



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Elektronikai Technológia Tanszék

Havellant Gergő

**HŐKÖZLŐ ANYAG  
NYOMÁSVISZONYAINAK ÚJSZERŰ  
VIZSGÁLATA GŐZFÁZISÚ FORRASZTÁS  
SORÁN**

**TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT**

KONZULENS

Dr. Géczy Attila

BUDAPEST, 2022

## TARTALOMJEGYZÉK

Kivonat .....	4
Abstract .....	5
1. Bevezetés.....	6
1.1 Motiváció.....	6
2. Szakirodalmi áttekintés .....	7
2.1 Újraömlesztéses forrasztás folyamata .....	7
2.2 A gőzfázisú forrasztás bemutatása .....	8
2.3 Laboratóriumban elérhető berendezések .....	11
2.4 Nyomásmérés problémáinak bemutatása .....	11
2.4 Célkitűzés .....	12
3. Kísérletterv, módszertan.....	13
3.1 Raspberry Pi Sensor Hat fejlesztés .....	13
3.1.1 Egyedi fejlesztés célja.....	13
3.1.2 Nyomásmérő és egyéb alkatrészek .....	13
3.1.3 Blokkvázlat .....	19
3.1.4 Szoftver .....	20
3.2 Fritőzben kialakított VPS .....	22
3.3 ASSCON VP800 mérési nehézségek, átépítés .....	23
3.4 Mérési módszer.....	27
4. Mérési eredmények .....	29
4.1 Kezdeti mérések .....	29

4.1.1 ASSCON VP800 – első mérés.....	29
4.2 Időzített mintavételezés .....	30
4.2.1 Probléma felismerése .....	30
4.2.2 Megoldás.....	31
4.2.3 Validálás kontrollált környezetben .....	32
4.2.4 ASSON VP800 eredményei.....	34
4.2.5 Időzített mintavételezés vs. folyamatos mintavételezés .....	35
4.3 Hőmérsékletmérés .....	37
4.3.1 Hőmérő elhelyezése fritőzben.....	37
4.3.2 Hőmérő a VP800-ban.....	37
4.3.3 Hőmérsékletmérés problémái .....	38
5. VP800-ban tapasztalt nyomásváltozások .....	39
5.1 Vizsgálati eredmények .....	39
5.2 Egy forrasztási ciklus.....	40
5.3 Forrasztási cikluson kívüli tartomány.....	43
6. Tovább lépési lehetőségek.....	45
7. Összefoglalás.....	46
8. Köszönetnyilvánítás .....	47
9. Irodalomjegyzék.....	48
10. Melléklet – Bill of Materials a mérőpanelhez .....	1

# Kivonat

A mai gőzfázisú forrasztó berendezések vezérlése hőmérséklet alapján történik. Mind a felfűtési szakaszban, mind pedig a forrasztási ciklus során egy vagy több hőelem értékei alapján dönt a berendezés a folyamat kimeneteléről. Ennek nagy hátránya, hogy a hőmérséklet diagrammok egytárolós tag jelleget mutatnak aszimptotikus telítődéssel, így nehezen meghatározható a vezérlés számára mikor is értük már el a kívánt hőmérsékletet. Ezen okoknál fogva a vezérlő szoftver működése során holt idők jelentkeznek, amíg a berendezés vár, hogy biztosan elérje a megfelelő hőmérsékletet.

A berendezésben fellelhető Galden folyadék gőze, nehezebb a levegőnél, emiatt a kemence alján halmozódik fel. Alap esetben PCB nélkül, egy egyensúlyi állapot áll be, mely során annyi gőz fejlődik, ami visszacsapódik a tartályba. Így kialakul egy nyomásérték, amely függ a gőzoszlop magasságától. Ezek által, ha ismerjük ezen nyomásértéket, abból következtethetünk a gőz magasságára. A nyomásmérés sokkal rezponzívabbnak bizonyult a hőmérsékletméréshez képest, a berendezés felfűtésénél látható feltöltődő kondenzátor tetején ellaposodó görbéje helyett egy egyértelmű pontként megkapható a maximális nyomásérték. Tehát ezáltal kiküszöbölhető a holtidő, a berendezés rögtön tud reagálni a gőztérben történt változásokra.

Az alapelv kidolgozása során a hidrosztatikai nyomásmérés módszerét alkalmaztam, a gőzbe merített másik végén zárt csőben megjelenik a gőztér okozta többletnyomás. Ezt egy nyomásmérővel egyszerűen vizsgálhatjuk. A probléma gyökere pedig pont ez az elrendezés, mivel az illesztések és a szenzor felépítéséből adódóan a rendszer szelel, elereszti a bemeletés okozta többletnyomást. Ennek kiküszöbölése érdekében született a megoldás egy aktuátorként funkcionáló levegőpumpa formájában, amely célja, hogy időről-időre átbuborékolatva a csőhálózatot, kompenzálja a szivárgást.

TDK dolgozatomban megvizsgáltam milyen időközönként, milyen hosszú ideig érdemes a pumpát működésbe hozni, amely kellően elegendő, hogy a buborékolatás megtörténjen, viszont a bejuttatott hideg levegő ne befolyásolja a forrasztás kimenetelét. Sikertült egy olyan konfigurációt létrehoznom, amely alkalmas akár ipari gőzfázisú berendezésekben való alkalmazásra. A vizsgálatok korábbi tanszéki munkákra alapulnak, de saját munkámban teljesen az alapoktól indítottam a fejlesztést, amellyel a korábbi megoldások eredményeit továbbfejlesztettem, így az itt bemutatott eredmények újszerűnek tekinthetők.

# Abstract

Today's vapour phase soldering equipment is controlled by temperature. Both in the heating phase and during the soldering cycle, the equipment decides the outcome of the process based on the values of one or more thermocouples. The major disadvantage of this is that the temperature diagrams show the nature of a first order system, with asymptotic saturation, so that it is not possible to determine exactly when the desired temperature has been reached for the control. For these reasons, dead times occur during the operation of the control software while the equipment waits to be sure that the correct temperature has been reached.

The vapour of the Galdenic liquid in the equipment is heavier than air and therefore accumulates at the bottom of the furnace. Without PCB, an equilibrium condition is reached whereby enough vapour develops to condense back into the tank. This creates a pressure value that depends on the height of the steam column. By knowing this pressure value, we can deduce the height of the vapour. The pressure measurement has proved to be much more responsive than the temperature measurement, and instead of the flattening curve at the top of the charging condenser seen when the equipment is heated up, a clear point can be obtained as the maximum pressure value. This eliminates dead time and allows the equipment to react immediately to changes in the vapour space.

In developing the principle, I used the hydrostatic pressure measurement method, with the excess pressure caused by the vapour space appearing in a closed tube at the other end immersed in the vapour. This can be easily tested with a pressure gauge. This arrangement is the root of the problem, as the design of the fittings and the sensor means that the system is windy, letting go of the excess pressure caused by the immersion. To overcome this, a solution was found in the form of an air pump acting as an actuator, which is designed to compensate for the leakage by periodically bubbling through the pipe network.

In my TDK thesis, I investigated the intervals and the length of time at which the pump should be operated, which is sufficient to ensure that the bubbling takes place without the cold air introduced affecting the soldering result. I have succeeded in creating a configuration that is suitable for use in industrial vapour phase installations. The investigations are based on previous work in the department, but in my own work I have started completely from scratch, improving on the results of previous solutions, so the results presented here can be considered novel.

# 1. Bevezetés

## 1.1 Motiváció

Az elektronikai gyártástechnológia során ma már az újraömllesztéses forrasztás vált alapvetővé [1]. Ezen belül is az infra hőátadással rendelkező alagútkemencék váltak a gyártósorok alapeszközeivé. Ezen felül egyre jobban teret hódít a gőzfázisú forrasztás, mivel van olyan eset, amely során hatékonyan és biztonságosan csakis ez a módszer használható. Gondoljunk itt például a hőmérsékletre érzékeny alkatrészekre, mivel a gőzfázisú forrasztás során sokkal egyenletesebb hőmérséklet eloszlás alakul ki a hordozó felületén.

A gőzfázisú forrasztó berendezés vezérlése a mai technológiában csupán hőmérséklet alapon működik, amely valóban alkalmazható, de problémái miatt érdemes tovább gondolni, és újabb megoldásokat kutatni. Egy gőztér hőmérséklete igen nehezen mondható általánosnak, mivel a legalapvetőbb probléma, hogy a behelyezett hőmérő paramétereitől is függ a mért érték.

Kutatásom során a gőztér hidrosztatikai nyomásmérése felé vettem az irányt, mivel sokkal könnyebben meghatározható a gőztér ezen paramétere, nem függ a behelyezett szondától, ideális elhelyezés esetén pedig nem csak egy pontról kapunk információt, hanem a gőztér teljes magassága meghatározható. A nyomásmérésnek más jellegű problémái akadnak, mint a hőmérsékletnek. Általánosságban elmondható, hogy a gőztér nyomása a 20-30Pa os tartományban mozog, többletnyomásként a légköri nyomáshoz képest. Ehhez igen kis mérésstartományban lévő differenciális nyomásmérőre van szükség. A problémát a rendszer illesztései és a szenzor felépítéséből adódó folyamatos szivárgás okozza. Ennek kiküszöbölésére elődjeim egy aktuátorként funkcionáló levegő pumpát alkalmaztak, amivel a csőhálózat átbuborékoltatható, így kompenzálva a szivárgást. TDK kutatásom során tökéletesítettem a módszert, megfelelő vezérléssel láttam el a szenzort és a pumpát, ezáltal már nem csak egy próbaként használt fritőzből kialakított VPS berendezésben lett használható a mérőszensor, hanem egy kisebb módosítással, egy iparban is használaton ASSCON VP800-as típusú forrasztó berendezés is vizsgálhatóvá vált. Ezen mérés során érdekes megfigyelések tehetőek a zárt térben történő gőzváltozásokra, amelyek egyrészt használhatóak váltak hogy a későbbiekben megépíthetővé váljon egy olyan VPS amely vezérlése nyomásalapon történik, illetve olyan más paraméterek is megfigyelhetőek amely akár a mostani berendezésekben, egyfajta visszacsatolást adhat a megfelelő működésről.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.1 Újraömllesztés forrasztás folyamata

Az újraömllesztés forrasztás a mai tömeggyártás alapvető technológiája. Az automatikus SMT gyártósorok eleme, amely során kialakul a forrasztott kötés [1].

A forraszpaszta kicsiny, jellemzően típustól függően 25-50  $\mu\text{m}$  átmérőjű forraszgolyócskákból áll. Ezt a pasztát a stencilnyomtatás folyamata során viszik fel szelektíven a hordozó felületére. A stencil jellemzően 100  $\mu\text{m}$  vastag fémlemez, amelyen különféle technológiákkal képesek vagyunk apertúrákat nyitni, amin keresztül lehet a pasztát a felületre vinni.

Ezután történik az alkatrészek beültetése a megfelelő helyre, gyártási volumentól függően kézzel vagy automatizált berendezések segítségével.

A forrasztott kötés kialakításához szükséges, hogy a pasztát a forraszanyag olvadáspontja fölé melegítsük, ennek hatására a golyók megömlenek, a folyasztószer aktiválódik és a golyók egy homogén forraszanyaggá állnak össze. Ez a folyadék befutja (nedvesíti) a rendelkezésre álló felületet az alkatrészkivezetésen és a hordozón kialakított pad felületén. A hűtés hatására a folyékony állapotból szilárdvá válik, és kialakul a kívánt forrasztott kötés.

