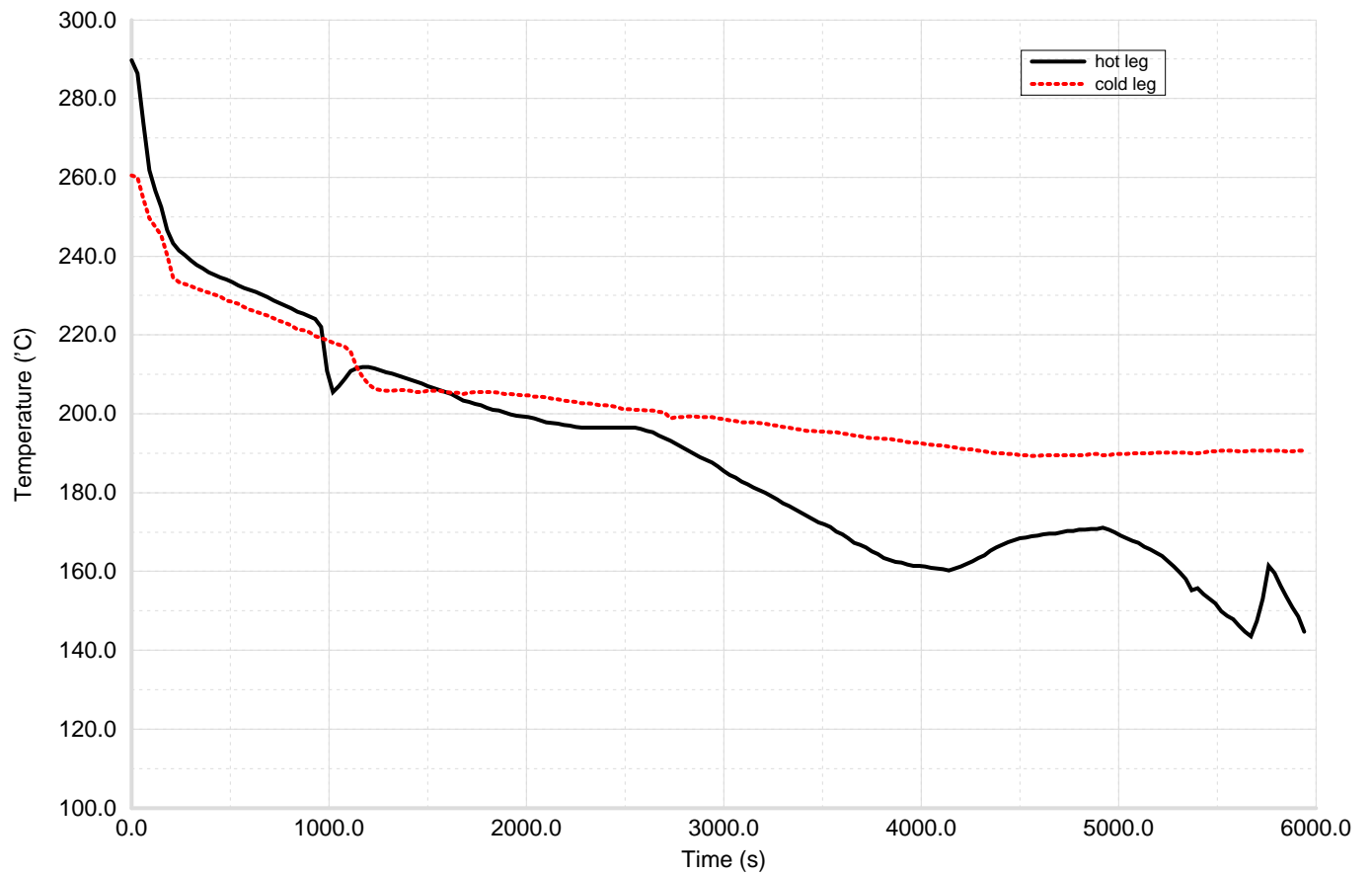


Loop2 cold and hot legs temperature

