



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

### ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## STUDIE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI ZAŘÍZENÍ LOCA PŘI SIMULACI TĚŽKÉ HAVÁRIE JE

LOCA ENERGY PERFORMANCE STUDY FOR SIMULATION OF HEAVY ACCIDENT AT  
NPP

### BAKALÁRSKA PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kristína Zemčíková

### VEDÚCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.



# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Studentka:** Kristína Zemčiková

**ID:** 197731

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

## NÁZEV TÉMATU:

### Studie energetické náročnosti zařízení LOCA při simulaci těžké havárie JE

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popis technologie LOCA (princip fungování zařízení, popis základních částí zařízení)
2. Předpokládaný průběh těžké havárie jaderné elektrárny typu LOCA
3. Kvalifikace komponentů určených pro použití v kontejnmentu jaderné elektrárny
4. Zařízení pro simulaci těžké havárie jaderné elektrárny LOCA (instalované příkony elektrospotřebičů a plynové kotle, spotřeba energií zařízením při simulaci těžké havárie JE typu LOCA)
5. Stanovení optimálních časů pro provoz zařízení vzhledem k odběrovému diagramu a vzhledem k provozu areálu CVŘ

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 10.6.2020

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citácia práce:

ZEMČÍKOVÁ, Kristína. *Studie energetické náročnosti zařízení LOCA při simulaci těžké havárie JE* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124178>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Mastný.

„Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Studie energetické náročnosti zařízení LOCA při simulaci těžké havárie JE som vypracovala samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušila autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahla nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomá následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb.“

V Brne dňa: 10.6.2020

.....

## **POĎAKOVANIE**

Chcela by som sa predovšetkým poďakovať vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Petrovi Mastnému, Ph.D. za spoluprácu, odborné vedenie, rady a pripomienky, ktoré mi poskytol pri písaní práce. Takisto ďakujem konzultantom z CV Řež, Romanovi Mohylovi a Lukášovi Procházkovi, za odborné konzultácie a poskytnutie podkladov pri spracovaní bakalárskej práce.

## ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá štúdiou energetickej náročnosti zariadenia LOCA, ktoré sa nachádza v CV Řež. LOCA je skratka pre Loss of Coolant Accident. Zariadenie dokáže napodobniť jednu z možných ťažkých havárií, ku ktorej by mohlo dôjsť v jadrových elektrárnach. Pri tejto havárii sa predpokladá únik chladiva reaktora z chladiaceho okruhu vplyvom trhliny v potrubí. LOCA je unikátne zariadenie, ktoré simuluje priebeh tejto havárie a používa sa na testovanie rôznych komponentov pre jadrové elektrárne. V práci bude predstavené toto zariadenie a cieľom bude určiť približnú spotrebu elektrickej energie a plynu počas typickej 10-dňovej skúšky a na základe stanovených odberových diagramov areálu CV Řež predstaviť možnú optimalizáciu prevádzky tohto zariadenia.

**KEÚČOVÉ SLOVÁ:** havária; LOCA; simulácia; jadrová elektrárňa; spotreba; optimalizácia

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis studies the energy performance of the LOCA device used for the simulation of accidents at nuclear power plants, which can be found at the CV Řež research centre. LOCA stands for Loss of Coolant Accident, which is kind of serious accident that may occur at NPPs. During the accident, the coolant is assumed to be leaking due to a fissure in one of the main pipes. The unique LOCA device at the research centre simulates this accident and is used for testing important components utilised at nuclear power plants. This thesis describes the LOCA device and attempts to determine its energy consumption over the course of a 10-day experiment. By leveraging the consumption curve of the research centre, possible operational optimisations applicable to this LOCA device technology will be proposed.

**KEY WORDS:** accident; LOCA; simulation; nuclear power plant; consumption; optimisation

**OBSAH**

<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>9</b>
<b>ZOZNAM TABULIEK.....</b>	<b>10</b>
<b>ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>12</b>
<b>2 PROJEKT LOCA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 KVALIFIKÁCIA ZARIADENÍ.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 POPIS HAVÁRIE LOCA .....</b>	<b>14</b>
<b>3 POPIS TECHNOLOGIE.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 TESTOVACIE KOMORY LOCA A H<sub>2</sub> KOMORA .....</b>	<b>16</b>
3.1.1 MALÁ A VEĽKÁ LOCA.....	16
3.1.2 KOMORA SIMULÁCIE VÝBUCHU H <sub>2</sub> .....	17
<b>3.2 KOTOL S AKUMULÁTOROM A KONDENZAČNÝM HOSPODÁRSTVOM.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 PREHRIEVAČE PARY .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4 MOKRÁ PRÁČKA ODPLYNOV KOMORY H<sub>2</sub>.....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 ZDROJ TLAKOVÉHO VZDUCHU .....</b>	<b>20</b>
<b>3.6 ZDROJ TECHNICKÝCH PLYNOV .....</b>	<b>20</b>
<b>3.7 KVA PALINOVÉ HOSPODÁRSTVO.....</b>	<b>20</b>
<b>3.8 ANALYTICKÝ SYSTÉM.....</b>	<b>21</b>
<b>4 RIADIACI SYSTÉM .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1 VIZUALIZÁCIA.....</b>	<b>22</b>
4.1.1 PREHLAD.....	22
4.1.2 RIADENIE .....	22
<b>5 PRIEBEH EXPERIMENTOV .....</b>	<b>24</b>
<b>5.1 EXPERIMENT LOCA .....</b>	<b>24</b>
<b>5.2 EXPERIMENT POST-LOCA .....</b>	<b>25</b>
<b>5.3 EXPERIMENT TYPU SIMULÁCIA VÝBUCHU VODÍKA .....</b>	<b>26</b>
<b>6 TEORETICKÝ PREDPOKLAD SPOTREBY ENERGIE ZARIADENIA LOCA.....</b>	<b>27</b>
<b>6.1 PRÍPRAVA KOTLA PRED ZAČATÍM EXPERIMENTU LOCA .....</b>	<b>28</b>
6.1.1 TEORETICKÝ VÝPOČET SPOTREBOVANÉHO PLYNU PRE POTREBY EXPERIMENTU .....	28
<b>6.2 SPOTREBA ELEKTRINY PRI CHODE ZARIADENÍ POTREBNÝCH NA EXPERIMENT LOCA .....</b>	<b>29</b>
6.2.1 TEORETICKÝ VÝPOČET SPOTREBOVANEJ ELEKTRINY POČAS EXPERIMENTU LOCA.....	30
<b>7 ODBEROVÉ DIAGRAMY AREÁLU A ZARIADENIA LOCA .....</b>	<b>32</b>
<b>7.1 ODBEROVÉ DIAGRAMY AREÁLU.....</b>	<b>32</b>
<b>7.2 ODBEROVÝ DIAGRAM ZARIADENIA LOCA .....</b>	<b>33</b>
<b>8 OPTIMALIZÁCIA PREVÁDZKY TECHNOLOGIE LOCA .....</b>	<b>35</b>
<b>8.1 OPTIMALIZÁCIA PREVÁDZKY LOCA PRI JEDNODŇOVÝCH SKÚŠKACH.....</b>	<b>35</b>

<i>Obsah</i> .....	8
8.2 OPTIMALIZÁCIA NÁROČNÝCH SKÚŠOK .....	35
9 ZÁVER.....	38
POUŽITÁ LITERATÚRA .....	39
PRÍLOHA A .....	40



**ZOZNAM OBRÁZKOV**

<i>Obr. 1 Testovacia komora Malá LOCA [6]</i> .....	16
<i>Obr. 2 Komora simulácie výbuchu H<sub>2</sub> [1]</i> .....	17
<i>Obr. 3 Kotel s akumulátorom pary [7]</i> .....	18
<i>Obr. 4 Mokrú práčku odplynov komory H<sub>2</sub> [1]</i> .....	19
<i>Obr. 5 Kvapalinové hospodárstvo [7]</i> .....	21
<i>Obr. 6 Prehľad [1]</i> .....	22
<i>Obr. 7 Obrazovka riadenia [1]</i> .....	23
<i>Obr. 8 Vložené vzorky v testovacej nádobe [7]</i> .....	25
<i>Obr. 9 Profil testu LOCA [9]</i> .....	27
<i>Obr. 10 Odberový diagram areálu za mesiac júl</i> .....	32
<i>Obr. 11 Odberový diagram areálu za mesiac december</i> .....	33
<i>Obr. 12 Odberový diagram zariadenia LOCA</i> .....	34
<i>Obr. 13 Optimalizácia zariadenia LOCA v mesiaci júl</i> .....	36
<i>Obr. 14 Optimalizácia zariadenia LOCA v mesiaci december</i> .....	37

---

## ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 1 Namerané hodnoty spotrebovanej elektriny a plynu pri cvičných experimentoch .....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. A- 1 Priemer hodinového výkonu areálu za mesiac júl 2018.....</i>	<i>40</i>
<i>Tab. A- 2 Priemer hodinového výkonu areálu za mesiac december 2019 .....</i>	<i>41</i>

**ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK**

$c$	merná tepelná kapacita	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
$Q$	množstvo potrebného tepla na ohriatie roztoku	J
$k$	obmedzenie výkonu	-
<i>LOCA</i>	Loss of Coolant Accident	-
$m$	hmotnosť roztoku	kg
$P$	množstvo spotrebovanej energie	kWh
$P_p$	príkon daného zariadenia	kW
$t$	doba chodu zariadenia	h
$t_1$	pôvodná teplota roztoku	°C
$t_2$	požadovaná teplota roztoku	°C
$V$	celkové množstvo spotrebovaného plynu	$\text{m}^3$
$V_h$	hodinová spotreba plynu pri maximálnom výkone	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
$V_k$	množstvo spotrebovaného plynu	$\text{m}^3$
$V_r$	množstvo potrebného roztoku	$\text{m}^3$
$\rho$	hustota vody	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

# 1 ÚVOD

Cieľom bakalárskej práce je stanovenie energetickej náročnosti unikátneho zariadenia LOCA a optimalizácia jeho prevádzky v CV Řež. Skratka LOCA znamená Loss of Coolant Accident. Zariadenie simuluje podmienky havárie LOCA, ktorá vzniká prasknutím primárneho potrubia pričom následne dochádza k unikaniu chladiva do kontajneru.

V teoretickej časti práce bude v práci rozobraté, čo je zmyslom projektu LOCA, čo sa rozumie pod pojmom kvalifikácia zariadení a do akých štyroch kategórií sa rozdeľujú zariadenia, ktoré musia pracovať aj počas havárie. Dôraz bude kladený aj na priebeh samotnej havárie.

Hlavnou náplňou teoretickej časti bakalárskej práce bude podrobný popis častí technológie, medzi ktoré patria komory LOCA, komora simulácie výbuchu vodíku H<sub>2</sub>, kotol s akumulátorom pary, prehrievače pary a vzduchu, mokrá pračka odplynov komory H<sub>2</sub>. Medzi časti technológie sa zaraďuje aj zdroj tlakového vzduchu, kvapalinové hospodárstvo a analytický systém.

Zariadenie je ovládané pomocou riadiaceho systému, ktorý bude taktiež stručne predstavený.

Na záver teoretickej časti bude podrobnejšie popísaný priebeh experimentu LOCA, experimentu post-LOCA, ktorý po ňom môže nasledovať a taktiež simulácia komory výbuchu H<sub>2</sub>.

Praktická časť sa zameria na spotrebu zariadenia pri klasickej 10-dňovej skúške, ktorá bude odhadnutá pomocou teoretického výpočtu a následne sa ďalšia kapitola bude venovať odberovým diagramom areálu a zariadenia.

Vďaka týmto diagramom bude možné stanoviť časovú optimalizáciu prevádzky zariadenia s tým, že sa bude brať ohľad na viacero faktorov.

V nasledujúcich kapitolách sa táto práca venuje teoretickému rozboru, ako je popis projektu LOCA, opis technológie, riadiaceho systému a priebehu experimentov. V praktickej časti sa práca najprv zameria na teoretický výpočet spotreby plynu a elektriny zariadenia, následne na stanovenie odberových diagramov areálu a optimalizáciu prevádzky tejto technológie.

## 2 PROJEKT LOCA

Zariadenie LOCA slúži na simuláciu podmienok prostredia v kontajnmmente jadrovej elektrárne, akými sú teplota, tlak a sprchovanie roztokom kyseliny boritej, ku ktorým dochádza pri havárii LOCA. Tieto projektové havárie LOCA vznikajú v jadrových elektrárnach typu VVER [1].

LOCA je havária sprevádzaná prasknutím primárneho potrubia s chladivom reaktora. Následne sa táto chladiaca voda s vysokou teplotou a pod vysokým tlakom uvoľní do kontajnmmentu a zmení sa na paru. Chladiivo s vysokou tepelnou energiou sa uvoľňuje a v kontajnmmente dochádza k tlakovému a teplotnému šoku. Ako príklad tohto šoku môžeme uviesť, že zo 60 °C teplota skočí na viac ako 220 °C počas desiatich sekúnd. Nasledovne sa automaticky spustí systém s havarijným sprchovaním, ktorý má znížiť teplotu a tlak v už spomínanom kontajnmmente až na prijateľnú hodnotu. Samotný test LOCA trvá obvykle niekoľko desiatok minút. Po tejto fáze môže nastať aj test post-LOCA, kedy sa simuluje tepelné starnutie testovaných komponentov. Test LOCA spolu s post-LOCA môže trvať aj niekoľko dní [2].