Az újraömllesztés forrasztás általános fűtési módszerei három különböző megközelítéssel történnek; az első az infravörös fűtés. Ezt a módszert számos kritika érte az egyenetlen fűtés, a nehéz profilösszetétel és a különböző sugárzásfűtéssel kapcsolatos forrasztási hibák miatt [2]. A második és a tömeggyártásban legszélesebb körben alkalmazott újraömllesztéses módszer a kényszerkonvekciós fűtés, ahol a hőátadás szabályozott gázáramlással történik elkülönített munkazónákban. [3]. A harmadik módszer a gőzfázisú forrasztás, másnéven Vapour Phase Soldering (VPS).

## 2.2 A gőzfázisú forrasztás bemutatása

A gőzfázisú forrasztás elmélete a filmszerű kondenzáción alapuló hőátadáson alapul. Az 1980-as évek után ez a technológia kikerült a figyelem középpontjából. Ennek oka az eljárás során használt hőátadó közegben lévő mérgező komponens volt [4]. Napjainkban az inert és kémiaiilag stabil PFPE-alapú Galden-folyadékok [5] lehetővé teszik a tiszta VPS reflow-eljárásokat [6]. Ez az anyag újra bevezette a gyártók körében a VPS technológiát, új korszakot indítva a VPS alkalmazásában. A VPS-eljárás során a gőzölgő hőátadó közeg a kemencében oszlik el és telítődik [7], és a hidegebb nyomtatott áramkörti lap (PCB) szerelvény (PCBA) egy gőz "takaróba" vagy más szóval "oszlopba" merül. A hőátadás akkor következik be, amikor a hideg PCBA felületein kondenzáció indul meg. Belátható, hogy ebben a rendszerben a hőmérséklet nem tud a forráspontra fölé emelkedni amíg folyadék fázisban található Galden a tartály alján, mivel az összes betáplált energia a forrás fenntartására fordítódik.

A VPS újbóli megjelenése során különböző új kemence-konstrukciók és vezérlési elvek jelentek meg a piacon. Ezek egyike volt a "hőszinten" alapuló VPS-megközelítés (HL-VPS) [7]. Ez a módszer a szabványos eljárás alapján, de sok szempontból finomított. Először a PCBA-t egy mintatartóra helyezik egy tartály (vagy tartály) tetején, a betöltési magasságban lévő tálcára. Ezután egy fedelet zárnak erre a tartályra, és a PCBA-t leeresztik a kemencében lévő munkatérbe. A legalapvetőbb „standard” VPS-eljárások során a tartályban már ekkor telített gőzök vannak jelen. A HL-VPS-ben a gőz a tartály aljáról kerül a szerelvény felületére, miután a lap elérte a forrasztáshoz meghatározott alsó pozíciót. A munkatérület-szabályozás a tartály különböző magassági pontjain lévő hőmérséklet szenzorok mérésein alapul. Ezek visszajelzést adnak a hőátadó közeg felmelegedéséről és esetleges felforrólásáról. A mérési pontok általában a forrásban lévő folyadékkal érintkező forró folyadék szintjén, a lemez függőleges bemelegítési szintjén, és a forrasztási szint felett egy meghatározott magasságban helyezkednek el. Ha a szerelőlemez szintje felett megnövekedett hőmérsékletet mérnek, akkor az adott érzékelő jelzést küld, hogy a gőz e függőleges pozíció felett már jelen van, mert a fűtött szerelvény már nem von el jelentősebb mennyiségű gőzt a kondenzációval. A túlhaladó gőz tehát felmelegíti a felső termoelemet, és egy beprogramozott késleltetés után (az ún. fűtési késleltetés, amely egy meghatározott ideig tartja a maximális hőmérsékletet) a kemence leállítja a forrasztási folyamatot. Végül a nyomtatott áramkört a betöltési magasságba emelik. Egy forrasztási munka (amely szakaszos feldolgozással is elvégezhető) összesen 10-25 percet vesz igénybe a kemence állapotától függően.



A fűtési teljesítmény változásokat okozhat a folyamat tranzienseiben; továbbá befolyásolhatja a gőzoszlop magasságát, így következképpen szabályozhatja a forrasztás hőmérsékleti profilját, beleértve a fűtési gradienst is. Ez a megközelítés jelentős előrelépést jelentett a hagyományos, telített gőz alapú forrasztási elvekhez képest. Ebben a dolgozatban többféle megoldásra is összpontosítunk, amelyeket a gépek leírásánál tisztázunk. Fontos kiemelni, hogy ennek a megközelítésnek megvannak a gyakorlati korlátai. Az eljárásnak vannak holtidő problémái - a közeg típusának felismerésére a forráspont-hőmérséklet azonosításával hosszú időt tölt a berendezés. A hűtés is hosszú időt vehet igénybe, ami meghosszabbítja a forrasztási munkát.

A VPS-eljárás számos szempontból javítható, például a már említett termoelemes mérések is ezt mutatták [8]. A termoelemek alkalmazását Lam és munkatársai [9] és Livovsky [10] vizsgálták, mindketten kísérleti kemencékben, valós idejű profilalkotásra és szabályozásra. Mielőtt a gőz elkezdené telíteni a forrásban lévő folyadék felett rendelkezésre álló térfogatot, a munkatérben nem telített levegő-gőz keverék van jelen, amelyet FDM-mel modelleztek [11]. Ezt a nem telített gőzt nem egyszerű forrasztásra használni, de a fejlettebb kemencék kihasználhatják a tartályon belüli függőleges koncentrációgradienseket.

A Galdengőz koncentrációja és az ebből következő telített gőzoszlop a forrás miatt alulról növekszik. A Galdengőz térfogatsűrűsége 20-szor nagyobb, mint a levegő sűrűsége. Következésképpen még a telítetlen gőzök (levegő-Galden keverék) is képesek nem elhanyagolható mennyiségű energiát tárolni. Így ennek a keveréknek az energiája még mindig elegendő lehet a munkaterületet figyelő hőmérséklet-érzékelők felmelegítéséhez. A dinamikus koncentrációváltozások mérésének igénye például csövekkel történő nyomásalapú érzékeléssel elégíthető ki. Ez a megközelítés akkor került bevezetésre, amikor az érzékeny, differenciális áramlásérzékelős nyomásmérést szabványos VPS-kemencékben valósították meg a tanszéki kollégák, korábbi munkájukban. Ez a megközelítés növelheti a termelékenységet [12] a kemencék üresjáratú idejének csökkentésével. A dinamikus gőzkoncentráció-monitorozás információt szolgáltat a telített gőzoszlop alakulásáról. A [12]-ben azonban a hidrosztatikus nyomás kimutatása korlátozott volt az akkor rendelkezésre álló készülék miatt.

Van egy másik alternatíva is a gőzmagasság érzékelésére az ellenőrzési alkalmazáshoz. Livovsky bemutatott egy lemezkondenzátort a gőzoszlop magasságának megfigyelésére, amely képes a magas hőmérsékletekben is pontosan mérni [13,14]. A kondenzátor két lemezének belsejében a dielektromos tulajdonságok változása megváltozik, ahogy a telített gőz a lemezek

között kondenzálódik. A kapacitásváltozás felhasználható a kemenceszabályozás finomhangolására. Ez a megoldás azonban még kísérleti fázisban van, és még nem áll rendelkezésre kereskedelmi felhasználásra. Kísérleti optikai szonda alkalmazása is lehetséges [15], de ez nem alkalmazható folyamatos használatra, csak a gőzbe való egyedi bemelegítéssel.

A gőzfázisú forrasztás közelmúltbeli alkalmazását főként a modern, felületre szerelt PCBA-k esetében mutatták be. A módszert LED és BGA alapú szerelvényeknél vizsgálták [16]. Az illesztések minősége is döntő kérdés volt más reflow módszerekkel összehasonlítva [17], a teljesítményelektronika [18], az „aerospace” elektronika [19] vagy a hagyományos felületszerelés sajátos területén, a void hibák elemzésére összpontosítva [20,21].

Tehát elmondható, hogy ilyen módon igen kontrollált hőmérsékleten végezhetjük a forrasztást, a Galden folyadék forráspontja határozza meg a forrasztási hőmérsékletet. Ez igen előnyös abban az esetben, ha egy-egy adott alkatrész érzékeny a magasabb hőmérsékletre. Itt nem jelentkezik az infra fűtésnél megfigyelhető hőmérsékletkülönbség, így sokkal egyenletesebb hőmérsékleteloszlás alakul ki a hordozó felületén. Hátránya, hogy gyártósorba nehezebben integrálható, illetve vannak olyan alkatrészecskék, jellemzően szenzorok, amelyek nem ajánlják a gőzfázisú forrasztást, mivel érzékeny lehet a gőzre.

## 2.3 Laboratóriumban elérhető berendezések

Az Elektronikai Technológia Tanszéken három gőzfázisú forrasztóberendezés található.

Egy kísérleti gőzfázisú berendezés, amely egy fritőzből került kialakításra. Ennek fűtőszála egy változtatható transzformátoron keresztül vezérlehető, hűtőköre vízhűtéssel működik. A VPS berendezésekben szükség van hűtésre, mivel így csapdázható a gőz, az nem tudja elhagyni az edényt. Erre szükség van mert a Galden folyadék igen költséges, így törekszenek a minél kisebb veszteségek elérésére. Ez e berendezés kitűnően alkalmas arra, hogy kontrollált környezetben vizsgálhassuk a gőztér viselkedését és „standard” módon, telített gőzben forrasszunk vele.

A közepes méretű ASSCON VP450-es [22] berendezés kifejezetten kutatási célra, tesztelésre és prototípus gyártásra alkalmas, a fentebb bemutatott HL-VPS módon. Tálca mérete 45x45cm-es, fűtése 3 kW, a működéshez szükséges Galden mennyisége 2,5kg. Korábbi nyomásmérést célzó kutatások során ez a berendezés volt használva, így a kutatásomat során a fritőzben való validálás mellett, a jóval összetettebb berendezésben végeztem.

A tanszék laboratóriumában elérhető legnagyobb berendezés az ASSCON VP800 [23]. Ennek tálcamérete 48x29,5 cm, átlagos fűtésteljesítménye 2,7 kW, működéséhez szükséges Galden mennyiség 15 kg. Ez a berendezés rendelkezik egy kiegészítő egységgel, amivel a forrasztás végén vákuumot képes előállítani a forrasztási térben és a még folyadék állapotban lévő forrasz anyagból ezáltal kiszívva a levegőt, a void képződést csökkenti. A kutatáson során ezt berendezést használtam a későbbi fejezetben bemutatott átépítéssel.

## 2.4 Nyomásmérés problémáinak bemutatása

A gőzfázisú forrasztó berendezések hőmérséklet alapú vezérléssel vannak ellátva. A panel szintjéhez képest magasabban elhelyezett hőmérő jeléből képes a gép megállapítani, hogy a megömlés megtörtént.

Amit a tálca és vele a panel átvette a környezet (Galdengőz) hőmérsékletét, a kicsapódás megszűnik és a gőzépülés képes tovább haladni a tálcán. Az így felépülő gőztér eléri a felső hőmérőt, és ebből az értékből tudja a berendezés, hogy alatta a tálcán megtörtént a forraszanyag megolvadása. Látható, hogy a gőz magassága összefügg a forrasztási ciklus előrehaladtával. Mivel a gőztér kitölti a tartály alját, ezért értelmezhetjük a hidrosztatikai nyomását. Ha egyik

végén zárt csövet a gőztérbe helyezünk akkor a cső végén betóduló gőz a felette lévő levegőt összenyomva többletnyomást eredményez. Ez a többletnyomás arányos a gőztér magasságával. Amennyiben mérhetővé tesszük ezt a nyomást, egy új paraméterrel tudjuk jellemezni a gőzterünket.