Calculation

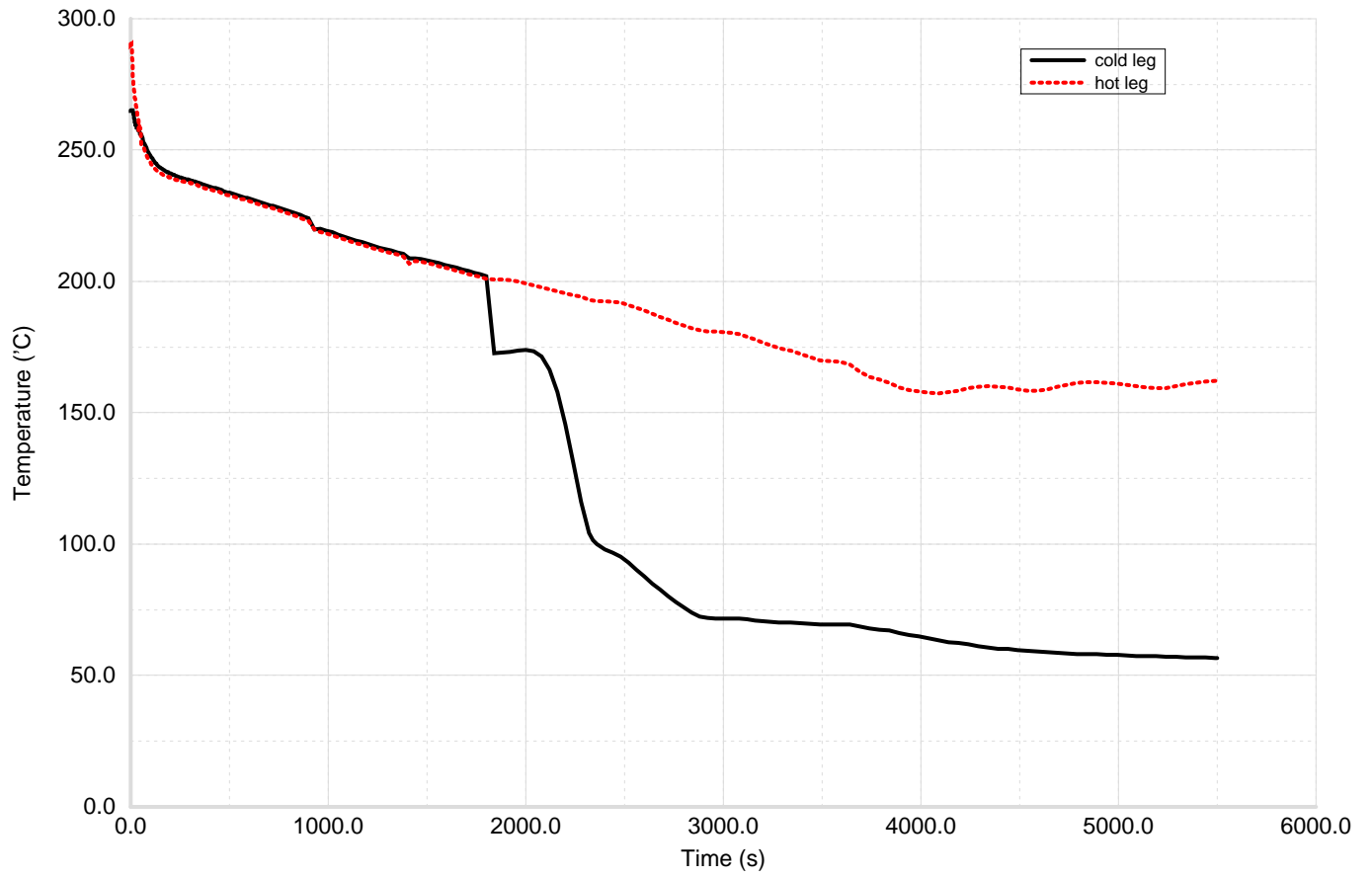


Measure