Predmety, ktoré vystavujeme tomuto typu skúšky, môžu byť rôzne, ale nesmú presahovať rozmery vnútra nádoby, do ktorej sa vkladajú. Týmito predmetmi môžu byť napríklad rôzne elektrické káble, káblové priechodky, spojky, elektrické rozvádzače, motory, ventily, tesnenia atď. [1].

Súčasťou zariadenia LOCA je aj tzv. H2 komora určená na simuláciu termodynamických podmienok vznikajúcich pri výbuchu vodíka v kontajnmmente elektrárne. Jedná sa najmä o simuláciu, pri ktorej následkom termického rozkladu vody nastáva výbuch vodíka. Tepelný a tlakový ráz je simulovaný rýchlym napúšťaním prehriatej pary do H2 nádoby, ktorá sa získava pomocou ohrevu v plynovom kotle. Skúšaná vzorka je tak vystavená vysokému tlaku a vysokým teplotám až do 800 °C [1].

### 2.1 Kvalifikácia zariadení

Kvalifikáciou sa zariadenie preukazuje, že je schopné vykonávať svoju funkciu pod rôznymi vplyvmi okolitého prostredia. Toto overenie funkčnosti daného zariadenia sa robí pri normálnych podmienkach, ale aj pri havarijných. Zariadenia, ktoré musia pracovať aj počas havárie môžeme rozdeliť do nasledujúcich 4 kategórií:

1. zariadenie na bezpečné odstavenie reaktoru a na zaistenie podkritickosti reaktoru;
2. zariadenie na chladenie reaktoru a integritu primárneho okruhu;
3. zariadenie na chod prevádzky sekundárneho okruhu kvôli chladeniu reaktoru;
4. zariadenie na zabránenie úniku rádioaktívnych látok do okolia [2].

Povinnosťou jadrových elektrární je definovanie havárií, ktoré môžu nastať, tak ako aj podmienok, ktoré sprevádzajú konkrétnu haváriu. Tieto podmienky sa stanovujú už pri výstavbe elektrárne a počas prevádzky sa neustále aktualizujú. Hodnoty parametrov, ktoré si elektrárne určí z matematického modelu, popisujú priebeh havárie pre všetky zóny kontajnmmentu [2].

## 2.2 Popis havárie LOCA

LOCA (Loss of Coolant Accident) havária je jedna z najhorších možných havárií v jadrových elektrárnach. Má veľký vplyv na okolie v mieste prasknutia hlavného napájacieho potrubia, ktoré vedie do reaktora. Obmedzuje sa tým chladenie primárneho okruhu a môže dôjsť k prehrievaniu a taveniu paliva [3].

Havária LOCA má tieto štyri fázy (týkajú sa len prípadov, kedy dôjde k zásahu núdzového systému chladenia aktívnej zóny): dekompresia a vyprázdňovanie primárneho okruhu, opätovné zaplavenie spodného priestoru okolo reaktora, zaplavenie aktívnej zóny a dlhodobé dochladzovanie. Inak by došlo k taveniu aktívnej zóny [3].

Po prasknutí primárneho okruhu s chladivom, dochádza k jeho úniku. Nastáva vyparovanie chladiva do kontajnera. Tlak v reaktorovej nádobe klesá, ale v kontajnera naopak rapídne narastá. Únik chladiva, až pokiaľ sa nevyprázdni primárny okruh, trvá niekoľko sekúnd, a potom tlak nadobudne konštantnú hodnotu. Pri návrhu elektrárne, konkrétne kontajnera, je nutné rátať s možnosťou takejto havárie [3].

V prípade havárie a teda úniku rádioaktívnych štiepnych produktov kontajner zadržáva pevné produkty vo filtroch a plynné štiepne produkty sú vypúšťané pod kontrolou. Po skončení havárie pomocou prirodzeného rozpadu a sprchového systému zadrží väčšiu časť štiepnych produktov [4].

Pri havárii LOCA musí kontajner odolávať narastajúcej teplote a tlaku. Kontajner sa navrhuje buď ako plnotlakový, alebo ako systém, v ktorom dochádza k podtlaku. To znamená, že sa vo vnútri udržiava podtlak, ktorý má za úlohu zabrániť úniku častíc v prípade poruchy tesnosti. Súčasťou je aj systém, ktorý znižuje prudko narastajúci tlak pri LOCA havárii. Preto sa umiestňujú do kontajnera sprchové systémy, barbotážna veža alebo ľadové kondenzátory [3].

Počas vyprázdňovania dochádza z dôvodu vplyvu zápornej reaktivity k zastaveniu štiepnej reakcie a tepelný výkon reaktora klesá, aj keď nedôjde k zasunutiu absorpčných tyčí [3].

Vysokotlakové vstrekovacie čerpadlá, vháňajúce vodu s vysokým obsahom bóru do primárneho okruhu, začnú pracovať až po prasknutí hlavného potrubia. Bór má schopnosť zachytávať neutróny a pri vysokej koncentrácii je schopný ukončiť štiepnu reakciu. Funkciou vysokotlakového systému núdzového chladenia je dochladzovanie aktívnej zóny pri malom alebo strednom úniku chladiva, kedy sa zachováva vysoký tlak v primárnom okruhu. K obnaženiu paliva dôjde už po pár sekundách. V prípade podkritického stavu teplota paliva postupne klesá. Avšak je potrebné zabezpečiť, aby povlaková teplota palivových prútikov neprekročila 1 200 °C, aby nedošlo k ich taveniu a uvoľňovaniu štiepnych produktov. Ešte pred zaplavením aktívnej zóny môže dôjsť ku strate hermetickosti povlaku paliva, a teda k úniku plynných produktov do primárneho okruhu z dôvodu teplotného šoku. Tieto plynné produkty predstavujú len malé percento rizika radiácie. Pevné častice ostávajú v palivových tabletách. Tavením povlakov sa môže znížiť schopnosť chladenia jednotlivých tyčí a z toho dôvodu nemôže teplota prekročiť už spomínaných 1 200 °C [3].

V prípade poklesu tlaku v primárnom okruhu pod 6 MPa sa otvoria ventily hydroakumulátora, ktorý má za úlohu vypúšťať roztok kyseliny boritej. Nad hladinou tejto kyseliny je stlačený dusík, ktorý vytlačí po otvorení ventilov obsah zásobníka do primárneho potrubia [3].

Pri prietoku vody do spodnej časti aktívnej zóny pôsobí para, ktorá vznikla pri styku chladiva s palivom, a tak dochádza k tomu, že veľké množstvo chladiva obteká okolo aktívnej zóny rovno

do potrubia, kde nastala porucha a chladivo je unášané potrubím bez toho, aby došlo ku kontaktu s aktívnou zónou [3].

Vzápätí sa zapnú čerpadlá nízkotlakového havarijného systému kvôli dodávke veľkého objemu vody. Keď klesne tlak pod 1 MPa, narastie dodávanie vody do reaktora. Nízkotlakový havarijný systém vie znovu zaplaviť aktívnu zónu a odvieť tak zvyškové teplo [3].

Pri nahromadení dostatočného množstva vody a pri poklesnutí tlaku sa zapojí systém zvyškového odvodu tepla [3].

Pri LOCA havárii môže dôjsť aj k horeniu alebo výbuchu vodíka, a to v dôsledku radiolýzy vody, čo je rozklad silnou radiáciou a interakciou roztaveného paliva s betónom. Taktiež v dôsledku rastu rýchlosti reakcie vody so zirkoniovým pokrytím dôjde ku krehnutiu pokrytia palivového prútika a k vytvoreniu vodíka, pričom sa produkuje ďalšie teplo. Na to, aby sa zabránilo horeniu a výbuchu vodíka sa používajú rekombinátory vodíka [3].

## 3 POPIS TECHNOLOGIE

Z hľadiska funkcie sa technológia LOCA rozdeľuje na nasledovné časti:

- testovacie komory LOCA a H<sub>2</sub> komora;
- kotol s akumulátorom pary a kondenzačným hospodárstvom;
- prehrievače pary;
- vykurovacia kazeta pre ohrev vzduchu;
- mokrá práčka odplynov komory H<sub>2</sub>;
- zdroj tlakového vzduchu;
- kvapalinové hospodárstvo;
- analytický systém [1].

### 3.1 Testovacie komory LOCA a H<sub>2</sub> komora

Súčasťou prevádzkového systému sú nádoby Malá LOCA (viď Obr. 1) a Veľká LOCA, ďalej je to komora pre simuláciu výbuchu vodíka, a potom sa tu nachádza vykurovací a chladiaci okruh, nutné sústavy ventilov a prepojovacích potrubí a mokrá práčka [1].

#### 3.1.1 Malá a Veľká LOCA

Nádoby LOCA sa rozlišujú rozmermi, inak je ich funkcia rovnaká. Objem valcovej časti nádoby Malá LOCA je 0,6 m<sup>3</sup> a komora Veľká LOCA má objem nádoby 3,5 m<sup>3</sup>. Pri experimente je dovolená maximálna teplota v nádobe 300 °C a maximálny tlak 20 bar [5].



Obr. 1 Testovacia komora Malá LOCA [6]



V nádobách sa nachádza dýza pre sprchovací roztok. Taktiež je tu sústava termočlánkov, sito na umiestnenie vzoriek a rozvodný valec, ktorý slúži k rovnomernejšiemu rozptýleniu pary. Obe nádoby sú vyrobené z nerezovej ocele. Vonkajší plášť nádoby je duplikovaný [1].

### 3.1.1.1 Duplikácia

Primárnou funkciou duplikácie je regulácia tepelných strát nádoby pre potreby skúšky LOCA a post-LOCA. Pokiaľ to charakter testu LOCA umožní, je možné použiť duplikáciu i pre potreby ohrevu komory pomocou vzduchu ešte predtým, než nastane teplotný šok alebo sa dá využiť aj na chladenie vonkajším vzduchom. Taktiež sa ohrev nádoby pomocou duplikácie využíva pri teste post-LOCA, kedy je priestor nádoby vyplnený zaplavovacím roztokom [1].

Počas vykurovania sa ohrev pary zabezpečuje pomocou vykurovacej kazety, ktorá je spoločná pre obe nádoby. Systém, pri ktorom je ohrievanie realizované pomocou duplikácie, sa využíva aj počas teplotného šoku spolu s prehrievačom vzduchu. Tento regeneračný výmenník má teplotnú vsádzku, ktorá sa nahreje vnútorne inštalovaným elektrickým ohrevom na teplotu približne 500 °C ešte pred začiatkom experimentu. Akonáhle sa spustí experiment, vykurovací vzduch začne prúdiť cez tento výmenník, vysoko sa prehrieva a prichádza do duplikácie s teplotou až 450 °C, a tým pomáha rýchlejšiemu prehrievaniu stien tlakových nádob. Pomocou vysokoteplotného ventilátora cirkuluje vykurovací alebo chladiaci vzduch v duplikácii nádoby [1].

Ďalej sa tu nachádza sústava uzavieracích klapiek, ktorých úlohou je zaistenie voľby potrubnej cesty. Buď ide o nasávanie atmosférického vzduchu a vďaka tomu chladeniu danej komory, alebo ide o cirkuláciu výhrevného vzduchu cez elektrický ohrievač a pomocou toho sa zaisťuje ohrev testovacej komory vo fáze výdrže na daných parametroch, alebo pri teste post-LOCA. Tieto uzavieracie klapky môžu zaisťovať aj cirkuláciu výhrevného vzduchu cez vykurovacie kazety, ktorý je spoločný pre malú aj veľkú nádobu LOCA [1].

### 3.1.2 Komora simulácie výbuchu H2

Komora simulácie výbuchu H<sub>2</sub> (viď Obr. 2) sa skladá z vonkajšej tlakovej nádoby, ktorá je vyrobená z nerezovej ocele. Vnútna izolácia tejto nádoby je založená na princípe vláknitých materiálov Sibal, aby teplota plášťa neprekročila hodnotu 100 °C. Vo vnútri nádoby je inštalovaný plech z nerezovej ocele v styku s atmosférou. Objem nádoby pre simuláciu výbuchu je približne 0,283 m<sup>3</sup> [1].



Obr. 2 Komora simulácie výbuchu H<sub>2</sub> [1]

Ako prvé sa vytvorí atmosféra príslušného zloženia zo zdroja tlakového vzduchu, dusíka a pary v komore. Následne sa vstup do komory uzavrie a atmosféra sa zahrieva vnútornými vykurovacími elektrickými elementmi podľa žiadaného teplotného profilu. Komora má poistný ventil, aby nedošlo k prekročeniu maximálneho dovoleného tlaku. Počas ohrevu môže nastať uvoľňovanie prchavých zložiek z organických materiálov. Z toho dôvodu sa musí zmeniť atmosféra, aby nadbytočné množstvo dusíka v komore zabránilo horeniu alebo výbuchu. Odplyny sa vedú potrubím a systémom chladenia pomocou hliníkových rebier do mokrej pračky, pričom sa meria povrchová teplota trubky. Takto dochádza k vyčisteniu spalín a ich chladeniu. [1].