Előző tanszéki eredmények alapján egy a többletnyomás igen kicsiny, jellemzően 20-30 Pa-os tartományba esik. A probléma gyökere, hogy az illesztések és szenzor felépítéséből adódóan egy szivárgás jelenséggel kell szembenéznünk. Ismert, hogy a szilikon oxigén-permeábilis tulajdonságokkal rendelkezik. Tehát ilyen kis nyomások vizsgálatánál a folyamat időablakával összemérhető időben jelentős nyomásérték-csökkenést tapasztalunk, az összenyomott levegő miatt keletkező többletnyomásunk idővel eltűnik. Megoldás a problémára, ha a csövet kiemeljük és újra a gőztérbe helyezzük ezzel resetelve a mérést. Belátható, hogy ez folyamatos üzemben nem alkalmazható. Ennek kiküszöbölésére született a megoldás a megelőző kutatások során, hogy egy aktuátorként működő levegőpumpával összekötve a nyomásszenzort, a csőhálózat átbuborékolható, és ezzel ugyan azt a hatást érjük el, mint a kiemeléssel, majd újra behelyezéssel.

## 2.4 Célkitűzés

Tehát a megoldás ötlete adott, viszont újabb kérdések merültek fel hogy milyen időközönként mennyi ideig érdemes a pumpát járatni ahhoz hogy megfelelő módon kompenzáljuk a szivárgást. Ezen kérdésekre kerestem a választ TDK dolgozatomban, az elmélet igazolására szolgált minden esetben a kísérleti VPS, ahol állandó körülmények találhatóak, ezt követően pedig a gyakorlatban az ipari VPS berendezésben került, a már működő mérési elrendezés használatra.

## 3. Kísérletterv, módszertan

### 3.1 Raspberry Pi Sensor Hat fejlesztés

#### 3.1.1 Egyedi fejlesztés célja

A mérési elrendezésben tehát egy nyomásmérő szenzor és egy levegőpumpa megfelelő összehangolása vált a feladat céljává, illetve az adatok mentése valamilyen adattároló egységre. A feladat természetesen próbapanelen is megépíthető, ami valóban költségghatékony, de több problémát is láttam, amely befolyásolhatja a mérést.

Próbapanel esetén a legnagyobb problémaként a kontaktusok instabilitását említeném. A mérés során egy olyan szenzort fogok használni, amelynek analóg kimenete van, így szükséges egy analóg-digitális konverter. Sajnos a legtöbb mikrokontroller alaphoz 8-10-12 bites ADC-kel vannak ellátva, amelyet kevésnek találtam a mérésből eredő kicsiny nyomástartomány miatt. Tehát láthatjuk, hogy nagyon fontos a megfelelő kontaktus a részegységek között.

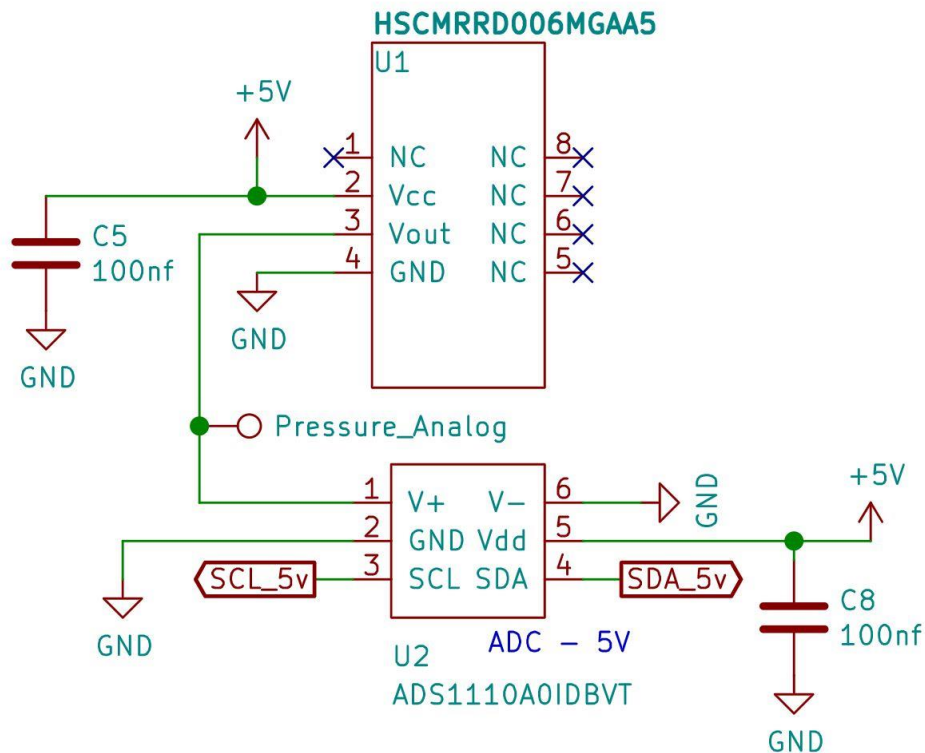
Továbbá mivel ez elejétől fogva tudtam, hogy több berendezésben is kívánok nyomást mérni fontos volt a hordozhatóság, amely egy próbapanelon összedugdosott áramkör esetében nehezebben kivitelezhető.

Egy célhardver fejlesztésével, egyszeri feladatként kellett megtervezni és megépíteni, a későbbiekben viszont lehetett csak a mérési eredményekre koncentrálni, nem kellett a mérési elrendezéssel foglalkozni.

#### 3.1.2 Nyomásmérő és egyéb alkatrészek

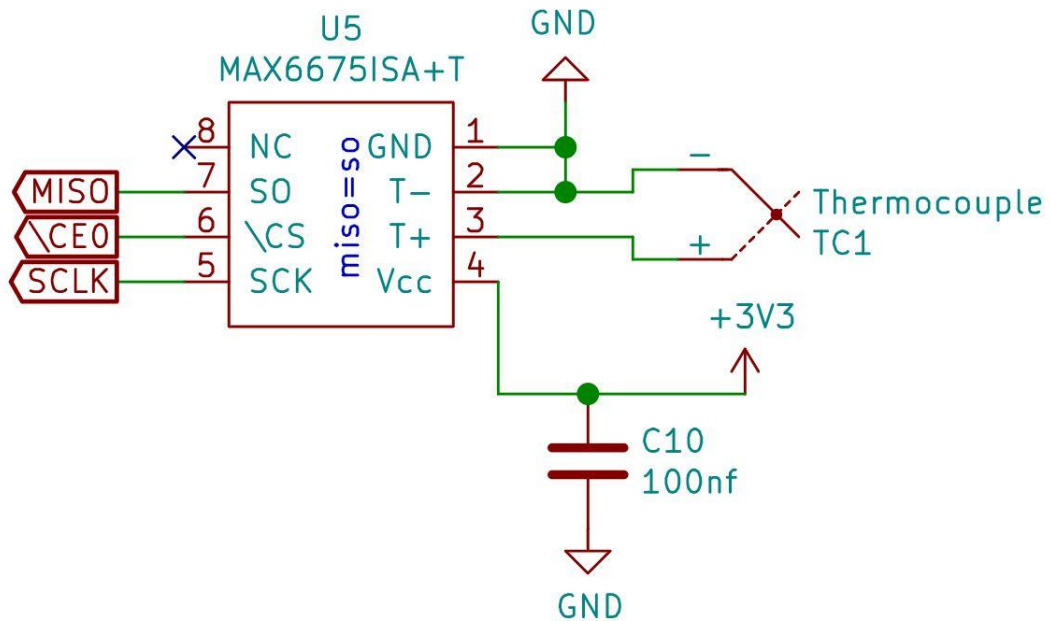
A nyomásméréshez az HSCMRRD006MGAA5 [24] (1. ábra) típusú nyomásmérőt használtam, amelynek mérési tartománya 600 Pa-ig terjed. A szenzor működése alapján a légköri aktuális nyomásához képest tudjuk vizsgálni a gőztér többletnyomását. A szenzornak analóg kimenete van, adatlatban megadott képlet alapján lehet a nyomásmérő paramétereiből, a tápfeszültségből, illetve az analóg kimeneten mért feszültségből, a mért nyomásértéket kiszámolni. Bár a tartomány tág a vizsgált értékekhez képest, ez így is a legfinomabb felbontású kereskedelemben kapható alkatrész, ezen a szűk többletnyomás-tartományon.

Analóg-digitális konverterként az ADS1110A0IDBVT [25] típust használtam, amelynek 12-től 16 bitig tartó felbontása van, attól függően milyen sebességgel szeretnénk az olvasását végezni. Az analóg érték I2C kommunikációs protokollon keresztül kapható meg. Az adatlap leírása alapján a kapott kódszóból, könnyedén visszaszámolható a mért feszültség érték. Így blokkvázlat szinten ez összekapcsolódik a nyomásmérő szenzorral, együtt alkotnak egy egységet.



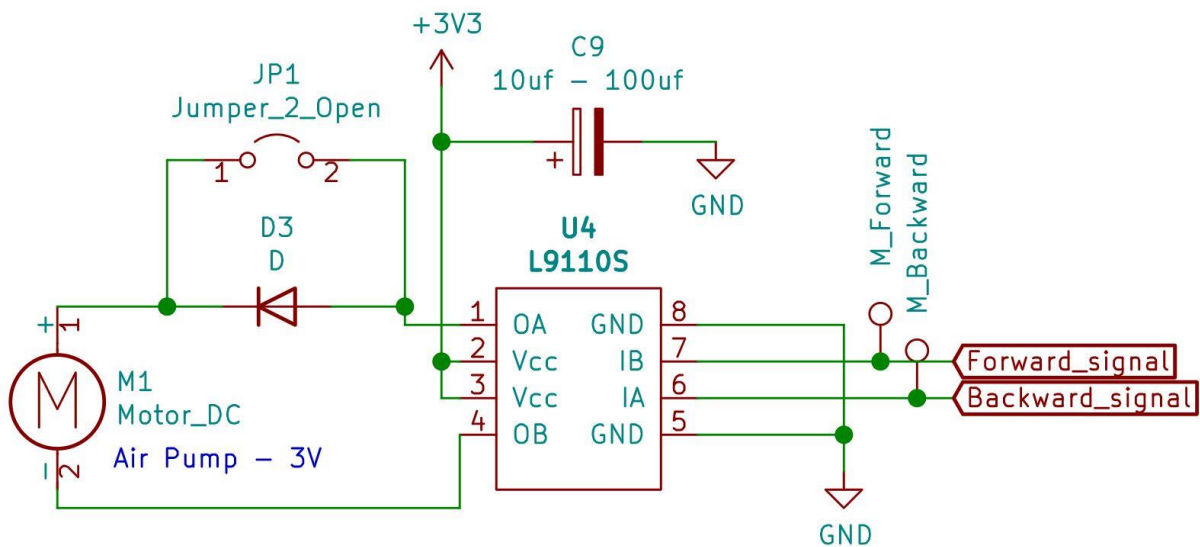
1. ábra: Nyomásmérő szenzor és ADC - kapcsolási rajz

A hőmérséklet méréshez (2. ábra) egy K típusú hőelemet választottam. A hőelemeknél a hideg és a melegpont közötti hőmérsékletet tudjuk megmérni, tehát ahhoz, hogy megtudjuk az abszolút hőmérsékletet, szükségünk van a hidegpont hőmérsékletére. A hőelem feszültsége függ a hőmérsékletkülönbségtől kb.  $41 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$  függvényben. Ahhoz, hogy ezt könnyen mérhető legyen szükségünk van egy erősítőre. A praktikum jegyében mindezeket a funkciók megvalósítására a MAX6675ISA+T [26] típusú cél IC-t használtam, ebben a hidegponti kompenzáció és az erősítés is megvan, ezen felül az analóg digitális átalakítást is elvégzi, innentől pedig SPI kommunikációs protokollon keresztül az abszolút hőmérsékletet kaphatjuk meg.