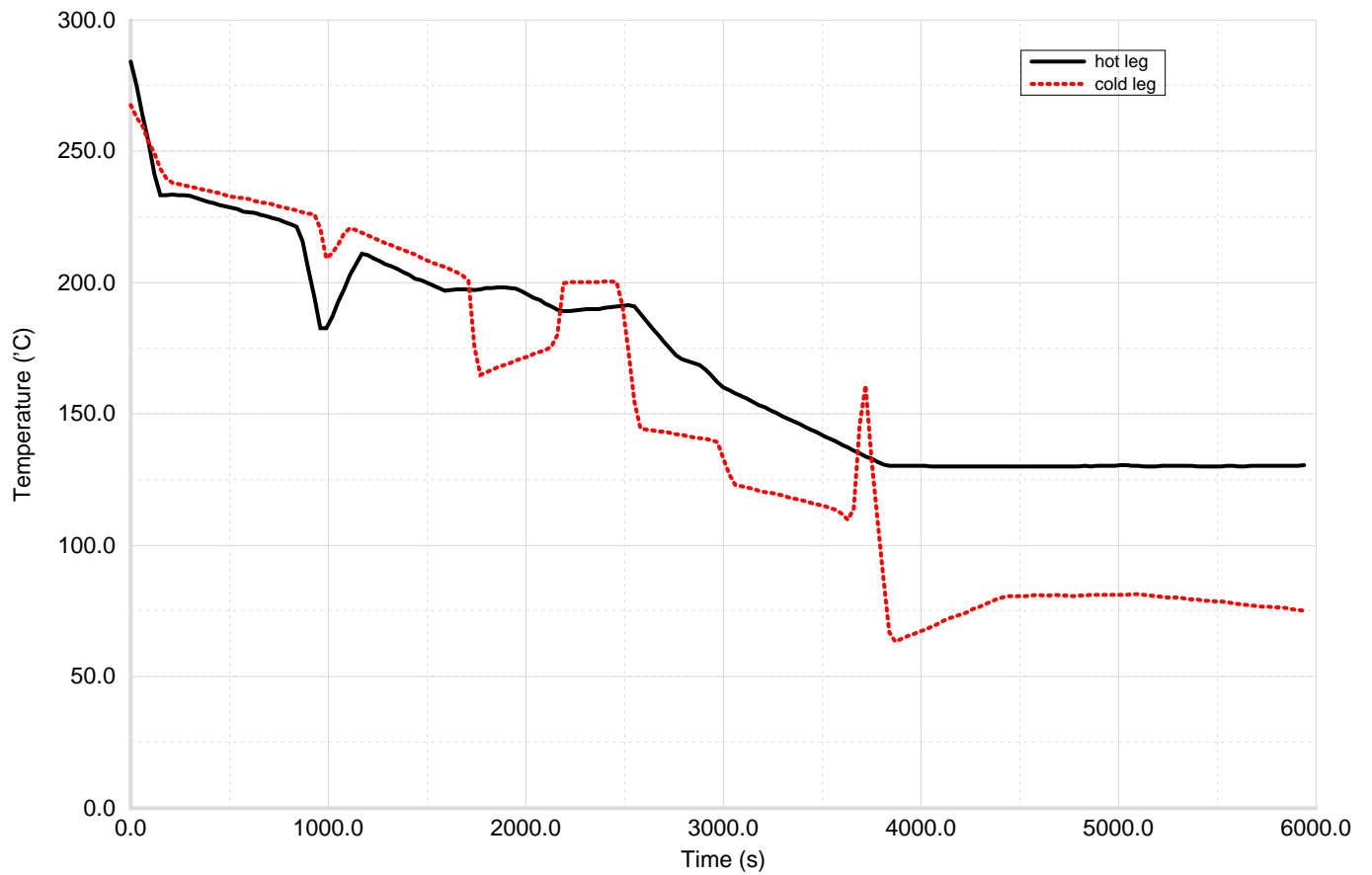


Loop3 cold and hot legs temperature

Calculation