### 3.2 Kotel s akumulátorom a kondenzačným hospodárstvom

Kotel s akumulátorom pary (vid' Obr. 3), ako zdroj 20- až 30-barovej pary o teplote na medzi sýtosti, je umiestnený v oddelenej miestnosti od ostatných častí zariadenia. Akukotel je stredotlakový, plamenco-žiarotrubný, veľkopriestorový ležatý dvojťahový kotel s prirodzenou cirkuláciou kotlovej vody, ktorý je vložený do telesa akumulátora pary. Kotel ma dĺžku 14,5 m a prevádzkovú hladinu vody cca 18 000 l. Horák kotla spaľuje zemný plyn. V kotolni sa z toho dôvodu nachádzajú merače koncentrácie metánu a oxidu uhoľnatého. Kotel má vodorovný centrický plamenec, vnútornú obratovú chladenú komoru s jedným vodorovným konvekčným trubkovým ťahom. Para z kotla sa odvádza do testovacích komôr cez uzavieraciu armatúru, regulačný ventil a prehrievač pary. Voda sa dodáva do kotla skokovo z napájacej nádrže pomocou čerpadla [1].

Výluh a zvyšné odpadové látky z kotla sa po znížení teploty môžu vypúšťať do bežnej splaškovej kanalizácie. Na toto zníženie teploty sa používa dochladzovacia nádrž [1].



Obr. 3 Kotel s akumulátorom pary [7]

### 3.3 Prehrievače pary

Hlavnou funkciou prehrievača je dlhodobá akumulácia tepla, ktoré sa využíva pre prehriatie sýtej pary pri skúškach s prehriatou parou [5].

Nádoba prehrievača pary je umiestnená na ocelevej konštrukcii nad nádobami LOCA. Zariadenie slúži na prehrievanie sýtej pary, ktorá prúdi z akumulátora do nádoby LOCA. Teplotu sýtej pary, ktorá má pri 20 bar hodnotu 210 °C, treba zvýšiť na 310 °C, aby sa skúšobná vzorka a vlastná nádoba ohriali na žiadanú teplotu. Tá má pri skúške dosiahnuť 300 °C. Prehrievač pary funguje ako regeneračný výmenník, kde sa náplň najprv nahrieva prúdom horúceho vzduchu s teplotou do 500 °C, až kým väčšia časť náplne nedosiahne túto hodnotu. Po začatí testu LOCA je opačným smerom hnaná sýta para cez náplň, čím sa prehreje na teplotu náplne. V zmiešavacej komore sa prehriata para zmieša so sýtou parou, aby sa dosiahla žiadaná teplota a tlak pre vstup do nádoby LOCA z dôvodu nastaveného pomeru [1].

Prehrievač vzduchu je regeneračný akumulátor tepla. Je to beztlaková nádoba, ktorá sa najprv nahreje prúdom horúceho vzduchu. Po začatí testu LOCA sa vzduch pomocou klapiek obráti a horúci sa vháňa do vonkajšej duplikácie nádoby LOCA. Tak dochádza k ohrevu veľkej nádoby z vonkajšej strany. Prehrievač je spoločný pre malú aj veľkú komoru LOCA, no môže byť v rovnakom čase využívaný iba jednou z nich [1].

### 3.4 Mokrú práčku odplynov komory H2

Ide o valcovú beztlakovú nádobu (vid' Obr. 4) , ktorá funguje ako entalpický výmenník tepla a hmoty. Do nádoby sa pod hladinou vody privádza horúci, znečistený plyn, ktorý je vďaka prebublaniu chladnejším médiom zbavený kondenzujúcej zložky organických častí vzoriek, ktoré boli odparené pri teste v komore H2. Takto upravené odplyny sú odvedené pomocou výfuku. Voda, ktorá je znečistená kondenzátmi z odplynov, sa vypúšťa do chemickej kanalizácie [1].

V hlave mokrej práčky sa meria teplota, hladina pracej vody, tlak na výstupnom hrdle a nachádza sa tu poistný a regulačný ventil. V päte mokrej práčky je osadený nátok pracej vody, ktorá sa vypúšťa do chemickej kanalizácie, pričom teplota vody nesmie byť vyššia ako 60°C [1].



Obr. 4 Mokrú práčku odplynov komory H2 [1]

### 3.5 Zdroj tlakového vzduchu

Zdrojom tlakového vzduchu je piestový kompresor so vzdušníkom. Kompresor môže dosiahnuť výtlak až 40 bar a vzdušník je stavaný na 30 bar [1].

Kompresor má priamy pohon, pričom sú jeho súčasťou sú valce zo šedej liatiny s bohatým rebrovaním a taktiež výkonný ventilátor. Vďaka tomu je zabezpečená čo najnižšia výstupná teplota vzduchu a tiež jeho najvyššia kvalita. Tento piestový kompresor je natretý olejom a na výstupe vzduchu sú filtre, ktoré olej a vodu zachytávajú [1].

Vo vzdušníku sa nachádza samočinný odvádzач kondenzátu, ktorý má poistný ventil. Odlúčené kvapaliny sa v separačnom zariadení rozdeľujú na olej a vodu. Voda sa odvádzач do odpadu a olej ide do zbernej nádoby. Vzdušník má dva výstupy, pre procesný vzduch a inštrumentálny vzduch. Inštrumentálny vzduch je najprv redukovaný na 7–8 bar a následne sa vysušuje v kondenzačnej sušičke. Používa sa najmä pre pohony regulačných a uzavieracích pneumatických automatických armatúr. Následne je vyvedený do testovacích komôr, kde sa využíva na prevádzku pneumatického uťahováku. Procesný vzduch okrem redukcie na 20 bar nevyžaduje žiadnu inú úpravu [1].

### 3.6 Zdroj technických plynov

Dusík spolu s argónom sa používajú na vytvorenie inertnej atmosféry v testovacích nádobách LOCA a H2 [1].

Zdrojová stanica dusíka obsahuje prípojné body pre zväzok tlakových nádob. Na výstupe sú ručne uzavieracie armatúry, ktoré sa používajú na uzavretie potrubnej cesty v prípade výmeny vyprázdneného zväzku za nový. Potom, ako sa zlúčia potrubia, ktoré vedú z každého jednotlivého zväzku, nasleduje meranie tlaku. Pri zistení nízkeho tlaku je nutná výmena zväzku. Nasledovne redukčný ventil redukuje zdrojový tlak na 20–22 bar a dusík sa potom odvádzач do testovacích komôr [1].

Zdrojová stanica argónu má jedno prípojné miesto pre dve tlakové fľaše. Toto prípojné miesto má nástenný redukčný ventil, za ktorým sa plyn vedie do analytického systému [1].

### 3.7 Kvapalinové hospodárstvo

Kvapalinové hospodárstvo (vid' Obr. 5) zahŕňa riadenie sprchovacích, zaplavovacích a odpadných roztokov [1].

Prevádzkový súbor pozostáva z jednej vypúšťacej alebo dochladzovacej nádrže, ktorá slúži na odpúšťanie kondenzátu, znečisteného sprchovacím roztokom, na vypúšťanie znečisteného kondenzátu po experimente LOCA a na vypúšťanie zaplavovacieho roztoku po teste post-LOCA. Obsah nádrže môže byť čerpadlom prečerpaný do skladovacej nádrže zaplavovacieho roztoku a do skladovacej nádrže sprchovacieho roztoku alebo sa vypustí do chemickej kanalizácie [1].

V sklade sprchovacích roztokov sú nádrže vybavené obtokovými stavoznakmi na sledovanie objemu kvapaliny. Rozvod kvapalín s čerpadlami sa vedie za nádržami. Kvapaliny z toho skladu sa používajú priamo na LOCA experiment, pričom sa roztok vstrikava pomocou čerpadla, regulácie prietoku a prietokového ohrevu do konkrétnej LOCA komory [1].



V sklade zaplavovacích roztokov sú nádrže zaplavovacieho roztoku vybavené obtokovými stavoznakmi, ktoré sledujú hladinu kvapaliny. Zaplavovacie roztoky, na rozdiel od sprchovacích roztokov, treba najprv prepustiť do jednej z dvoch nádob na prípravu zaplavovacieho roztoku [1].

Pri príprave zaplavovacích roztokov majú obe nádoby vratný okruh spolu s elektrickým nahrievačom. Pomocou toho okruhu sa reguluje teplota roztoku a vracajúci sa ohrievaný prúd. Roztok sa v prípravnej nádrži premiešava. Potom, ako je zaplavovací roztok pripravený, sa pomocou čerpadla presúva do jednej z komôr podľa toho, ktorá sa používa na danú skúšku [1].



Obr. 5 Kvapalinové hospodárstvo [7]

### 3.8 Analytický systém

Analytický systém slúži na stanovenie zloženia atmosféry, ktorá je vo vnútri testovacích komôr. Vzorka atmosféry sa odvádza cez tenké potrubie a teplota sa upravuje pomocou dohrevu, aby nedošlo ku kondenzácii vlhkosti v potrubných trasách v nádobách LOCA alebo k ochladzovaniu nádoby simulácie výbuchu vodíku. Táto vzorka príde do zmiešavacej komory cez uzavieraciu armatúru [1].

Zmiešavacia komora je navrhnutá tak, že vzorka sa pomocou dýzy nastrekuje do prúdu nosného argónového plynu. Prietok nosného plynu sa reguluje regulačným ventilom, aby došlo k riedeniu v pomere 1:100 [1].

Zriedená vzorka je potrubím prepravená do analytického rozvádzača, ktorý má tri meracie stanice. Prvou je analýza kyslíka, potom analýza dusíka a napokon analýza vlhkosti. Rozvádzač má sústavu vstupných ventilov, ktoré prepínajú cestu vzorky a kalibračných plynov. Funkciou analyzátora je stanovenie koncentrácie kyslíku, dusíku a vody vo vzorke, vďaka čomu sa určia parciálne tlaky týchto zlúčenín v konkrétnej testovacej komore. Analyzačný rozvádzač je spoločný pre obe komory tak, že je možné v konkrétnom čase analyzovať zloženie atmosféry iba jednej nádoby [1].

## 4 RIADIACI SYSTÉM

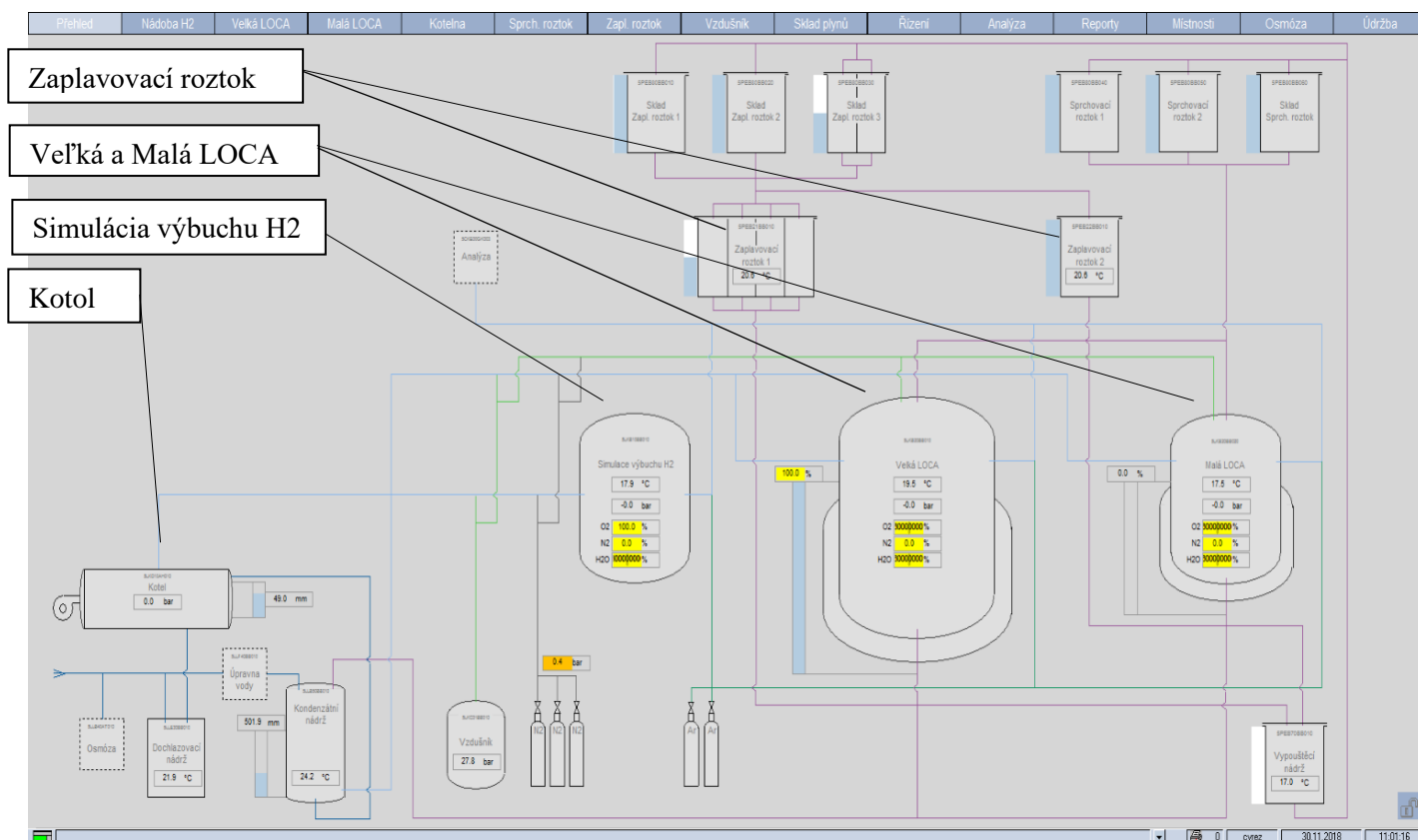
Centrálne riadiaca jednotka systému je spoločná pre všetky testovacie komory a podporné systémy. Na technológiu dohliadajú dve operátorské stanice a jedna kombinovaná - operátorská a inžinierska. Úlohou týchto staníc je aj zbieranie dát. Pri každej testovacej komore sú umiestnené ukazovatele tlaku a teploty, ktorá je v komore. Malá aj Veľká LOCA majú obtokové stavoznaky pre indikáciu hladiny. Tieto sa využívajú najmä pri experimente typu post-LOCA [1].