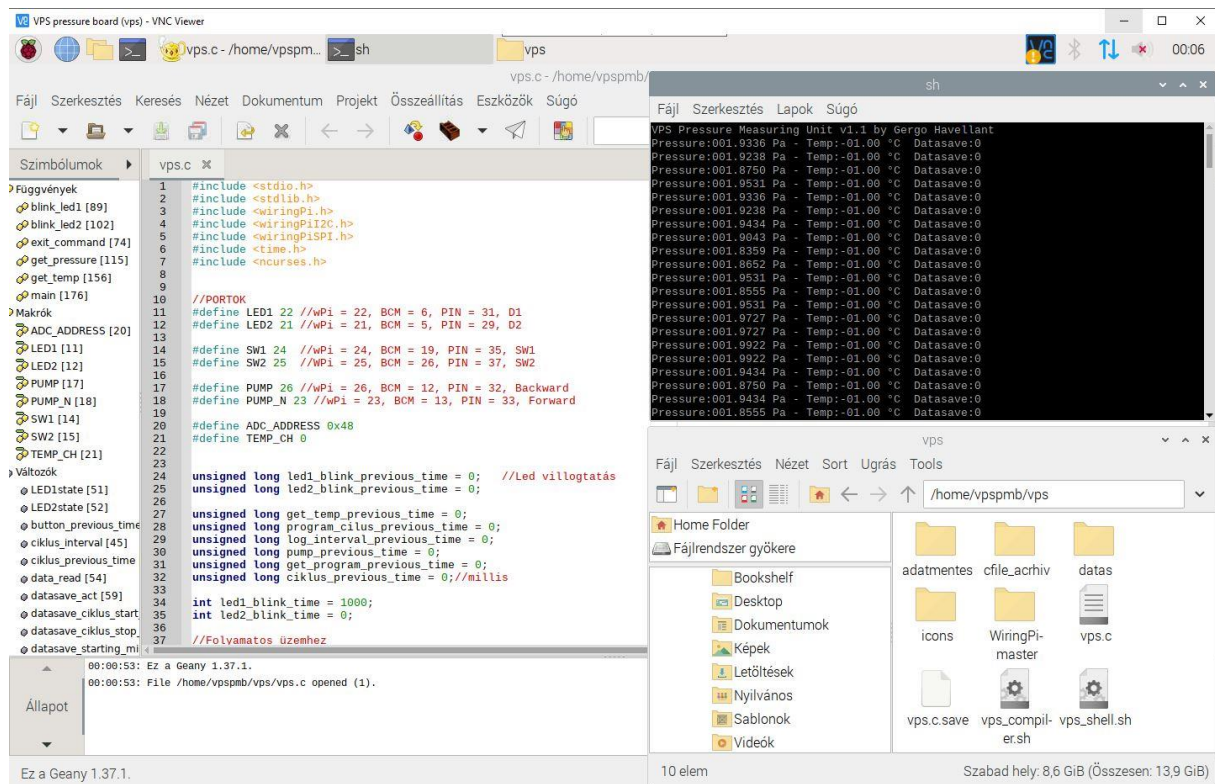
2. ábra: Hőelem erősítő áramköre - kapcsolási rajz

A levegőpumpa (JQB1015010) vezérléséhez (3. ábra) is cél IC-t alkalmaztam. A vezérlő/mikrokontroller kimenetei nem képesek közvetlenül meghajtani a motort, annak nagy áramfelvétele miatt. Az L9110S [27] típusú IC képes a vezérlőjelek függvényében megfelelően kivezérelni a levegőpumpát.



3. ábra: Levegőpumpa és vezérlése - kapcsolási rajz

Az egészet egy Raspberry Pi 3 Model B [28] típusú kártyaszámítógép fogja össze (5. ábra). Az előbb felsorolt komponensek egy shield illesztőkártya formájában kerültek megtervezésre. A PI operációs rendszere SD-kártyáról fut, így célszerűen oda kerülnek mentésre a mintavételezett adatok. A működtetéshez nem szükségesek periféria eszközök (monitor, billentyűzet). Az rPI beállításai alapján „access point”-ként működik, arra Wi-Fi-n keresztül rá lehet csatlakozni, és VNC nézegető [29] alkalmazással (4. ábra), laptopon vagy akár telefonon keresztül is elérhető a felület.

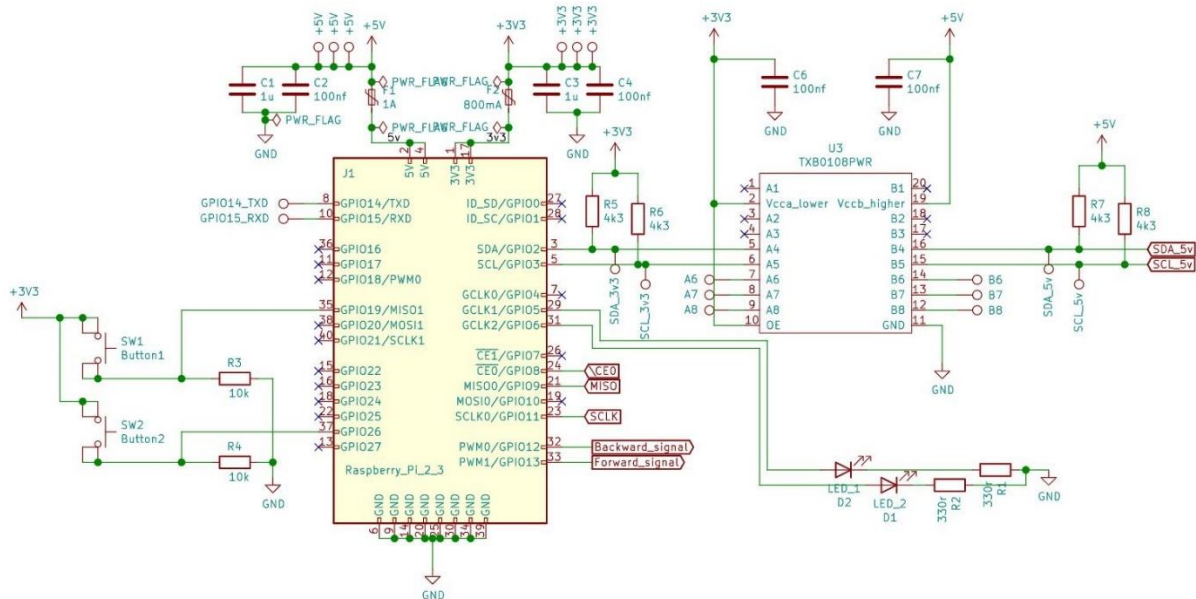


4. ábra: VNC nézegető használat közben

A tervezéskor nem volt egyértelmű milyen ember-gép kapcsolat (Human Machine Interface - HMI) kialakítására van szükség hardveresen a VNC kapcsolat mellé, ezért kettő gomb és kettő visszajelző LED került tervezésre.

A Raspberry Pi logikai szintje 3,3 V-os, viszont a nyomásmérő és a hozzátartozó ADC 5 V-os szinten dolgozik. Ehhez szintillesztésre van szükség. A tervezés során kiválasztott IC viszont nem volt megfelelő a feladatra, ezért ez később módosításra került egy tranzisztoros szintillesztő kapcsolásra.





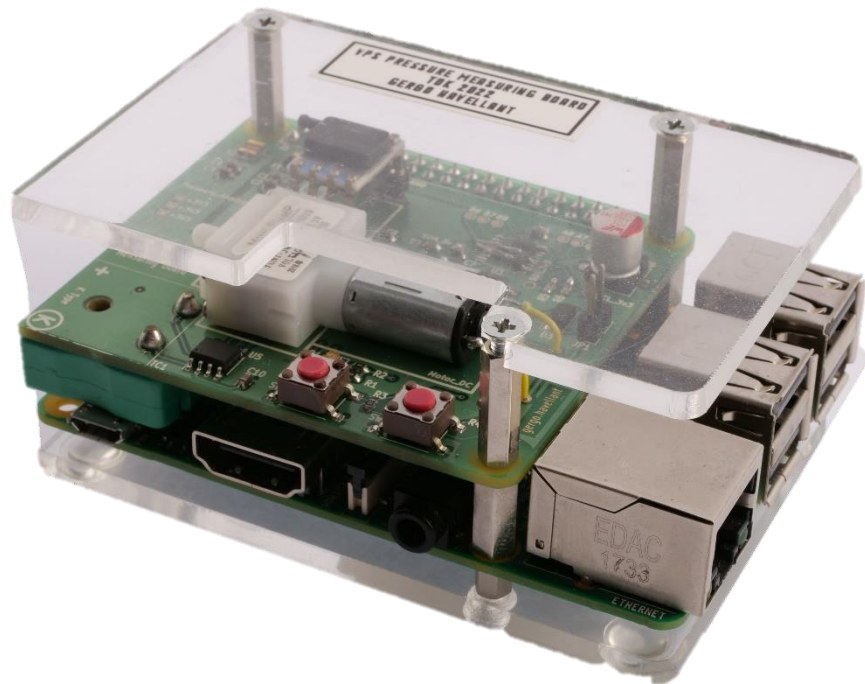
5. ábra: RPi vezérlő – kapcsolási rajz

A jobb esztétikai megjelenés és a mechanikai védelem érdekében készítettem hozzá lézerral vágott plexiből egy alj és fedőlapot, illetve hőnyomtató címkével elláttam a VNC kapcsolathoz szükséges adatokkal, illetve QR kód formájában a Wi-Fi - hez való csatlakozás gyors lehetőségével (6. ábra).



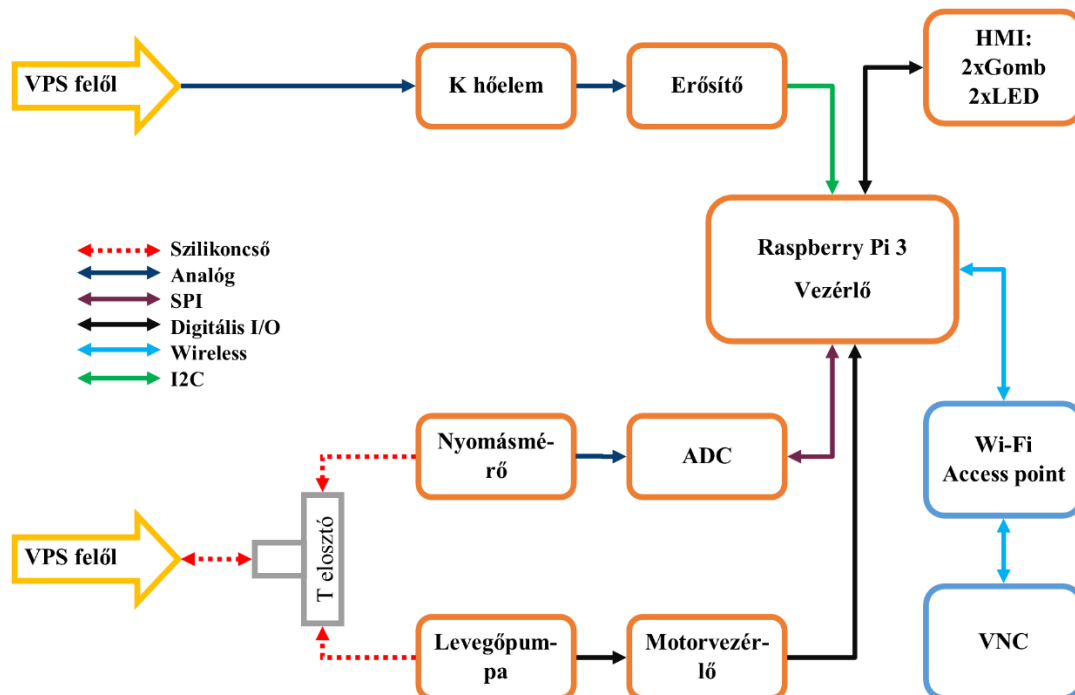
6. ábra: Gyors Wi-Fi kapcsolat QR kód

Az elkészült mérőberendezés a 7. ábrán látható. Ezen eszköz segítségével könnyedén lehet a kétféle berendezés között átköltöztetni a mérést. Az rPi konfigurálása és a szoftver gerincének elkészítése után csakis a mérési eredményekre lehetett koncentrálni.