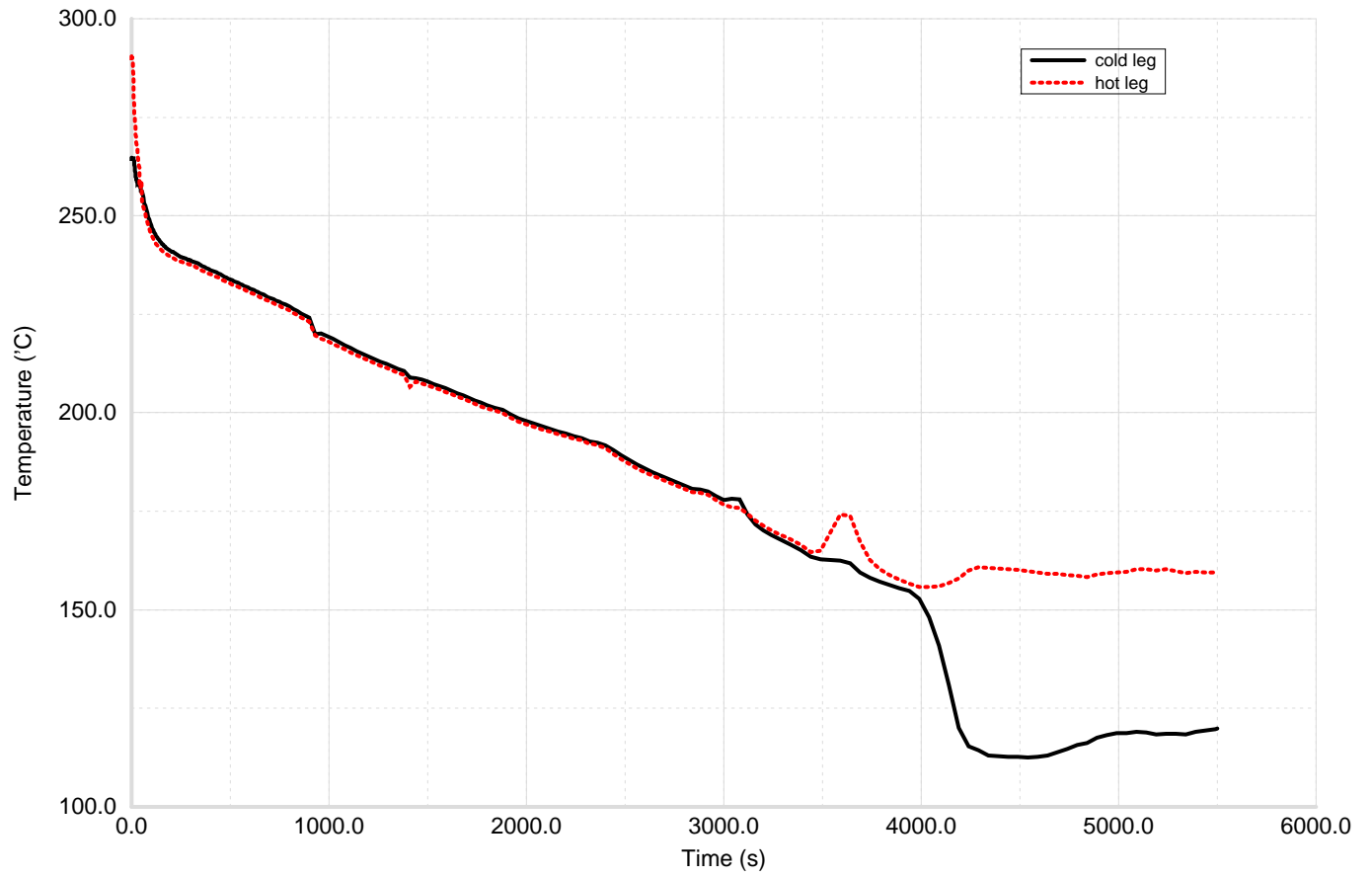


Measure2

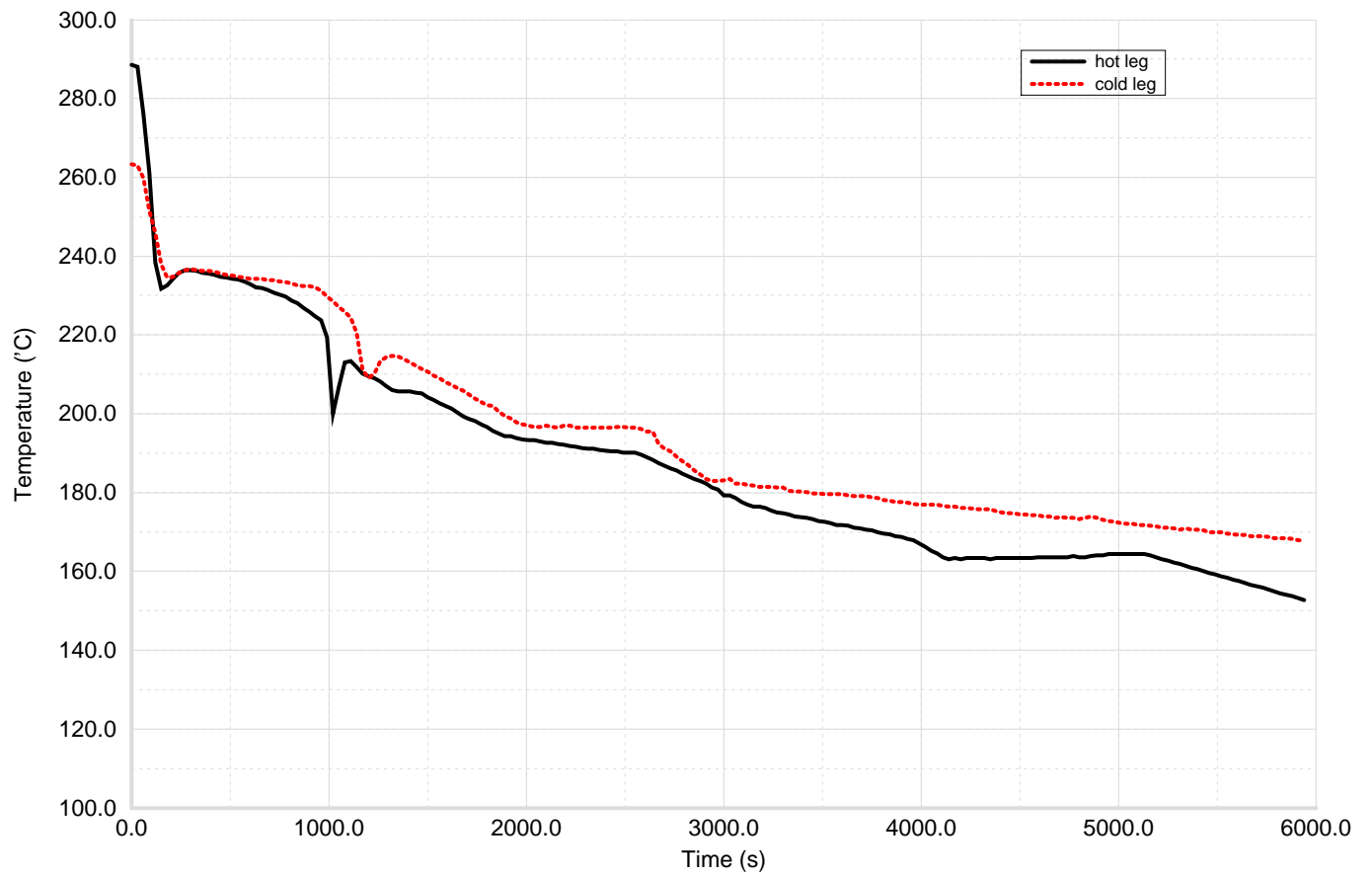