### 4.1 Vizualizácia

Obsahom vizualizácie jednotlivých častí technológie LOCA je jej schematické znázornenie procesu a taktiež sú tu znázornené priebehy procesných hodnôt, alarmov, panelov pre ovládanie jednotlivých prvkov a experimentov [1].

#### 4.1.1 Prehľad

Prehľadová obrazovka (viď. Obr. 6) zobrazuje celkový pohľad na technológiu a hodnoty, ktoré ukazujú v akom stave sa konkrétna časť technológie nachádza [1].

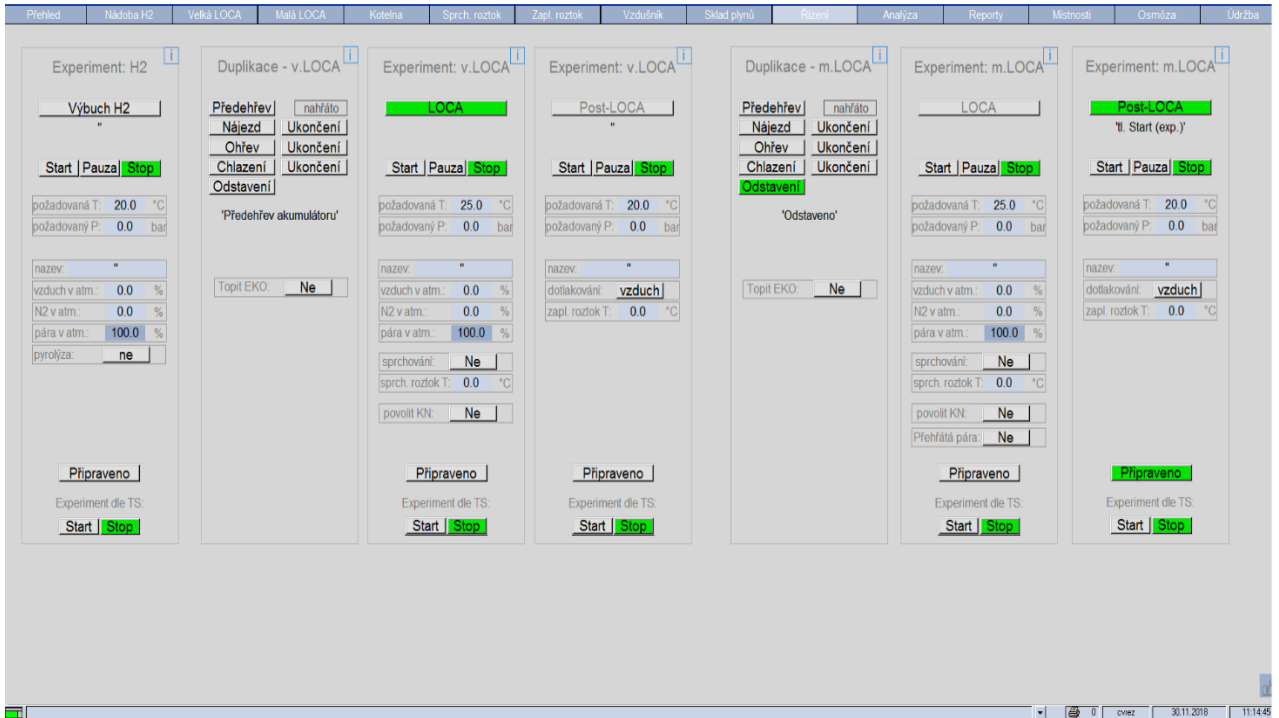


Obr. 6 Prehľad [1]

#### 4.1.2 Riadenie

Na Obr. 7 je obrazovka riadenia, ktorá pozostáva z panelov pre konkrétne nádoby, pomocou ktorých sa ovláda experiment a znázorňuje aj aktuálne priebehy experimentu. Na obrazovke je vidieť v akej fáze sa experiment nachádza a taktiež je možné sledovať aktuálnu priemernú teplotu z termočlánkov a hodnotu tlaku v nádobe. Každý panel má tlačidlá, ktoré reprezentujú spustenie, pozastavenie, ukončenie sekvencie experimentu spolu so stručným popisom aktuálneho kroku.

Obrazovka obsahuje aj panely poloautomatického režimu ovládania duplikácie pre riadenie teploty v nádobách LOCA [1].



Obr. 7 Obrazovka riadenia [1]

## 5 PRIEBEH EXPERIMENTOV

Experimenty, ktoré prebiehajú v rámci LOCA zariadenia môžeme definovať ako:

- experiment LOCA;
- experiment post-LOCA;
- simulácia výbuchu vodíka [1].

### 5.1 Experiment LOCA

Vzhľadom na veľkosť skúšaného zariadenia sa zvolí tá nádoba LOCA, ktorá je vhodnejšia pre skúšku. Vzorky, ktoré sa testujú, sa vkladajú do nádoby vrchnými prírubami po odskrutkovaní zaslepovacej príruby s upchávkovými priechodkami. Na presun veka nádoby sa používa portálový žeriav, pomocou ktorého sa dajú do nádoby umiestňovať aj ťažké vzorky. V prípade, že bude skúšané zariadenie napojené na externú aparatúru, je nutné predprípraviť vhodnú veľkosť upchávkových priechodiek. Po vložení vzoriek (viď Obr. 7) je nutné dôkladne utesniť príruby a káble v priechodkách, pričom treba použiť vždy nové tesniace sady. Pred začatím skúšky je potrebné skontrolovať stav všetkých dotknutých ventilov, klapiek a kohútikov. Taktiež sa fyzicky musí skontrolovať funkčnosť všetkých uzavieracích a regulačných orgánov pri prepnutí riadiaceho systému do ručného režimu [1].

Pred tým, než dôjde k samotnému testu LOCA, sa na riadiacom systéme nastaví úroveň nabitia oboch regeneračných akumulátorov tepla (ohrev prehrievača sýtej pary a ohrievača vzduchu pre okruh vonkajšieho ohrevu nádoby cez duplikáciu) a taktiež je potrebné zapnúť ohrev parného akumulátora [1].

Podľa charakteru zadaného profilu sa zvolí test LOCA so sýtou alebo s prehriatou parou. V tejto fáze prípravy je tiež potrebné nahriať prehrievač vzduchu duplikácie a potrubných trás parovodu. Teplo, ktoré sa využíva na rýchly ohrev duplikácie LOCA nádoby, je akumulované v prehrievači na začiatku experimentu. Parovod sa začne prehrievať po dosiahnutí požadovaného tlaku v kotle. Je nutné parovod prehrievať pozvoľna, aby nenastal teplotný šok a nedošlo ku kondenzačným rázom [6].

Potom sa otvorí ručný ventil prívodu pary do nádoby a začne sa test. Riadiaci systém má na starosti poradie otvárania a zatvárania konkrétnych ventilov a klapiek. Na začiatku začne intenzívne prúdiť sýta alebo prehriata para cez hlavný ventil, vďaka čomu je vzorka ohrievaná spolu s nádobou. Vzniknutý kondenzát sa odvádza otvoreným spodným ventilom nádoby do kondenzátnej nádrže [1].

Veľká LOCA je konštruovaná tak, aby sa bola schopná ohriať na maximálne parametre za 1 minútu a Malá LOCA za 30 sekúnd. Pokiaľ je profil skúšky LOCA zadaný tak, že je ohrev dostatočne pozvoľný alebo pre potreby skúšky nezáleží na dobe trvania ohrevu, je možné nádobu LOCA ohriať iba pomocou duplikácie [1].

Na hnanie tepelného média (môže mať teplotu až 500 °C) do vonkajšieho plášťa nádoby sa používa ventilátor, aby došlo k urýchleniu teplotného zdvihu v nádobe. Keď sa zahreje nádoba na vyžadovanú teplotu, prívod pary sa uzavrie [1].



Po fáze teplotnej výdrže, ktorá môže trvať niekoľko minút, hodín alebo až dní, nastáva fáza ochladzovania. Začne sprchovanie pomocou sprchovacieho roztoku, pričom dochádza k silnému tepelnému rázu a prudkému poklesu tlaku. Keď je dosiahnutá teplota okolia, môžu sa vzorky buď vybrať z nádoby, alebo môže začať skúška post-LOCA, pokiaľ to test vyžaduje. Počas celého testu je možné meranie elektrických parametrov vzoriek [1].



Obr. 8 Vložené vzorky v testovacej nádobe [7]

## 5.2 Experiment post-LOCA

Skúška post-LOCA je opäť riadená riadiacim systémom a začína potom, ako sa nádoba naplní zaplavovacím roztokom [1].

Vzorky sa vkladajú rovnakým spôsobom ako v predošlom experimente, pokiaľ tam nie sú už vložené zo skúšky LOCA. Post-LOCA skúška môže totižto plynulo nadviazať na LOCA skúšku. Ku zaplaveniu sa využíva zaplavovací roztok, voda z rozvodu alebo demineralizovaná voda z rozvodu. Po zaplavení musia byť všetky skúšané vzorky úplne ponorené. Roztok môže mať teplotu okolia alebo sa predhreje pomocou pary vyrobenej v akumulátore pary, či prostredníctvom elektrického ohrevu až na 90°C. Zaplavovací roztok sa môže predhriať cez výhrevný okruh nádrže zaplavovacieho roztoku. Voda cirkuluje týmto okruhom cez elektrický ohrev tak dlho, až kým nie sú nádrže ohriate na požadovanú teplotu. Pokiaľ teda post-LOCA nadväzuje hneď po experimente LOCA, nie je nutný ohrev pomocou duplikácie. Potom, ako sa komora naplní zaplavovacím roztokom, sa musí uzavrieť ručný ventil nátoky zaplavovacieho roztoku [1].

Keď je nádoba naplnená a dôkladne utesená môže začať skúška post-LOCA [1].

Nádoba sa zahrieva cez vonkajšiu duplikáciu horúcim vzduchom cez okruh: ventilátor – akumulátor tepla – elektroohrev – regulačné klapky tak, aby sa daný termodynamický profil dodržal. Pri dosiahnutí zvoleného tlaku a teploty sú tieto parametre udržiavané určenú dobu. Počas celého experimentu je možné pomocou elektrotesteru sledovať na vzorkách aj elektrické vlastnosti [1].

### 5.3 Experiment typu simulácia výbuchu vodíka

Pri tomto experimente sa vzorky zahrievajú až na teplotu 800 °C a tlak vzrastie až na 20 bar. Experiment je sprevádzaný aj uvoľňovaním horľavých plynov z organických zložiek vzorky [1].

Vzorky sa umiestnia do nádoby, pričom sa káble utesnia v upchávkach káblových priechodiek a napoja na elektrotester, ktorý počas testu zaťažuje jednotlivé žily káblov vysokým prúdom a napätím. Taktiež sa kontroluje izolačný odpor káblov. Po vložení vzorky sa príruby opäť utesňujú a priťahujú. Následne dochádza k predohrevu, ktorý je v teplotnom rozmedzí 25 – 90 °C pri bežnom tlaku a tento predohrev trvá 5 hodín [1].

Po predohreve nastáva termodynamický skok. Vo vodíkovej komore dochádza k veľkej zmene teploty a tlaku. Teplota môže vzrásť až na 800 °C a tlak môže dosahovať 20 bar v časovom rozpätí troch hodín. Ohrev na danú teplotu je zaistený pomocou elektrického vykurovania. Kvôli zachovaniu tlakovej odolnosti nesmie teplota vonkajšej tlakovej obálky prekročiť hodnotu 100 °C, a preto je vnútorná časť od nej tepelne izolovaná. Pokiaľ sa vo vzorke nachádzajú aj organické zložky, uvoľňujú sa v rozsahu teplôt 400 – 500 °C a tým sa tvoria horľavé plyny [1].

Aby nenastalo zahorenie a výbuch v komore v prípade prítomnosti oxidačnej atmosféry, dôjde k výmene atmosféry v nádobe za inertnú. Od hodnoty teploty 350 °C sa do nádoby privádza dusík, aby došlo k výmene oxidačnej atmosféry za inertnú za krátku dobu. Väčšinou táto výmena trvá okolo jednej hodiny. Horľavé plyny sa odvádzajú v zmesi s dusíkom chladeným potrubím cez expanzný ventil do mokrej práčky plynu. V mokrej práčke nastáva kondenzácia pyrolýznych plynov a nasledovne odvedenie ich kondenzátov v chladnom stave spolu s pracou vodou do chemickej kanalizácie. Ostatné nekondenzujúce zvyšky pyrolýznych plynov spolu s dusíkom sa odvádzajú potrubím na fasáde budovy [1].