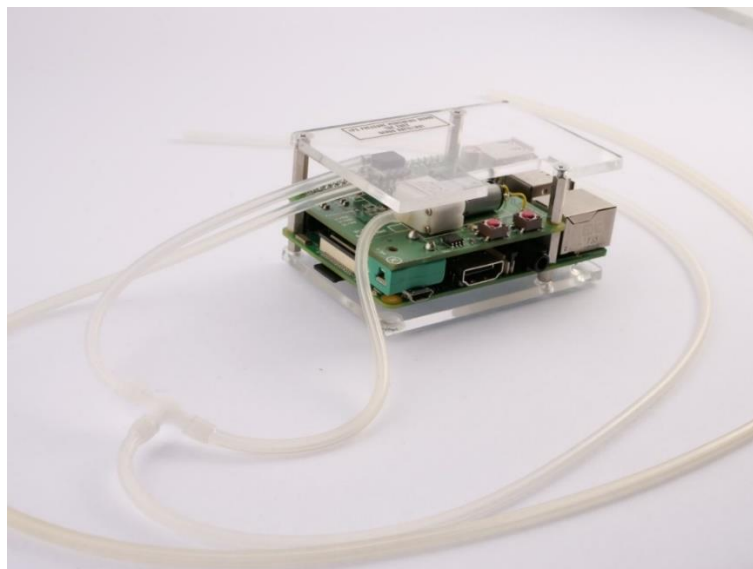
*7. ábra: Az elkészült mérőeszköz*

### 3.1.3 Blokkvázlat



8. ábra: A rendszer blokkdiagramja

A 8. ábrán látható blokkdiagram alapján áll tehát össze a mérőeszköz. A mérőpanelen található nyomásmérő és levegőpumpa szilikoncsőve ( $D=3\text{mm}$ ,  $d=1,5\text{mm}$ ), azaz a szondacső egy T elosztóban találkozik, ahonnan megy tovább a VPS berendezés felé. Ez látható a 9. ábrán. A cső illesztését a göztérbe a később bemutatott módokon végeztem.



9. ábra: A csövekkel felszerelt mérőeszköz

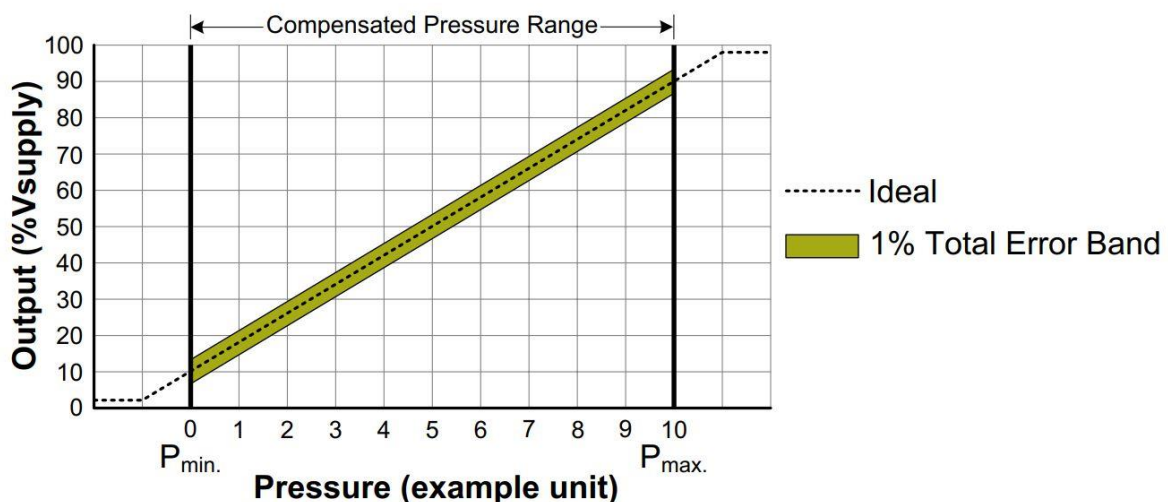
### 3.1.4 Szoftver

Az Raspberry Pi vezérléséhez a C programozási nyelvet választottam, mivel ebben van személyes tapasztaltom, így inkább a feladat céljaira tudtam összpontosítani, új nyelv tanulása helyett. A Rasbian operációs rendszer alatt a WiringPi [30] nevű könyvtárat használtam, hogy a programon belül elérhetővé váljanak a GPIO portok.

A hőmérőhöz SPI kommunikációs kapcsolatot kell használni, pontosabban az IC egy SPI kompatibilis kapcsolattal elérhető, amely csakis olvasható, nem írható. Az eredmény egy 16 bites számként érkezik, amelyben megtalálható a hőmérő csatlakoztatásáról való állapotinformáció, illetve az abszolút hőmérséklet érték.

Az analóg digitális átalakító I2C kommunikációt használva csatlakozik, itt már van írható regisztere, amellyel az mintavételezés konfigurálható. Az ADC rendelkezik beépített erősítéssel, ezt nem használtam a mérés során, a felbontást pedig 16 bitre állítottam.

A nyomásmérő szenzor adatlapjában megtalálható a képlet (10. ábra), amely alapján a nyomásmérő pontos típusából, a tápfeszültség és az ADC által mért feszültség értékből kiszámolható a mért differenciális nyomásérték. A tápfeszültség értékét 4.8V-ban rögzítettem, mérés alapján jellemzően ez a feszültség van jelen az 5 V-os táphálózaton.



10. ábra: Nyomásmérő szenzor kimeneti jellege [24]

$$\text{Output (V)} = \frac{0.8 \times V_{\text{supply}}}{P_{\text{max.}} - P_{\text{min.}}} \times (\text{Pressure}_{\text{applied}} - P_{\text{min.}}) + 0.10 \times V_{\text{supply}}$$

ahol az Output (V) a kimeneti feszültség [V], Vsupply a tápfeszültség [V], Pmax és Pmin a nyomásmérő határai [Pa] (jelen esetben 0 és 600Pa), Pressure\_applied a bemenő nyomás [P].

A motorvezérlő a két bemenő vezérlő jelből az egyiket végig rögzített állapot mellett, a másik lábbal tudjuk irányítani. Ehhez elegendő egy egyszerű I/O port, vagy esetleg PWM vezérlésre is képes kimenet.

A kommunikációk megvalósításához nem használtam előre megírt könyvtárakat, azok működését az adatlapokban leírt regiszter szintű felépítéséből készítettem el.

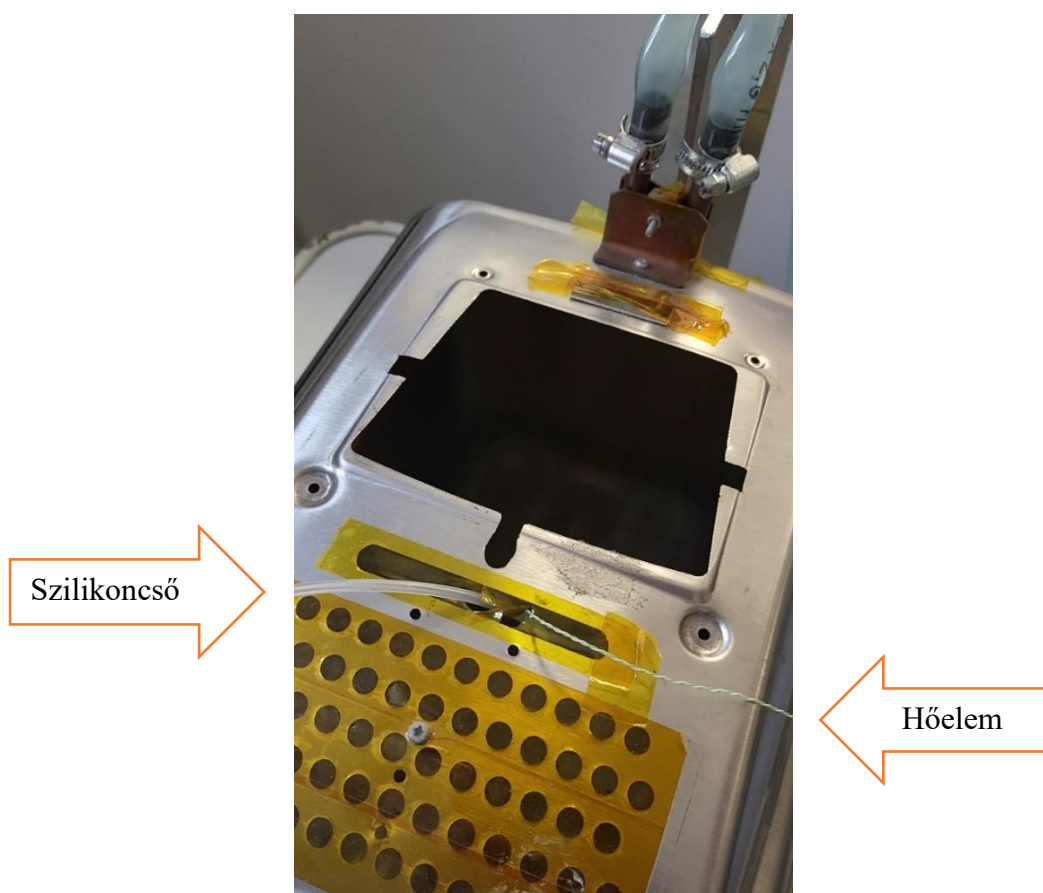
A human machine interface kialakítása során törekedtem az egyszerűsége. Alapállapotban az egyik LED 1 Hz-es frekvenciával villog. Az egyik gomb megnyomására elindul az adatmentés, újbóli megnyomására pedig leáll, és kiírásra kerül egy txt fájlba. Az adatmentés aktív állapotát az eddig 1 Hz-el villogó LED 5 Hz-es való átváltásával jelzi a rendszer. A második gomb megnyomására függetlenül a pumpa működésétől egy 200 ms-ig tartó impulzus adható a motornak.

A szoftver időzítéseit első körben delay() függvényekkel oldottam meg, de ennek használata elviekben sem a legideálisabbak, mert befagyasztja a program folyamatos működését, illetve a későbbi szoftverfejlesztések során elengedhetetlenné vált a pontos időalapú vezérlés, amely során az elérhető millis() függvényt használtam, amely az indulástól számított időt adja meg milliszekundumban. Ezen vezérlés alapja hogy az adott esemény lefutásakor az aktuális millis() értéket elmentem, majd be pedig ehhez képest a kívánt idővel eltolva indul újra az esemény, amikor is újra elmentésre kerül az aktuális időpont.