Loop4 cold and hot legs temperature

Calculation

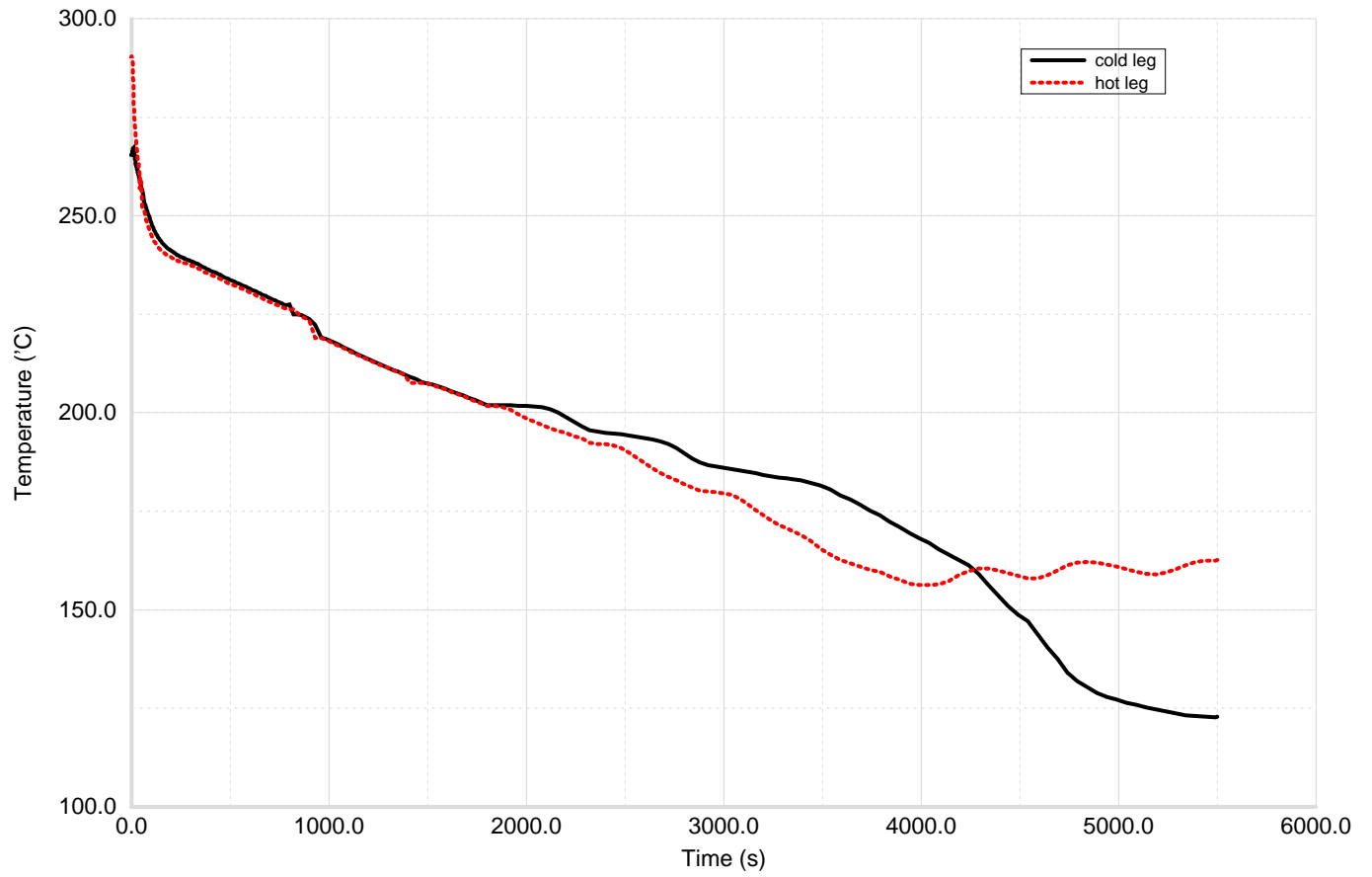


Measure

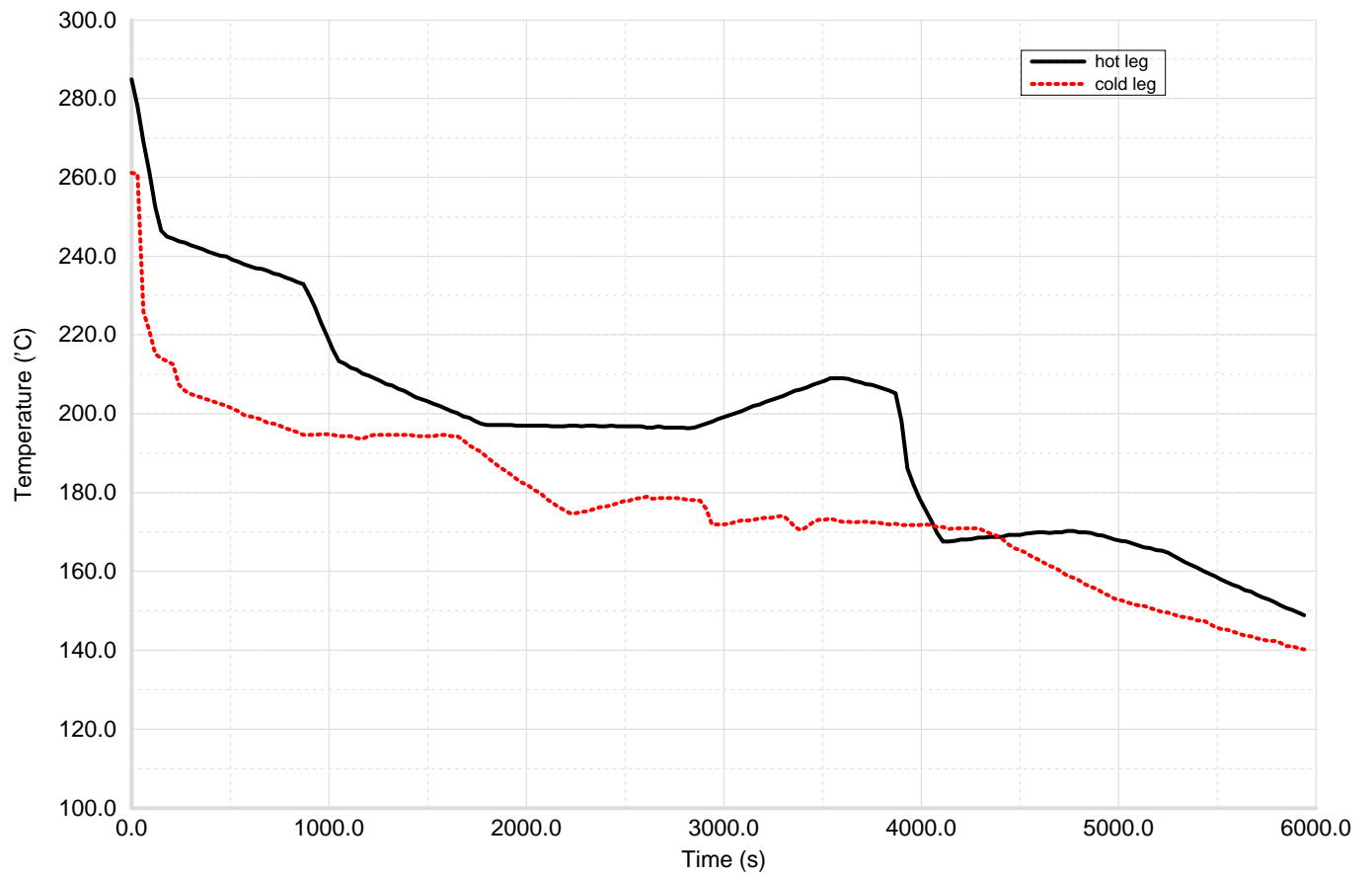