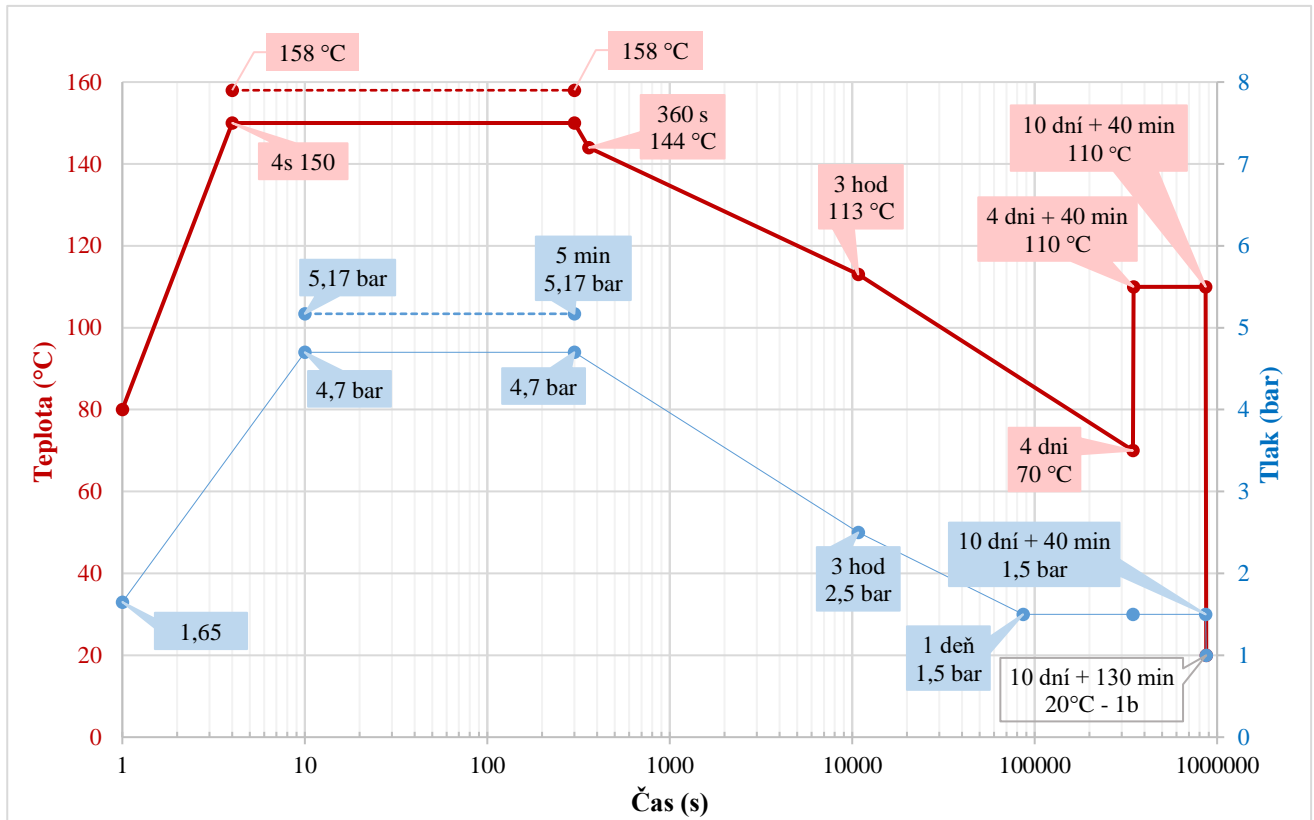
Keď skončí pyrolýza organických zložiek vzoriek, môže sa znovu nastaviť požadovaná atmosféra v testovacej komore. Táto atmosféra je kontrolovaná pomocou analytickej aparatúry a zloženie je možné priebežne počas experimentu upravovať. Keď sa dosiahne maximálna požadovaná teplota 800 °C, udržiava sa na tejto hodnote po dobu, ktorá je vyžadovaná testom. Tlak v komore sa udržiava tiež na maximálnej hodnote. Experiment nemôže byť realizovaný v prostredí mokrej atmosféry. Dodržanie tejto podmienky sa kontroluje riadiacim systémom [1].

Pri ochladzovaní dochádza k riadenému poklesu tlaku a teploty. Rýchlosť tohto poklesu sa môže nastaviť v širokom rozmedzí. Ochladzovanie sa môže diať pomocou prevetrávania nádoby požadovanou atmosférou alebo samovoľným poklesom teploty kvôli vplyvu tepelných strát [1].

Teplota sa pri ochladzovaní zníži až na úroveň teploty dohrevu. Na tejto teplote sa testuje výdrž po dobu až 10 dní, závisí to od typu skúšky. Tlak sa znižuje na úroveň okolia. Po skončení testu sa nádoba otvorí a vzorky sa vyberú na kontrolu [1].

## 6 TEORETICKÝ PREDPOKLAD SPOTREBY ENERGIE ZARIADENIA LOCA

Predpoklad odberu elektriny a plynu sa bude počítať na základe dodaných odhadov od obsluhy zariadenia. Nepôjde o presné výsledky, ale len približné hodnoty odberu na základe čoho bude možná optimalizácia budúcich skúšok. Počas jednotlivých experimentov môže dôjsť aj k neočakávaným situáciám a rôznym komplikáciám, takže daný experiment bude vyžadovať na svoj chod iné množstvo elektriny a plynu ako bude teoretický predpoklad.



Obr. 9 Profil testu LOCA [9]

Profil nášho testu je možné si predstaviť podobne ako na Obr. 9, kde je na začiatku rýchly nárast teploty a tlaku, výdrž pár minút a následne nastáva dlhá doba chladenia. Prerušované čiary ukazujú maximálne možné hodnoty tlaku a teploty, ktoré sú určené normou vrátane predpísanej marže. Samotný test trvá 10 dní a jeho súčasťou je aj experiment post-LOCA. Na Obr. 9 ide o približnú krivku pre tlakovodné reaktory tretej generácie.

Pri teoretickom výpočte v práci sa bude uvažovať o situácii, kedy sa jedná o klasický experiment, ktorý bude trvať 10 dní a z toho posledné dva dni pôjde o skúšku post-LOCA. Dodané hodnoty odhadov vychádzajú zo skúšok, v ktorých sa najčastejšie používa syta para. Takže aj v tomto prípade teoretického výpočtu pôjde o sytu paru.

Pred samotným testom je nutná príprava potrebných zariadení, aby bol priebeh testu hladký, s čo najmenej zásahmi. Jedna z najdôležitejších častí prípravy je príprava kotla. Kotol sa chystá 13 hodín pred začatím skúšky, takže sa spúšťa deň vopred. Taktiež je dôležitá príprava akumulačnej náplne pred začatím testu a aj príprava ostatných pomocných zariadení.

## 6.1 Príprava kotla pred začatím experimentu LOCA

Doba prípravy kotla zo studeného stavu trvá 13 hodín a je nutné uskutočniť ju ešte pred začatím samotného experimentu. Spustenie kotla sa vykonáva na mieste, inak môže byť ovládaný aj na diaľku. Odber plynu pri maximálnom výkone kotla je  $66,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Kotel sa vzhľadom na svoj objem musí kvôli teplotnej rozťažnosti nahrievať postupne a pomaly. Postup nájazdu kotla zo studeného stavu je nasledovný:

1. kotel je potrebné napustiť vodou na úroveň 120 mm pod strednú hladinu;
2. horák sa spustí na minimálny výkon, čo je 20 % z jeho výkonu, po dobu 120 minút;
3. výkon horáka sa zvýši na 40 % menovitej hodnoty po dobu 120 minút;
4. opätovné zvýšenie horáka na 60 %, doba obmedzenia výkonu je 120 minút;
5. zvýšenie výkonu horáka na 80 % znovu po dobu dvoch hodín;
6. zvýšenie výkonu horáka na 100 % menovitej hodnoty [5].

Po začatí experimentu už kotel paru nedodáva a odstaviť sa.

Za normálnych podmienok je možné kotel prevádzkovať už po 10 hodinách od spustenia. V prípade, že je kotel vyhriaty z predošlého experimentu môže vykúrenie prebiehať ešte rýchlejšie. Vo výpočte sa bude uvažovať o dobe prípravy už spomínaných 13 hodín, ktorá je stanovená výrobcom a kotel sa bude nahrievať na jeho maximálne parametre.

### 6.1.1 Teoretický výpočet spotrebovaného plynu pre potreby experimentu

Ako bolo vyššie zmienené, spotreba plynu pri maximálnom výkone kotla je  $66,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Množstvo spotrebovaného plynu sa vypočíta pomocou vzorca:

$$V_k = V_h \cdot t \cdot k \quad (6.1),$$

kde:  $V_k$  - množstvo spotrebovaného plynu ( $\text{m}^3$ );

$V_h$  - hodinová spotreba plynu pri maximálnom výkone ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ );

$t$  - doba chodu zariadenia (h);

$k$  - obmedzenie výkonu (-).

Výpočet bude rozdelený na jednotlivé časti prípravy kotla:

- a) v prvom prípade je obmedzenie výkonu horáku na 20 % a množstvo spotrebovaného plynu bude:

$$V_{0,2} = 66,7 \cdot 2 \cdot 0,2 = 26,68 \text{ m}^3;$$

- b) po dvoch hodinách dochádza k ďalšiemu obmedzeniu výkonu horáka, spotreba plynu bude:

$$V_{0,4} = 66,7 \cdot 2 \cdot 0,4 = 53,36 \text{ m}^3;$$

- c) ďalšie obmedzenie je na 60 % menovitého výkonu, pri tomto obmedzení je spotreba plynu:

$$V_{0,6} = 66,7 \cdot 2 \cdot 0,6 = 80,04 \text{ m}^3;$$

- d) pri obmedzení výkonu horáka na 80 % sa spotrebuje množstvo plynu:

$$V_{0,8} = 66,7 \cdot 2 \cdot 0,8 = 106,72 \text{ m}^3;$$

- e) pri zvýšení výkonu horáku na 100 % svojej menovitej hodnoty pôjde kotel na túto hodnotu zhruba 5 hodín a spotreba plynu bude nasledovná:

$$V_1 = 66,7 \cdot 5 \cdot 1 = 333,50 \text{ m}^3.$$

Celková spotreba plynu  $V$  bude súčet vyššie vypočítaných jednotlivých množstiev plynu:

$$V = V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8} + V_1 = 26,68 + 53,36 + 80,04 + 106,72 + 333,50 = 600,30 \text{ m}^3.$$

Spotreba plynu je pre nádobu Malá LOCA aj Veľká LOCA približne zhodná. Je však potrebné poukázať na to, že ide len o kvalifikovaný odhad spotreby plynu, keďže každá skúška sa líši danými parametrami a snaží sa priblížiť rôznym profilom, ktoré určuje zákazník.

## 6.2 Spotreba elektriny pri chode zariadení potrebných na experiment LOCA

Pred začatím skúšky je nutné nabiť akumuláciu náplň, ktorá sa využíva na ohrev duplikácie. Doba prípravy tejto náplne je približne 6 hodín, pričom zariadenie má príkon 100 kW. Pracuje po celú dobu na plný výkon. LOCA nádoba je ohrievaná po zvyšok experimentu naakumulovaným teplom v kazetách duplikácie a pomocou vykurovacej kazety EKO, ktorá má príkon 30 kW. Na začiatku skúšky pracuje kazeta EKO prvú hodinu na 100 % svojho príkonu a potom sa príkon upravuje podľa potreby. Počas experimentu sa kazeta EKO využíva na kompenzáciu tepelných strát. Pre uľahčenie výpočtu budeme uvažovať, že táto kazeta EKO využíva 70 % svojho menovitého príkonu po celú dobu experimentu.

Predtým ako začne test post-LOCA je nutné pripraviť zaplavovací roztok, ktorý sa na túto časť skúšky využíva. Nádoba Veľká LOCA aj Malá LOCA sa počas post-LOCA plnia zaplavovacím roztokom štandardne na 80 – 90 % svojho objemu. Vo výpočte sa bude uvažovať o tom, že nádobu potrebujeme zaplniť na 80 % a s tým že roztok je potrebné ohriať z 20 °C na 70 °C. Používajú sa na to ohrievače zaplavovacieho roztoku. Pre nádobu Malá LOCA je ohrievač roztoku, ktorý má príkon 13,5 kW a pre nádobu Veľká LOCA ide o ohrievač s príkonom 60 kW. Pred štartom testu post-LOCA dôjde k ohrevu nádoby pomocou duplikácie, aby sa dosiahla požadovaná teplota. Pri nádobe Veľká LOCA sa bude uvažovať, že tento predohrev trvá približne 1 hodinu a duplikácia využíva 70 % svojho príkonu. Pri nádobe Malá LOCA sa počíta počas experimentu s menším odberom elektriny, pri časti post-LOCA sa berie do úvahy iba spotreba kazety EKO. Pri fáze ochladzovania možno uvažovať o prirodzenom ochladzovaní nádoby.

Počas celej skúšky je nutné počítať aj s pomocnými zariadeniami. Odhad je, že tieto pomocné zariadenia majú príkon 3,5 kW po celú dobu experimentu vrátane doby prípravy technológií. Do podporných systémov sa zahrňuje riadiaci systém, frekvenčné meniče, zdroj neprerušiteľného napájania, počítače, všetka elektronika a sieťové komunikačné prostriedky. Taktiež tam patrí meranie kvality vody a napájanie ovládacieho rozvádzaču pre kotol. Počas skúšky sa využíva aj kompresor na udržanie tlaku vo vzdušníku. Kompresor s príkonom 18,5 kW ide podľa potreby, odhadom ide o 16 hodín čistého času.

### 6.2.1 Teoretický výpočet spotrebovanej elektriny počas experimentu LOCA

Spotreba energie jednotlivých častí zariadenia LOCA sa vypočíta nasledovne:

$$P = P_p \cdot t \cdot k \quad (6.2),$$

kde:  $P$  - množstvo spotrebovanej energie (kWh);

$P_p$  - príkon daného zariadenia (kW);

$t$  - doba chodu zariadenia (hod);

$k$  - obmedzenie výkonu (-).