## 3.2 Fritőzben kialakított VPS

Az tanszéken található az a fritőzből kialakított VPS berendezés, amelyen elvégeztem a mérési validációkat. Ezen berendezés áll egy változtatható transzformátorból, amellyel a fűtőteljesítményt lehet szabályozni, illetve egy hűtőkörből, amely meggátolja, hogy a forrásban lévő Galden folyadék gőze elhagyja az edényt. Ezen kialakítás miatt kialakul egy egyensúlyi állapot, és ennek következtében a fritőz belsejében állandó gőztér van jelen. Ez alkalmas arra, hogy a mérőrendszer kalibrálását elvégezzem, és a már működő mérést a változó gőzterű ipari VPS gépben is alkalmazzam.

A fritőz igen moduláris felépítéséből adódóan egyszerűen felülről telepíthető a nyomásmérő szilikoncső, illetve a hőmérő is beengedhető (11. ábra).



11. ábra: Kísérleti VPS-ben telepített nyomás- és hőmérő

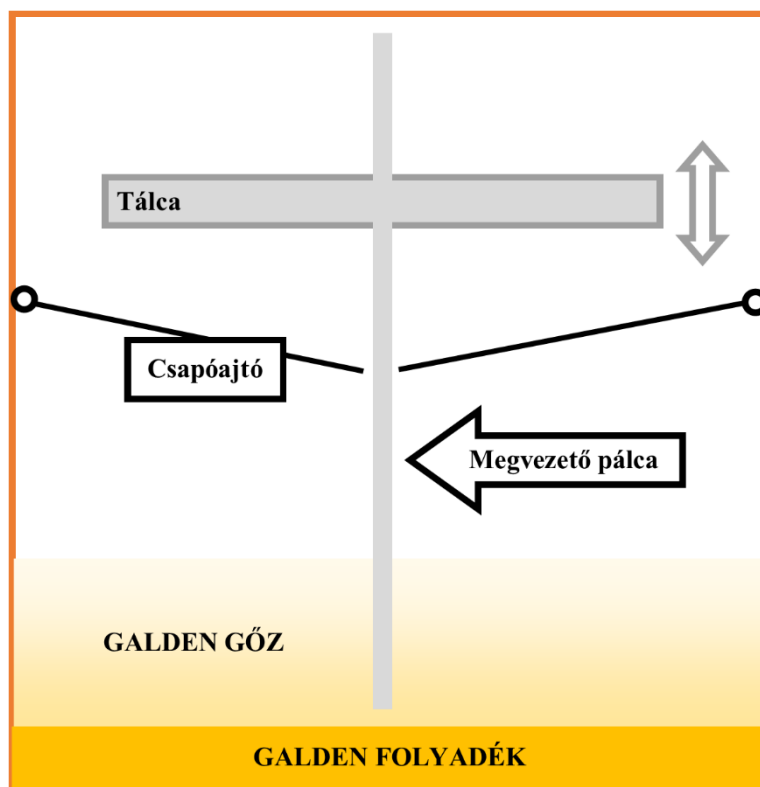
### 3.3 ASSCON VP800 mérési nehézségek, átépítés



*12. ábra: ASSCON VP800*

Az ipari gőzfázisú berendezésekben egy lift mozgat egy tálcát a gép teteje és a gőztér között. A Galden folyadék igen magas ára miatt a gyártók törekednek minél inkább visszaszorítani a veszteségeket. A fogyás legnagyobb oka a berendezés ajtajain kiáramló gőz.

A tanszéken található ASSCON VP800-as gőzfázisú forrasztó berendezés (12. ábra – 13. ábra) ezért két egymásban lévő tankkal van ellátva. A külső tank rozsdamentes lemezből készült, ajtajai gumi tömítéssel ellátottak. Ezen tartályon belül mozog a lift. Belül egy csapóajtó található, amikor a tálca a forrasztási ciklus végén feljön, magával húzva a Galdengőzt, a tálca alatt a csapóajtó becsukódik, és egy lecsapató rendszer próbál minden lehetséges Galdent visszajuttatni a tartály aljában.



*13. ábra: VP800-as belső felépítése*

Ha a mérőberendezést tenném a tartályba akkor a tápfeszültséget kell átjuttatnom az edény falán, illetve számolni kell, hogy folyamatos forrasztás során a gép felső része is jelentős mértékben átmelegszik. Így célszerűbb a mérőeszközt kívül elhelyezni, és egy csövet végig vezetni a tartályban.

Láthatjuk, ahhoz hogy elérjük a tartály alját, két ajtón is keresztül kell jutnunk. Nem járható út az ajtó peremén keresztül vezetett cső, mivel a szigetelés elzárna a cső keresztmetszetét.

Ez a berendezés rendelkezik egy vákuumos egységgel is, amely a forrasztási ciklus végén elszívja a levegőt harang alól, ezzel segítve, hogy minél kevesebb void alakuljon ki a forrasztott kötésekben. Ezt a harangot pneumatika mozgatja a tálca felett fel és le. A méréseim során nincs szükség ezen vákuumos egységre, így ezt kiszereztem a gépből és a munkahengerekhez vezető pneumatikus csöveket tudtam a saját nyomásmérő szenzoromhoz használni (14. ábra).





*14. ábra: VP800 nyomás kivezetése a fehér cső használatával*

Innentől a csapóajtón kell átjutni ahhoz, hogy a tartály alját elérjük. Alap gondolat, hogy a szilikon cső a tálcával együtt utazzon le (a csapóajtó a forrasztás alatt nyitva van, a liftet engedő huzalok miatt nem is tud visszacsukódni). Ennek a legnagyobb problémája, hogy a lift felfele mozgásakor a forrasz még folyékony állapotban van, és a felcsavarodó cső képes lenne a panelen lévő alkatrészek elmozdítása. Másodlagos, de igen fontos szempont, hogy így nem tudnánk a felfűtés nyomásviszonyait dokumentálni, illetve az eredmények függvényében ezen dokumentum írásakor már ismert, de a tervezéskor még nem várt eredményeket sem tudtam volna rögzíteni, ha a nyomásmérés a forrasztási ciklusok között nem elérhető.

A tálcát négy sarkán rögzített huzal két tengelyről engedi le. A maximális helykihasználás miatt, és ezzel a forraszható maximális panelméretre is törekedve a gépet úgy alakították ki, hogy a tálca nem sokkal kisebb, mint a belső tartály mérete. A négy huzal alapból nem ad semmilyen irányt a mozgásnak ezért a tálca kileng és esetlegesen a falnak csapódik. Ez üzemszerűen nem megfelelő állapot, az olvadt állapotban lévő forrasz igen érzékeny bármilyen mechanikai behatásra. Ezért a gépben található egy pálca, amelyen egy gyűrűn keresztül közlekedik a tálca, megvezetve azt. Ez a pálca a tálca középvonalán helyezkedik el, a csapóajtón mindkét felén felkör alakú kivágás található, hogy az ajtó záródást a pálca ne akadályozza. Az előbb részletezett okokból látható, hogy a pálca elengedhetetlen a helyes működéshez, viszont az nem befolyásolja a funkcióját, hogy az tömött rúd vagy éppen egy cső. A gép eredetileg egy

6mm-es rúddal van szerelve, ezt szereltem ki belőle, és helyettesítettem egy ugyan csak 6 mm-es de ezúttal cső pálcával. Csupán egy menetvágásra volt szükségem, amely a felső rögzítésért felel.

Tehát a pálcán keresztül, illetve a pneumatikus csövön keresztül képes voltam a hidrosztatikai többletnyomást végig vezetve a gépen, eljuttatni a saját mérőberendezésemhez. Ezt az állapotot láthatjuk a 15. ábrán.



*15. ábra: A pálcán keresztül kivezetett nyomás csöve*

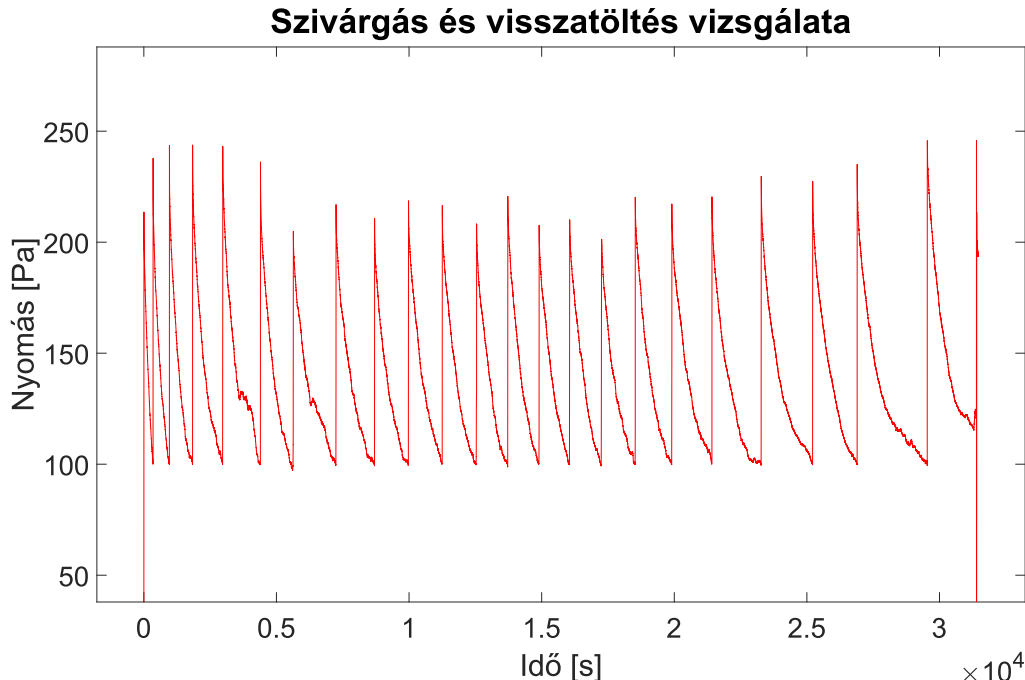
Szerettem volna tartály aljára egy hőmérőt is elhelyezni, bár a mérések alatt kiderült, hogy a hőmérő rossz elhelyezése, mennyire hibás eredményeket képes szolgáltatni. Ehhez ugyan úgy a már kialakított csőhálózatot használtam. A gépen kívül készítettem egy T elosztót, amely egyik ágában a hőelem vezetékét ragasztottam hermetikusan lezárva, másik kivezetésén a hőelem a cső belsejében halad a gép alja felé, a harmadik kivezetésén pedig a nyomásmérő felé.

### 3.4 Mérési módszer

A mérés alapja a hidrosztatikai nyomás mérése. Abban az esetben, ha egyik oldalán lezárt csövet folyadékba, vagy jelen esetben gőzbe merítünk, akkor a csőbe benyomuló anyag többletnyomást eredményez. Ez a többletnyomás arányos a közeg magasságával. Ehhez a méréshez az előbbieken ismertetett módon a nyomásmérő cső beszerelhető a gépekbe.

Ahhoz, hogy kompenzáljuk a szivárgást a rendszerbe egy levegőpumpát kapcsolunk egy T elosztó segítségével. A pumpa megfelelő vezérlésével átbuborékolható a csőhálózat, ezzel elérjük azt az állapotot mintha most merítettük volna bele a csövet, tehát pontos értéket mérhetünk.