Loop5 cold and hot legs temperature

Calculation

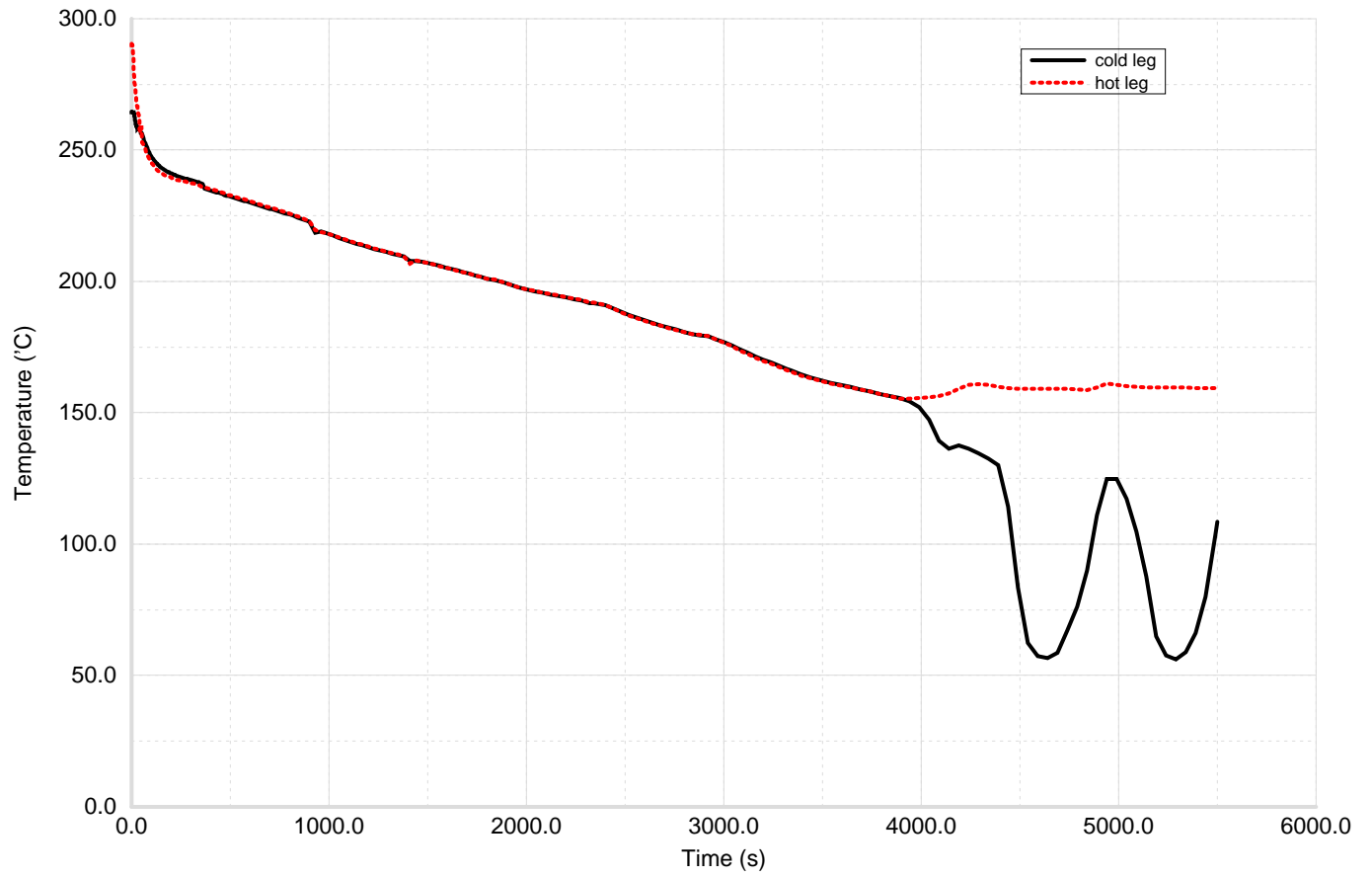


Measure



Loop6 cold and hot legs temperature

Calculation



Measure