Pri nabíjaní akumuláčnej náplne duplikácie ide zariadenia na 100 %, a tak je  $k$  rovné 1. Odber zariadenia bude:

$$P = 100 \cdot 6 = 600 \text{ kWh.}$$

Experiment trvá približne 10 dní, čo znamená 240 hodín. Príkon vykurovacej kazety EKO je 30 kW, pričom EKO kazeta využíva približne 70 % svojej menovitej hodnoty po celú dobu experimentu. Spotreba elektriny pri chode tejto kazety bude nasledovná:

$$P = 30 \cdot 240 \cdot 0,7 = 5\,040 \text{ kWh.}$$

Pre výpočet spotrebovanej energie pri príprave zaplavovacieho roztoku pri časti post-LOCA sa najprv vypočíta množstvo potrebného tepla na ohriatie daného množstva roztoku pomocou vzorca:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) \quad (6.3),$$

kde:  $Q$  - množstvo potrebného tepla na ohriatie zaplavovacieho roztoku (J);

$c$  - merná tepelná kapacita vody  $4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;

$m$  - hmotnosť roztoku (kg);

$t_2$  - požadovaná teplota roztoku ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_1$  - pôvodná teplota roztoku ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Rovnicu je možné upraviť na nasledujúci tvar:

$$Q = c \cdot \rho \cdot V_r \cdot (t_2 - t_1) \quad (6.4),$$

kde:  $\rho$  - hustota vody  $997 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;

$V_r$  - množstvo potrebného zaplavovacieho roztoku ( $\text{m}^3$ ).

Malá nádoba má objem  $0,6 \text{ m}^3$  a pokiaľ má byť zaplavených 80 % nádoby, tak bude potrebných  $0,48 \text{ m}^3$  vody. Potrebné teplo na ohriatie roztoku pre Malá LOCA bude:

$$Q = 4180 \cdot 997 \cdot 0,48 \cdot (70 - 20) = 100,02 \text{ MJ.}$$

Spotreba sa potom získa pomocou prevodu  $1 \text{ J}$  je  $2,778 \cdot 10^{-7} \text{ kWh}$

$$P = 100,02 \cdot 10^6 \cdot 2,778 \cdot 10^{-7} = 27,79 \text{ kWh.}$$

Veľká LOCA má objem nádoby  $3,5 \text{ m}^3$  a na zaplavenie nádoby je nutných  $2,8 \text{ m}^3$  roztoku. Potrebné množstvo tepla na ohrev zaplavovacieho roztoku bude:

$$Q = 4180 \cdot 997 \cdot 2,80 \cdot (70 - 20) = 583,44 \text{ MJ.}$$

A spotreba elektriny na prípravu zaplavovacieho roztoku bude pre nádobu Veľká LOCA:

$$P = 583,44 \cdot 10^6 \cdot 2,778 \cdot 10^{-7} = 162,08 \text{ kWh.}$$

Na ohrev nádoby Veľká LOCA pred začiatkom testu post-LOCA sa využívajú vykurovacie kazety duplikácie. Pôjdu na 70 % svojho výkonu a doba chodu sa odhaduje na jednu hodinu. Spotreba elektriny bude:

$$P = 100 \cdot 1 \cdot 0,7 = 70 \text{ kWh.}$$

Počas celého experimentu vrátane prípravy kotla je nutné počítať aj s pomocnými zariadeniami, ktoré majú príkon 3,5 kW:

$$P = 3,5 \cdot 253 = 885,50 \text{ kWh.}$$

Pri experimente je dôležité počítať aj s chodom kompresoru po dobu zhruba 16 hodín. Spotreba kompresoru bude:

$$P = 18,5 \cdot 16 = 296 \text{ kWh.}$$

Celkovú spotrebu je možné získať pomocou súčtu vypočítaných hodnôt spotreby jednotlivých zariadení. Spotreba počas experimentu pri využití nádoby Malá LOCA bude:

$$P = 600 + 5040 + 27,79 + 885,5 + 296 = 6\,849,29 \text{ kWh.}$$

Celková spotreba pri experimente s Veľká LOCA bude:

$$P = 600 + 5040 + 162,08 + 70 + 885,5 + 296 = 7\,053,58 \text{ kWh.}$$

Treba opäť podotknúť, že reálne hodnoty spotreby energie sa môžu líšiť od teoretických výpočtov z dôvodu rozdielných profilov skúšky.

## 7 ODBEROVÉ DIAGRAMY AREÁLU A ZARIADENIA LOCA

Centrum výskumu CV Řež má viacero náročnejších technológií, kde dochádza ku zvýšenej spotrebe elektriny a plynu, zároveň je dôležité, aby boli jednotlivé chody zariadení navzájom koordinované. Technológia LOCA patrí k jednej z nich. Je potrebné dopredu skombinovať prevádzky náročnejších zariadení tak, aby sa nepresiahla kapacita areálu a nedochádzalo k vysokým výkyvom v odbere, ktorý by zapríčinil aj vyššie finančné náklady.

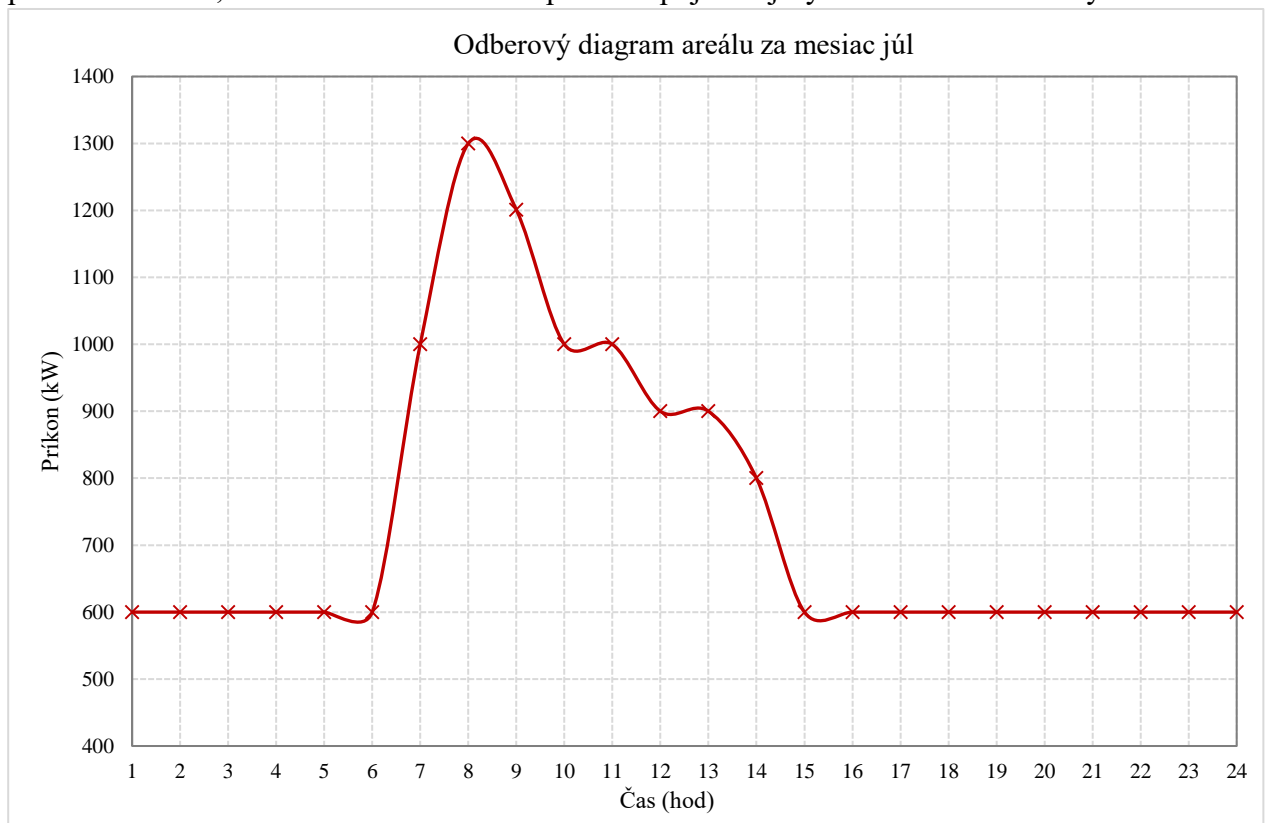
Cieľom práce je pokúsiť sa o čo najefektívnejšiu optimalizáciu prevádzky zariadenia LOCA, aby sme sa vyhli časovým úsekom s najvyšším odberom energie v areáli CV Řež.

Optimalizácia prevádzky má byť uskutočnená na základe odberových diagramov areálu.

### 7.1 Odberové diagramy areálu

Odber v areáli bude porovnávaný v dvoch rôznych ročných obdobiach, a to v lete v júli a v zime v decembri. Grafy budú vyhotovené na základe dodaných dát z CV Řež (viď Príloha A).

Odberové diagramy budú vychádzať iba z pracovného týždňa. Cez víkend je spotreba areálu podstatne nižšia, avšak s víkendom sú napríklad spojené aj vyššie finančné náklady na obsluhu.



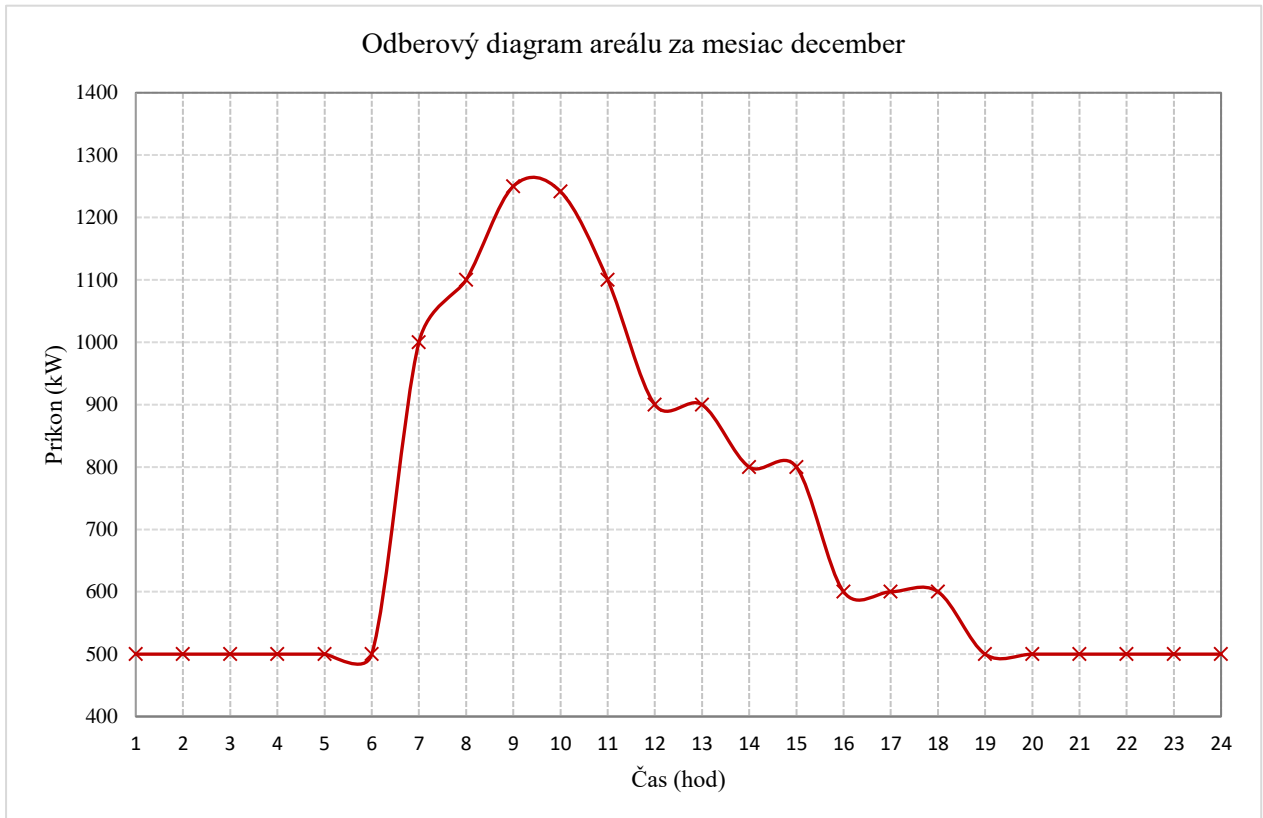
Obr. 10 Odberový diagram areálu za mesiac júl

Na Obr. 10 je zobrazený denný odberový diagram areálu CV Řež za mesiac júl 2018. Z grafu je zrejmé, že nárast odberu začína zhruba o 7. hodine ráno, kedy môžeme počítat s príchodom zamestnancov. Ďalej sa dá vyvodit', že najväčší odber areálu nastáva v doobedňajších hodinách, a to v čase od 7.00 do 11.00, a potom sa spotreba elektriny zníži. Podvečer dochádza opäť k ustáleniu.



Pre porovnanie je na Obr. 11 znázornený zimný mesiac. Pribeh spotreby elektriny je podobný tomu júlovému a líši sa len mierne. Predpoklad by bol, že spotreba bude pomerne väčšia vzhľadom na zmeny vonkajších podmienok, avšak práve kvôli tomu je chod niektorých zariadení pozastavený. Ich údržba sa robí práve preto, aby nedošlo k prekročeniu kapacít a aby sa každý mesiac udržovala približne rovnaká spotreba energie v areáli.