Az első próbálkozás arra irányult, hogy definiálni tudjam a szivárgás mértékét. Ehhez a cső végét vízbe merítettem és egy olyan automatikus tesztet végeztem el, amely során a vezérlés, ha egy bizonyos eredmény alá esett a nyomás akkor bekapcsolta a pumpát, átbuborékolta a csövet és újra várt az alacsony nyomáspontig. Ezt egy éjszakán keresztül futtattam.



*16. ábra: Szivárgás és visszatöltés hosszú időtartamú vizsgálata*

Az eredményekből látszik (16. ábra), hogy nem definiálható a szivárgás pontos számmal. Feltételezhető, hogy a pumpában lévő lapát különböző pozícióban való megállása más-más

szivárgási sebességet okoz, az alapból is szivárgó illesztések és csőhálózat mellett. Ezen felül látszik, hogy a visszapumpálás sem egységes idejű, más-más ideig tart a pumpának „rákapni” a levegőre és felpumpálni a csövet.

Az eredmények függvényében elvettem az eredeti ötletet, miszerint egy szabályzó segítségével, teljesítményszabályozott módon, a szivárgást úgy kompenzáljam, hogy csak szükséges mennyiséget pótolja vissza a pumpa.

Ezek után két feltételt állítottam a fel. Első körben belátható, hogy nem lehet túlpumpálni a rendszert. Mivel a csőhálózat alsó vége nyitott, amikor az összes Galdengőz eltávozott a csőből, már tovább nem növelhető a pumpával a nyomás, a felesleg kibugyog a cső végén.

Továbbá az is belátható hogyha nem jár elegendő ideig a pumpa akkor valamennyivel ugyan növelhető a nyomás, de nem a tényleges Galdengőz nyomást fogjuk mérni.

Mindezekhez hozzájön a ciklusidő, hogy milyen időközönként kapcsoljuk be a pumpát. Látható, hogy ha ritkábban járattuk a motort akkor egy-egy pumpálásnak tovább kell tartania, hogy ugyan azt a mennyiséget átnyomja. Sűrűbb bekapcsolásnál, viszont elegendő rövidebb pumpaidő.

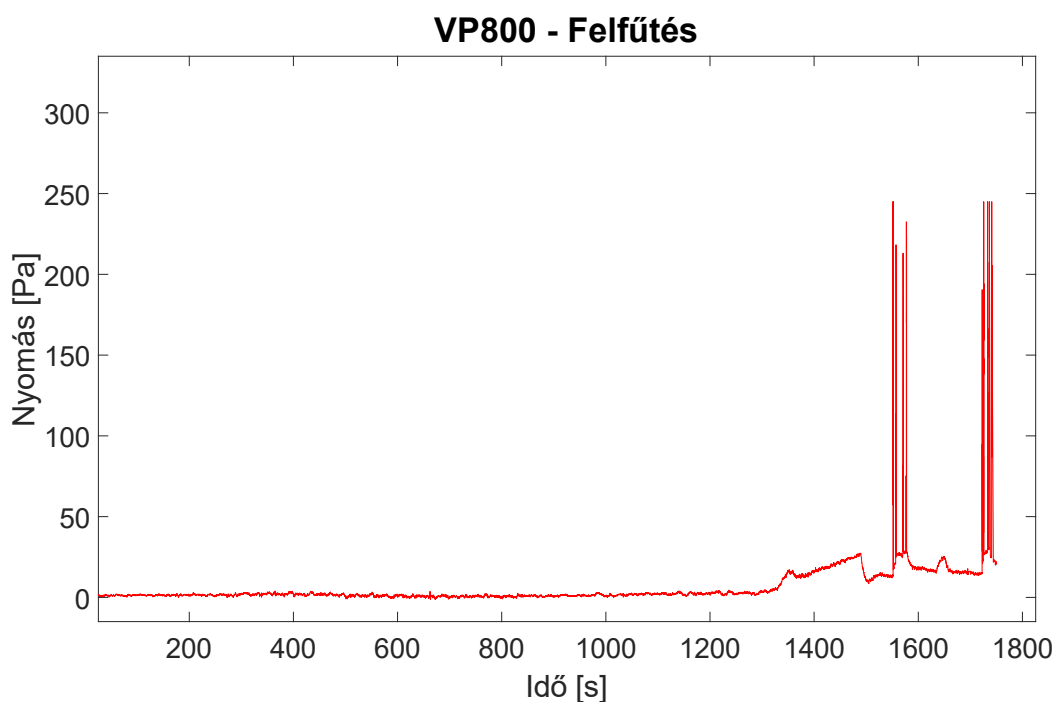
Összességében tehát elmondható, hogy két megfelelő olyan időtartamot kell megtalálni (pumpaidő és a pumpálások közötti időtartam), amely elegendő ahhoz hogy a csőhálózat átbuborékolatása megtörténjen, de fölöslegesen ne pumpáljuk túl, ne juttassunk túl sok hideg levegőt a Galdengőz terébe.

## 4. Mérési eredmények

### 4.1 Kezdeti mérések

#### 4.1.1 ASSCON VP800 – első mérés

A legelső mérés, teszt jelleggel, az ipari VP800-as gépben történtek. A felfűtési szakasról a 17. ábrán látható diagram készült. Ezen látható, hogy a maximális nyomásérték után az elkezd csökkenni. A cápauszonyra hasonlító megugrásoktól most tekintsünk el, a későbbiekben azok okát is részletesen fogom ismertetni. Ezen mérés során a pumpa még nem volt működésben. A diagramm jobb oldalán látható, hogy azokban az esetekben amikor a pumpa a nyomógomb segítségével manuálisan működésbe lett hozva, a pumpa időtartamára a nyomás megugrik, tüske keletkezik, majd pedig beáll egy magasabb értékre. Tehát látható, hogy az átbuborékoltatás tényleg működik, helyes vezérléssel elérhető a szivárgás kompenzálása.

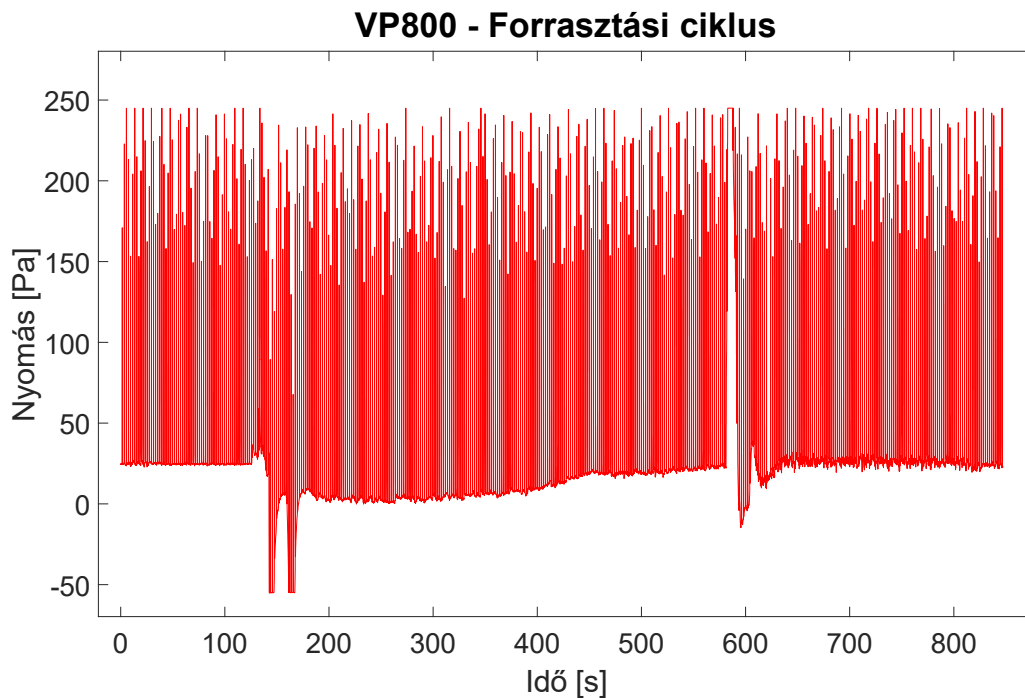


17. ábra: VP800 első felfűtése a nyomásmérővel

A következő diagrammon (18. ábra) látható egy forrasztási ciklus működése. Ebben a jelentkező negatív és pozitív tüskékről szintén az XX fejezetben fogok részletesebben értekezni.

Látható, hogy folyamatos mintavételezés esetén minden egyes pumpálás miatt megjelenő nyomástüskét is beleveszünk a mérési eredménybe.

(Folyamatos mintavételezés alatt azt a maximális frekvenciát értem, amivel a program végetlen while ciklus képes futni.)



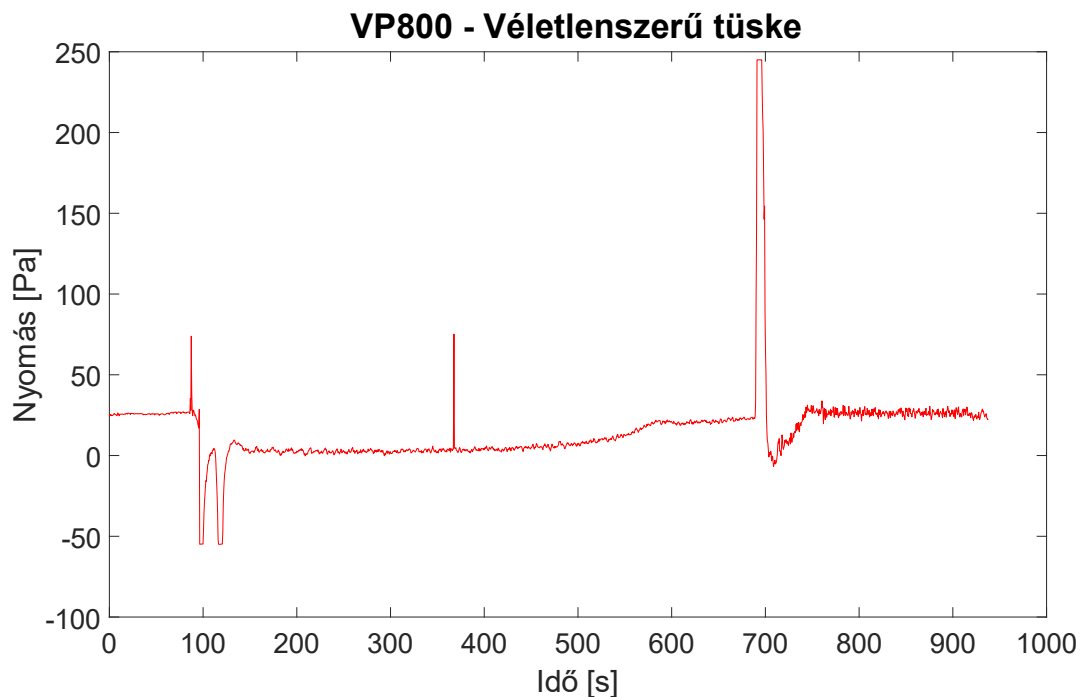
18. ábra: Első forrasztási ciklus nyomásmérővel és a működő aktuátorral

## 4.2 Időzített mintavételezés

### 4.2.1 Probléma felismerése

Az előző fejezetben látható diagrammon látszik (xx ábra), hogy ha folyamatosan történik a mintavételezés akkor minden nyomástüske megjelenik az eredményünkben. Ezek az ábrák nyilván szemrevételezésre alkalmasak, de ha matematikailag szeretnénk elemezni az eredményt például egy mozgóátlag alkalmazásával, akkor csak abban az esetben tudnánk ezt megtenni, hogyha előzetesen az adatsokaságot megsűrjük. Alapvető célkitűzés volt, hogy úgy készítsem el a nyomásmérő eszközt, hogy az akár a berendezés nyomásalapú vezérlésére is alkalmas legyen, tehát nem járható út az utólagos feldolgozás, olyan módszerre van szükségünk, amely során a kijövő adat már csak a számunkra fontos értékeket tartalmazza.