Najväčší odber nastáva opäť v doobedňajších hodinách a potom dochádza k jeho znižovaniu. Maximum, ktoré sa dosahuje zhruba o 9. hodine, je 1250 kW. Cieľom pri optimalizácii prevádzky zariadenia LOCA bude vyhnúť sa týmto špičkám odberu.



Obr. 11 Odberový diagram areálu za mesiac december

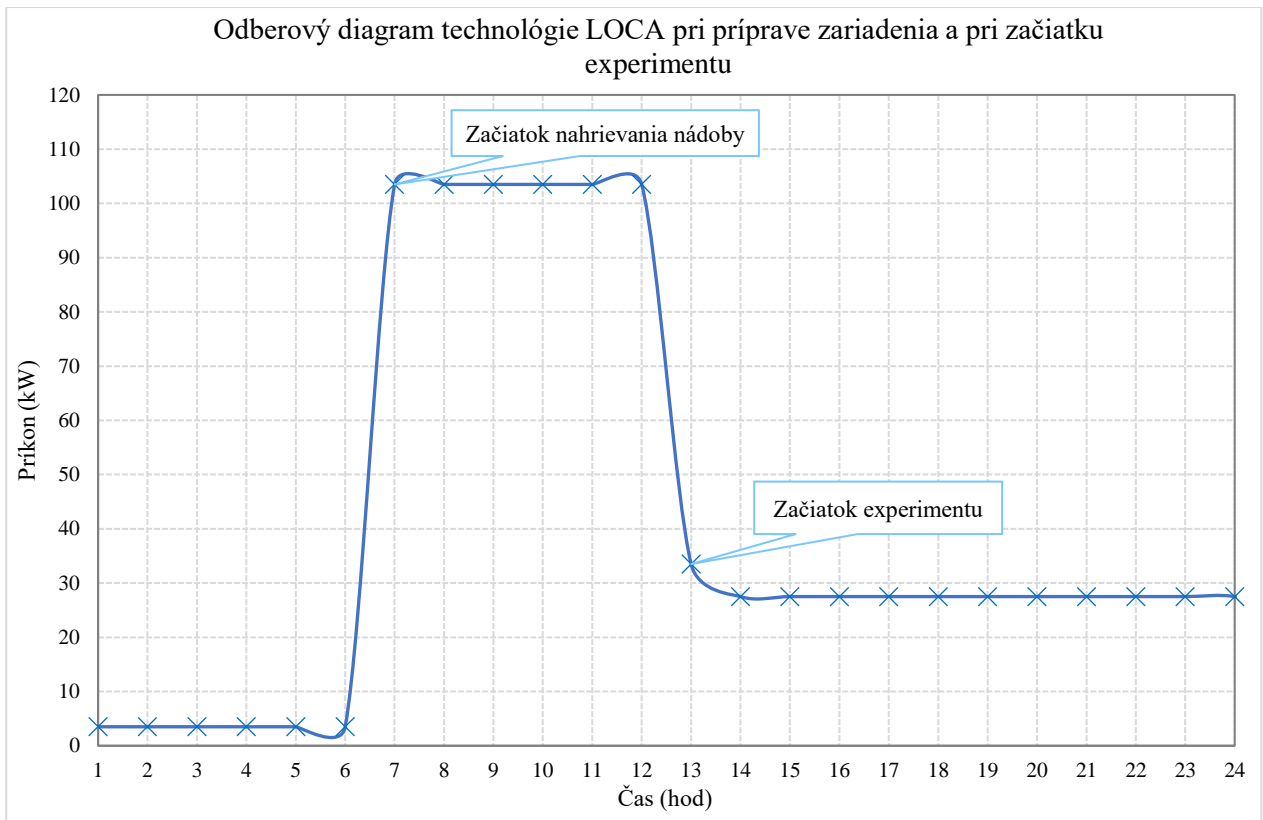
Maximálny hodinový odber plynu areálu je 1400 m<sup>3</sup> a maximálny denný odber je 9 500 m<sup>3</sup>. Podľa výpočtov sa spotreba plynu do týchto hodnôt poľahky zmestí. Je však potrebné vopred nahlásiť plánovaný odber plynu a jeho ukončenie.

## 7.2 Odberový diagram zariadenia LOCA

Na Obr. 10 je vyobrazený názorný odberový diagram zariadenia LOCA, ktorý bol vyhotovený na základe teoretických výpočtov. Diagram zobrazuje prípravu a začiatok experimentu. Počas samotného testu nie je spotreba zariadenia príliš výrazná. K veľkému odberu dochádza pri príprave potrebných zariadení na chod experimentu a potom až pri príprave na experiment post-LOCA. Avšak štart experimentu post-LOCA už nejde časovo optimalizovať, pretože je daný predpísaným termodynamickým profilom skúšky na základe dodaných požiadaviek od zákazníka. Spotreba pri post-LOCA je v porovnaní so spotrebou pri príprave a začiatku experimentu malá. Graf je uvedený iba pre predstavu priebehu spotreby elektriny danej technológie. Z grafu je zrejmé, že najväčšia spotreba nastáva pri príprave duplikácie, čo je od 6.00 do 12.00 hodiny. Po začatí experimentu klesne odber na 33,5 kW, kde sa započítava aj chod kazety EKO, ktorá ide na 100 % svojho príkonu

po dobu jednej hodiny. Z toho vyplýva, že najdôležitejšie je skoordinať dobu, počas ktorej dochádza k nabíjaniu akumuláčnej náplne s odberom areálu.

Diagram nezobrazuje reálnu situáciu, keďže by spustenie kotla muselo prebiehať v noci, čo nie je ideálne riešenie. Z technického hľadiska by bolo lepšie začať v noci so samotným testom, kedy bude v areáli najmenší odber energie. Avšak z hľadiska prevádzky a nutnej prítomnosti obsluhy by to nebolo možné. Zamestnanci, ktorí sa starajú o chod zariadenia, sú v areáli prítomní len v pracovné dni v čase od 6.00 – 18.00 hodiny.



Obr. 12 Odberový diagram zariadenia LOCA

Počas víkendy klesne celkový odber areálu, a to až na hodnoty v rozmedzí 250 – 500 kW. Avšak začiatok skúšky nemôže byť v piatok a ani cez víkend, a to z toho dôvodu, že štart experimentu je najnáročnejšia časť celej skúšky. Je potrebné dohliadať na chod a dodržiavanie dodaného profilu testu. S prevádzkovaním zariadenia cez víkend sú spojené aj vyššie finančné náklady na mzdy pracovníkov a na zabezpečenie technickej podpory dodávateľa. Cez víkend je možné zabezpečiť technickú podporu dodávateľa iba v nevyhnutných situáciách, ako je napríklad 10-dňová skúška, ktorá sa nemôže prerušiť.

Príprava a začiatok experimentu sa bude plánovať na začiatok týždňa. Inak je technológia riadená pomocou riadiaceho systému a prítomnosť obsluhy je dôležitá najmä vtedy, keď dochádza k rôznym zmenám.

## 8 OPTIMALIZÁCIA PREVÁDZKY TECHNOLOGIE LOCA

Zariadenie LOCA je jedným z náročnejších zariadení na spotrebu energie v Centre výzkumu Rež. Preto je dôležité odhadnúť približný odber elektriny a plynu a naplánovať aj časový priebeh experimentu, aby nedošlo ku komplikáciám. Cieľom optimalizácie prevádzky je naplánovať prevádzku zariadenia tak, aby sa chod zariadenia vyvaroval maximám s najvyšším odberom energie v areáli, aby sa neprekročili kapacity a tým nedošlo ku zvýšeným finančným nákladom, ale taktiež, aby to bolo uskutočniteľné aj z prevádzkovo-technického hľadiska.

### 8.1 Optimalizácia prevádzky LOCA pri jednodňových skúškach

Tab. 1 zobrazuje namerané spotreby plynu a elektriny menších jednodňových testov, ktoré slúžia najmä ako nácvik náročnejších plánovaných testov. Počas nácviku sa testujú iba problematické fázy profilu a netestuje sa celý priebeh testu. Tieto dáta boli získané z rozdielov stavu plynomeru a elektromeru pred začatím prípravy experimentu a po jeho ukončení. V prípade krátkych jednodňových testov (viď Tab. 1) nie je optimalizácia prevádzky zariadenia LOCA obzvlášť nutná. V tabuľke je možné vidieť, že nameraná spotreba elektriny dosiahla najviac 681 kW, čo je takmer desaťnásobne menšia hodnota ako tá v teoretickom výpočte pri desaťdňovom experimente. Pri spotrebe plynu je najvyššia zaznamenaná hodnota 316 m<sup>3</sup>, ktorá je takmer o polovicu nižšia ako vo výpočte v kapitole 6.

Tab. 1 Namerané hodnoty spotrebovanej elektriny a plynu pri cvičných experimentoch

	Typ experimentu	Spotreba elektriny (kWh)	Spotreba plynu (m <sup>3</sup> )
Test 1	LOCA	353	305
Test 2	LOCA	429	316
Test 3	LOCA	336	223
Test 4	post-LOCA	554	0
Test 5	post-LOCA	476	0
Test 6	post-LOCA	507	0
Test 7	post-LOCA	681	0
Test 8	LOCA	587	163
Test 9	LOCA	336	231
Test 10	LOCA	247	134
Test 11	LOCA	315	172
Test 12	LOCA	262	111

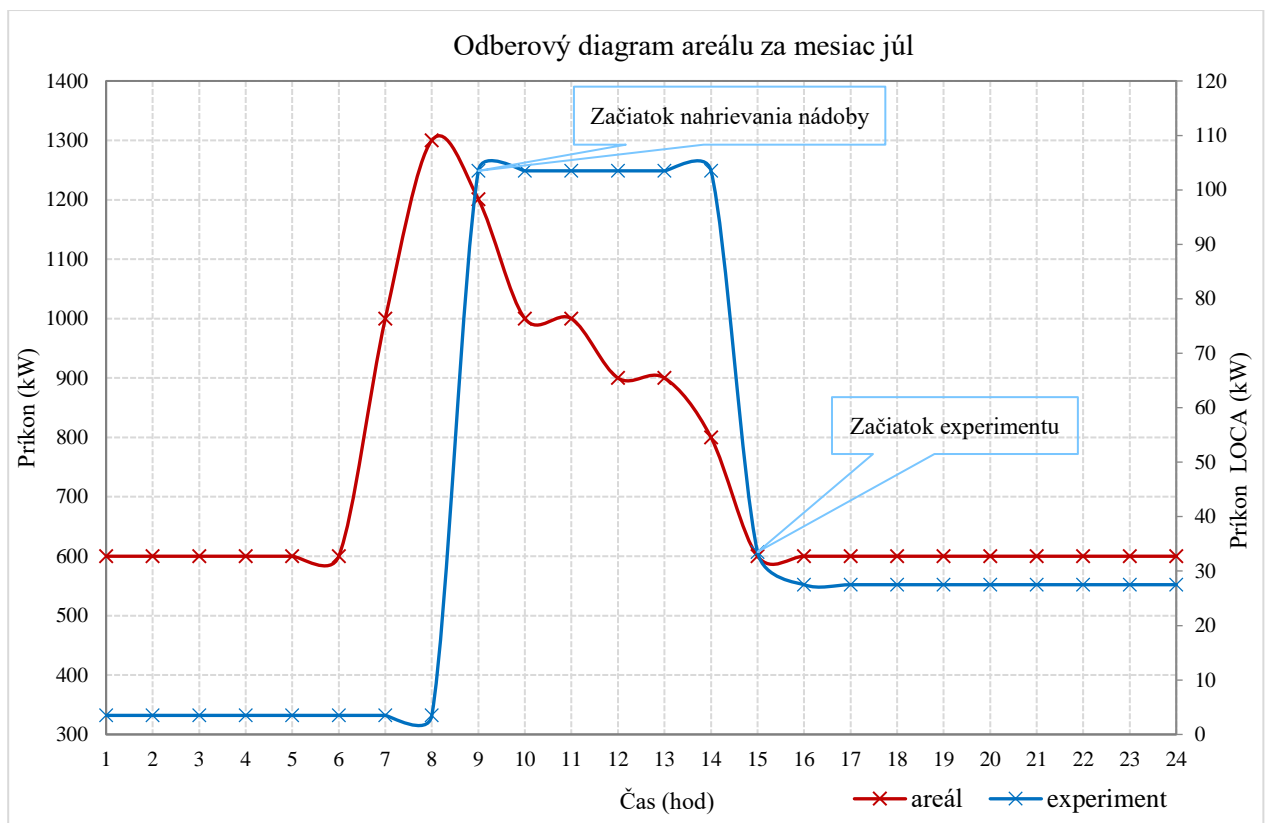
### 8.2 Optimalizácia náročných skúšok

Medzi náročné skúšky sa zaraďujú tie, s ktorými sa uvažovalo aj pri teoretickom výpočte v kapitole 6, kde je spotreba energia značne vyššia. Optimalizácia náročných skúšok bude vychádzať z odberových diagramov areálu, ktoré sú vyobrazené v kapitole 7.

Čo sa týka letného mesiaca, tak na Obr. 13 je možné vidieť eventuálnu optimalizáciu. V tomto prípade by sa začalo s prípravou kotla deň vopred, medzi 17.00 až 18.00 hodinou s tým, že by cez noc mohol ísť výkon horáka na 20 – 40 % svojej hodnoty, kde je hodinová spotreba od 26 m<sup>3</sup> do cca 54 m<sup>3</sup>. Následne by ráno od siedmej mohlo dôjsť k opätovnému zvyšovaniu po dvoch hodinách,

s akým sme uvažovali aj pri výpočte. V tomto prípade je nutné počítať s vyššou spotrebou plynu, než je tá dosiahnutá v teoretickom výpočte.

S prípravou duplikácie by sa začalo približne okolo 9. hodiny ráno, a preto by bol začiatok skúšky naplánovaný zhruba na 15. hodinu. So začatím experimentu je spojený aj vyšší hluk, a to z dôvodu púšťania pary do nádoby. Okolo 15. hodiny sa predpokladá, že v okolí budovy, kde sa nachádza LOCA zariadenie, nebude nadmerný pohyb zamestnancov, ako by to bolo napríklad v obedňajších hodinách.

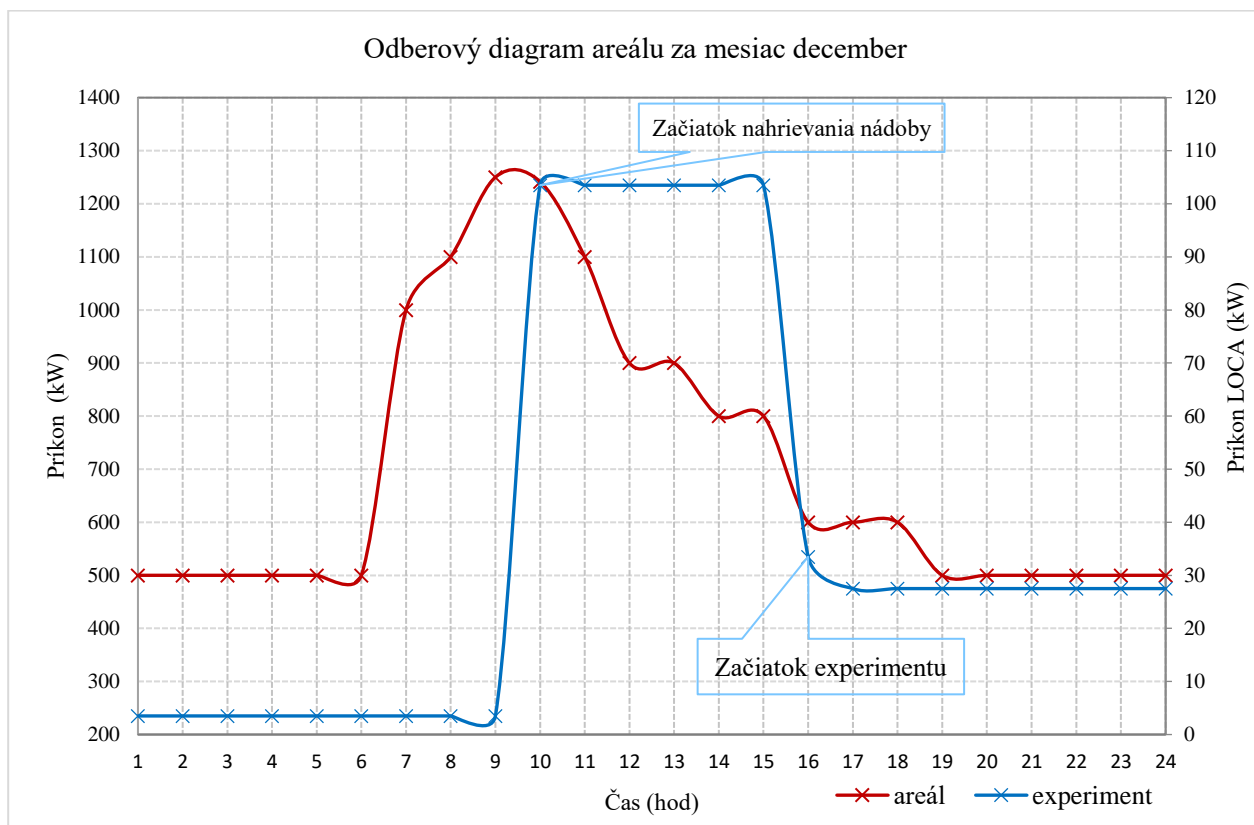


Obr. 13 Optimalizácia zariadenia LOCA v mesiaci júl

Najkritickejšia časť experimentu je práve štart, pri ktorom dochádza k teplotnému a tlakovému skoku. Vtedy je prítomnosť obsluhy nutná najmä pre prípad možných komplikácií. Keď dochádza k postupnému chladeniu vzoriek v nádobe, môže byť skúška v prípade neprítomnosti zamestnancov riadená riadiacim systémom.

V zimnom mesiaci bude skúška prebiehať veľmi podobne. Priebeh je zobrazený na Obr. 14. Príprava kotla sa opäť začne vopred vo večerných hodinách medzi 17.00 – 18.00 hodinou a na diaľku sa bude výkon zvyšovať po dvoch hodinách s tým, že sa opäť zastaví na hodnote približne 20 – 40 % výkonu horáka. Ráno po príchode zamestnancov sa príprava kotla môže dokončiť podľa plánov.

V prípade decembra by bolo z hľadiska odberu areálu vhodné, aby sa s prípravou duplikácie začalo až o 11. hodine, ale potom by skúška musela začať o 17. hodine, čo nie je ideálne riešenie, pretože je potrebná určitá časová rezerva pre prípadne problémy. V rámci optimalizácie by nabitie náplne začalo zhruba o 10. hodine a potom by bol štart testu plánovaný na 16. hodinu.



Obr. 14 Optimalizácia zariadenia LOCA v mesiaci december

Začiatok experimentu post-LOCA sa počas priebehu skúšky nedá meniť, pretože je experiment daný termodynamickým profilom.

Štart experimentu by mal prebiehať začiatkom týždňa, aby sa deň vopred stihlo začať s prípravami kotla. Ideálne bude začať s prípravou kotla v pondelok alebo utorok a potom následne pokračovať s priebehom testu.

Takúto komplexnú optimalizáciu je nutné robiť len v prípade náročných niekoľkodňových experimentov, pri ktorých môžeme očakávať celkovú spotrebu elektriny až okolo 7 000 kWh a spotrebu plynu približne 600 m<sup>3</sup>.

## 9 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo určiť spotrebu energie zariadenia LOCA a optimalizovať prevádzku tohto zariadenia. Najprv sa práca zameriavala na popis projektu LOCA a na samotný priebeh tejto havárie. Následne bolo cieľom priblížiť technológiu LOCA, ktorá simuluje podmienky spomínanej havárie, pričom bol predstavený aj riadiaci systém tohto zariadenia. Posledná kapitola teoretickej časti bola venovaná samotným skúškam, ako je experiment LOCA, post-LOCA a simulácia výbuchu vodíka.

Na začiatku praktickej časti bakalárskej práce sa prostredníctvom výpočtov došlo k teoretickému predpokladu spotreby plynu a elektriny pri typickom 10-dňovom experimente, pri ktorom sa posledné dva dni uskutoční aj experiment post-LOCA. Najprv sa v práci vypočítala predpokladaná spotreba plynu, kde sa počítalo s tým, že pre nádobu Malá LOCA aj Veľká LOCA bude táto spotreba rovnaká. Pri 13-hodinovej príprave kotla sa odhadla spotreba na cca 600 m<sup>3</sup>. Následne sa vypočítala spotreba elektriny pri príprave zariadenia pred začatím experimentu, ale aj počas jeho priebehu a tiež pri experimente post-LOCA. Tu boli získané dva výsledky celkovej spotreby, a to pre nádobu Malá LOCA ako aj Veľká LOCA. Pri experimente s Malá LOCA je odhad spotreby elektriny približne 6 800 kWh a pre experiment s nádobou Veľká LOCA sa táto hodnota pohybuje okolo 7 000 kWh.

V ďalšej časti na základe dodaných dát boli vypracované odberové diagramy areálu, a to zimný a letný mesiac. Tieto odberové diagramy slúžili na to, aby sa dalo určiť, kedy nastáva najvyšší odber v areáli a aby bolo možné vyhnúť sa týmto časovým úsekmi čo najefektívnejšie. Taktiež bol určený odberový diagram zariadenia LOCA pri príprave a začiatku skúšky, aby bolo možné posúdiť, kedy dochádza k najvyššej spotrebe elektriny. Z diagramu bolo zrejmé, že pri príprave akumuláčnej náplne duplikácie je najvyšší odber, a preto bolo dôležité časovo optimalizovať prevádzku už od prípravy potrebných zariadení na správny chod testu.

Posledná časť bakalárskej práce sa venovala návrhu možnej optimalizácie chodu zariadenia na základe kvalifikovaného odhadu spotreby pomocou teoretických výpočtov a odberových diagramov areálu za zimný a letný mesiac. Najprv sa práca zamerala na krátke jednodňové testy, kde je spotreba plynu a elektriny značne menšia. Dospelo sa k záveru, že časová optimalizácia plánovania týchto menej náročných testov nie je zvlášť nutná, ako je to v prípade komplexných viacdňových experimentov. Pri náročných skúškach bolo najdôležitejšie vyhnúť sa doobedňajším hodinám, kedy odber areálu dosahuje najvyššie hodnoty, no optimalizácia sa musela navrhnuť tak, aby to bolo možné aj z technického hľadiska. Je nutné, aby bola pri začiatku skúšky prítomná obsluha, ktorá riadi celý priebeh experimentu. S touto obsluhou avšak nie je možné počítať v noci, takže bolo dôležité brať ohľad aj na zamestnancov a ich pracovnú dobu. Došlo sa k záveru, že najideálnejšie je naplánovať začiatok testu na poobedňajšie hodiny. A to v prípade letného mesiaca na 15. hodinu a v prípade zimného mesiaca na 16. hodinu. Taktiež je potrebné naplánovať štart experimentu na začiatok týždňa, a to na utorok poprípade stredu s tým, že príprava kotla začne deň vopred.

Najdôležitejším výstupom práce je práve príkladné optimalizovanie prevádzky experimentov, ktoré môže slúžiť pre budúce plánovanie jednotlivých skúšok. Treba však počítať s tým, že ide len o návrh a každý experiment je daný profilom, ktorý dodáva zákazník a je nutné sa ním riadiť.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] *Zařízení pro simulaci těžké havárie JE nové generace (LOCA): Uživatelský manuál.* Centrum Výzkumu Řež s.r.o., 2016. Číslo dokumentu: UM01.
- [2] ERHART, J., RABOCHOVÁ, M. *Nová LOCA laboratoř v Centru výzkumu Řež s.r.o.* Bezpečnost jaderné energie/Bezpečnost jadrovej energie. 31. 1. 2017. ISSN: 1210-7085.
- [3] *Havárie spojené se ztrátou chladiva (LOCA)* [online]. 3.12.2013 [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <http://atominfo.cz/2013/12/havarie-spojene-se-ztratou-chladiva/> .
- [4] PLUŠKE, Z. *Možnosti zvyšování jaderné bezpečnosti pro koncept pasivního systému s ledními kondenzátory v případě LOCA havárie* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012 [cit. 2018-11-11]. 64 s. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=56662](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=56662) .
- [5] *Zkušební specifikace a bezpečnostní návod pro práci s tlakovým souborem pro simulace termodynamických podmínek (LOCA).* Centrum Výzkumu Řež s.r.o., 2019
- [6] *Zařízení pro simulaci těžké havárie JE nové generace (LOCA): Quick start guide.* Centrum Výzkumu Řež s.r.o., 2016. Číslo dokumentu: QSG00.
- [7] Interná databáza CV Řež. Michaela Rabochová. 26.10.2018.
- [8] Interná databáza CV Řež. Lukáš Procházka. 26.11.2018.
- [9] Interná databáza CV Řež.

# PRÍLOHA A

Príloha A uvádza

Tab. A- 1 Priemer hodinového výkonu areálu za mesiac júl 2018

Průměr hodinového výkonu [kW]			
hodina	pr.dny	SO	NE
počet	20	4	7
00-01	600	400	300
01-02	600	400	300
02-03	600	400	300
03-04	600	400	300
04-05	600	400	300
05-06	600	400	300
06-07	1000	300	300
07-08	1300	300	300
08-09	1201	300	300
09-10	1000	300	300
10-11	1000	300	300
11-12	900	300	300
12-13	900	300	300
13-14	800	300	300
14-15	600	300	300
15-16	600	300	300
16-17	600	300	300
17-18	600	300	400
18-19	600	300	400
19-20	600	300	500
20-21	600	300	500
21-22	600	300	500
22-23	600	400	300
23-24	600	400	300
Měsíční odběr kWh:	354020,0	32000,0	56000,0



Tab. A- 2 Priemer hodinového výkonu areálu za mesiac december 2019

Průměr hodinového výkonu [kW]			
hodina	pr.dny	SO	NE
počet	19	4	8
00-01	500	300	300
01-02	500	300	300
02-03	500	300	300
03-04	500	300	300
04-05	500	300	300
05-06	500	300	300
06-07	1000	250	250
07-08	1100	250	250
08-09	1250	250	250
09-10	1242	250	250
10-11	1100	250	250
11-12	900	250	250
12-13	900	250	250
13-14	800	250	250
14-15	800	300	300
15-16	600	300	300
16-17	600	300	300
17-18	600	300	400
18-19	500	300	400
19-20	500	300	500
20-21	500	300	500
21-22	500	300	500
22-23	500	400	300
23-24	500	400	300
Měsíční odběr kWh:	320940,0	28000,0	60800,0