Ha csökkentjük a mintavételezés és a pumpaműködés frekvenciáját akkor a legtöbb esetben eltüntetjük a pumpa miatti nyomástüskét, de elképzelhető olyan eset amikor a pumpa működése és a mintavételezés ugyanabba az időpillanatba esik, ezért véletlenszerű módon megugrásokat tapasztalhatunk a mért eredménybe (19. ábra).



19. ábra: Véletlenszerű túskek a hibás mintavételezés miatt

## 4.2.2 Megoldás

Az ismertett probléma megoldására a következő megoldás született.

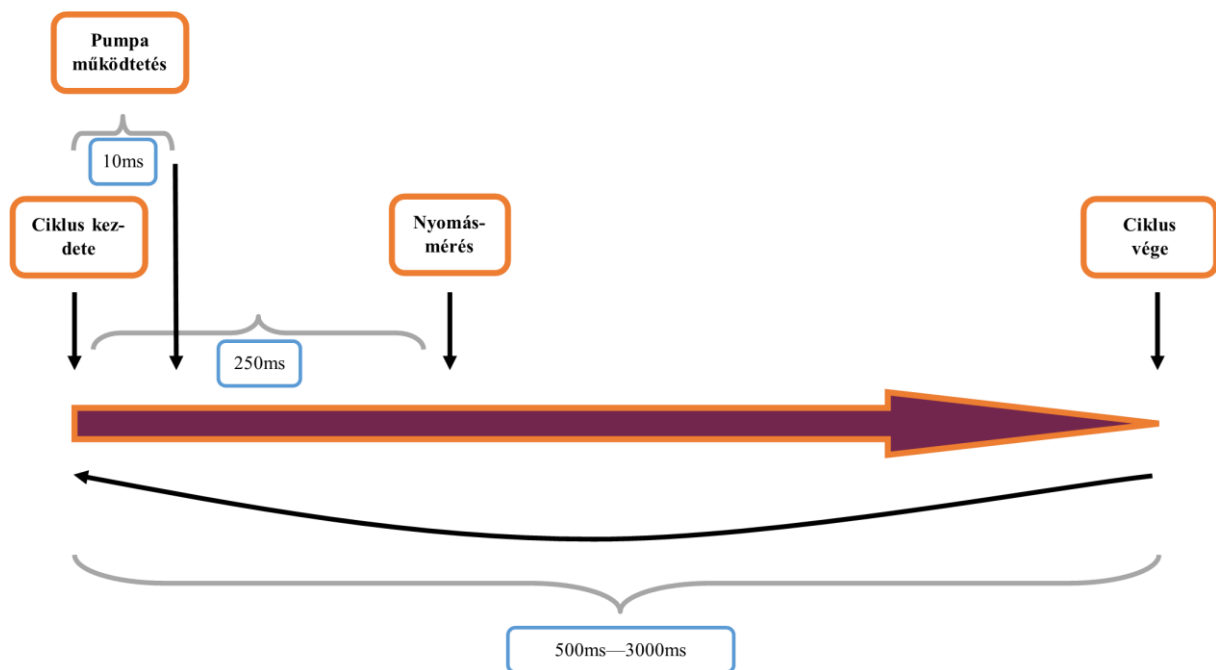
Abban az esetben, ha a mintavételezést és a pumpa működését nem függetlenül hagyjuk járni, hanem azok időzítéseit időben egymáshoz hangoljuk, akkor eliminálhatjuk a mért eredményekből a pumpálás miatti nyomásnövekményeket.

Ehhez egy időzített mintavételezést definiáltam, amely az itt ismertetésre kerülő módon valósul meg.

A folyamatos mintavételezés alapján született adathalmazt kielemeztem, és megvizsgáltam az összes túske időtartamait. Excel táblázat segítségével kiszűrtem minden olyan értéket amikor a mért érték 30 Pa felett volt. A VP800-as berendezésben az alapnyomás 25 Pa körül van, így az ennél nagyobb értékek biztosan a pumpa miatt jelentkeznek. *(Kivételt képez ez alól egy nagyobb túske, amely a forrasztási ciklus végén jelentkezik, de ezt az 5.2 fejezetben fogom részletesen elemezni, ennek a nagyobb túske értékét a jelen számolásnak nem képezi részét).* Tehát megvizsgáltam az összes túske kezdő és vég időpontját, amiből megakapható, hogy mennyi ideig tart egy-egy pumpálásnak a lecsengése. Ez átlagosan 110 ms időtartamra adódott, de elmondható, hogy maximálisan 250 ms-ig tart. Ezt az eredményt

10 ms-ig tartó pumpa működés mellett mértem. Hogy minden esetben elérjük a buborékoltatás végét, 250 ms az a minimális érték, amely esetében az adott feltétel teljesül. A mérések során használtam 250 ms és 300 ms-os intervallumot is, amely közt nincs érdemi különbség.

Tehát hogyha 0 ms-nál működésbe hozzuk a pumpát, és ehhez képest 300 ms-mal eltolva végzünk egy mintavételezést, akkor kiablakoltuk a pumpa miatt keletkezett nyomástüskét. Ezek után a ciklus kivárja a megadott időtartamot (500 ms és 3000 ms között próbálkoztam), majd pedig az időzített mintavételezés ciklusa újraindul (20. ábra).



20. ábra: Idődiagram az időzített mintavételezésről

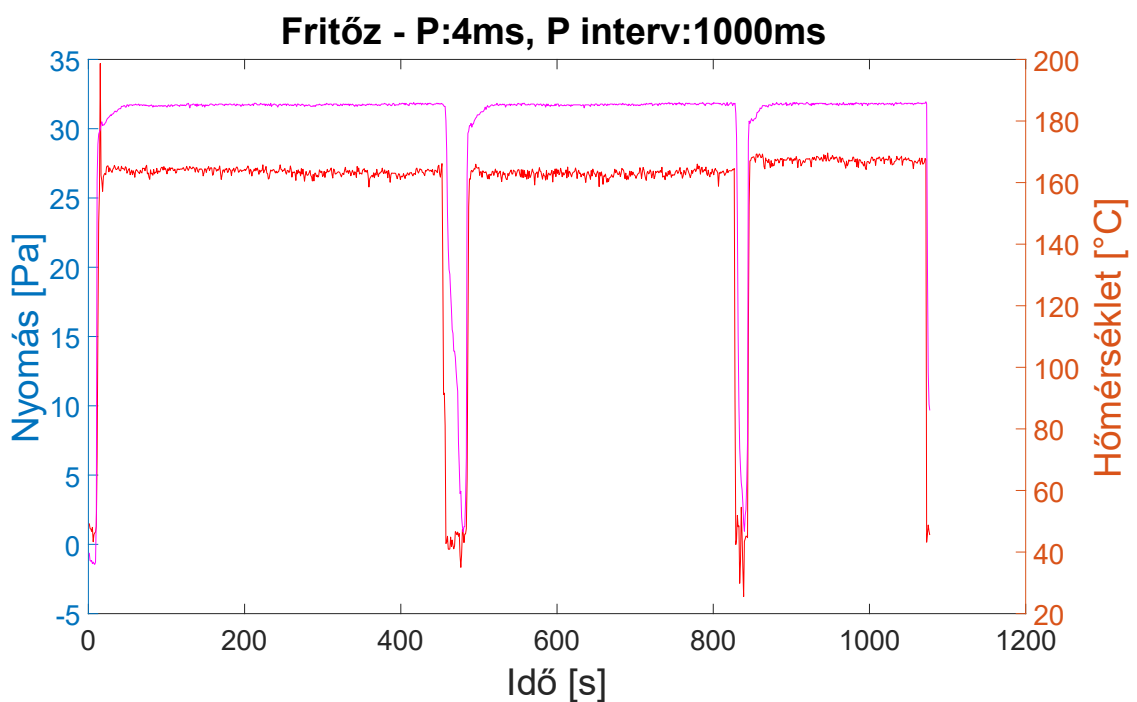
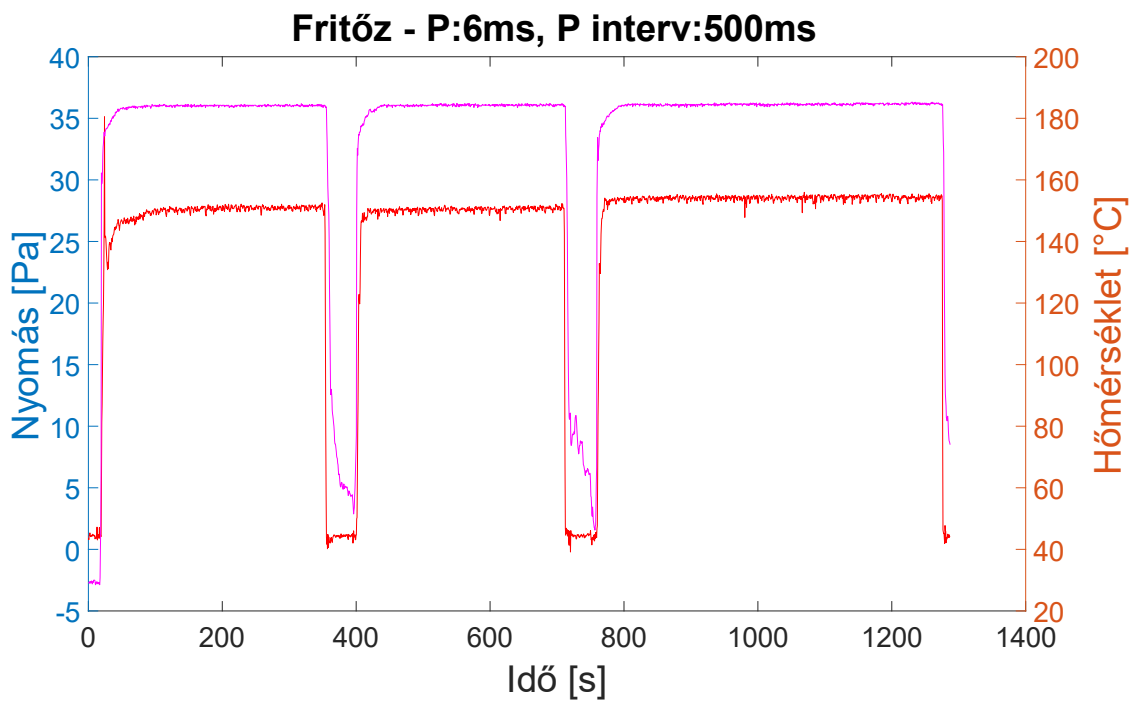
### 4.2.3 Validálás kontrollált környezetben

Annak érdekében, hogy a fentebb ismertett módszer működését igazoljam a kísérleti VPS berendezésben készítettem ellenőrző méréseket. Ennek célja, hogy megvizsgáljam, hogy mekkora az a minimális időtartam, ami alatt az átbuborékoltatás végbemegy, illetve, hogy az időzített mintavételezés eredménye tüskéktől mentes legyen.

A kísérlet során körülbelül 5 perces időtartamban járt a mérés, majd pedig a cső kiemelésre került, ezzel úgymond resetelhető a rendszer mivel az újra bemerítéskor újra a maximális mérhető hidrosztatikai nyomásérték jelentkezik. A mérés helyes működésére lehet következtetni abból, hogy a mérés során a nyomás értéke a zajt leszámítva vízszintesnek



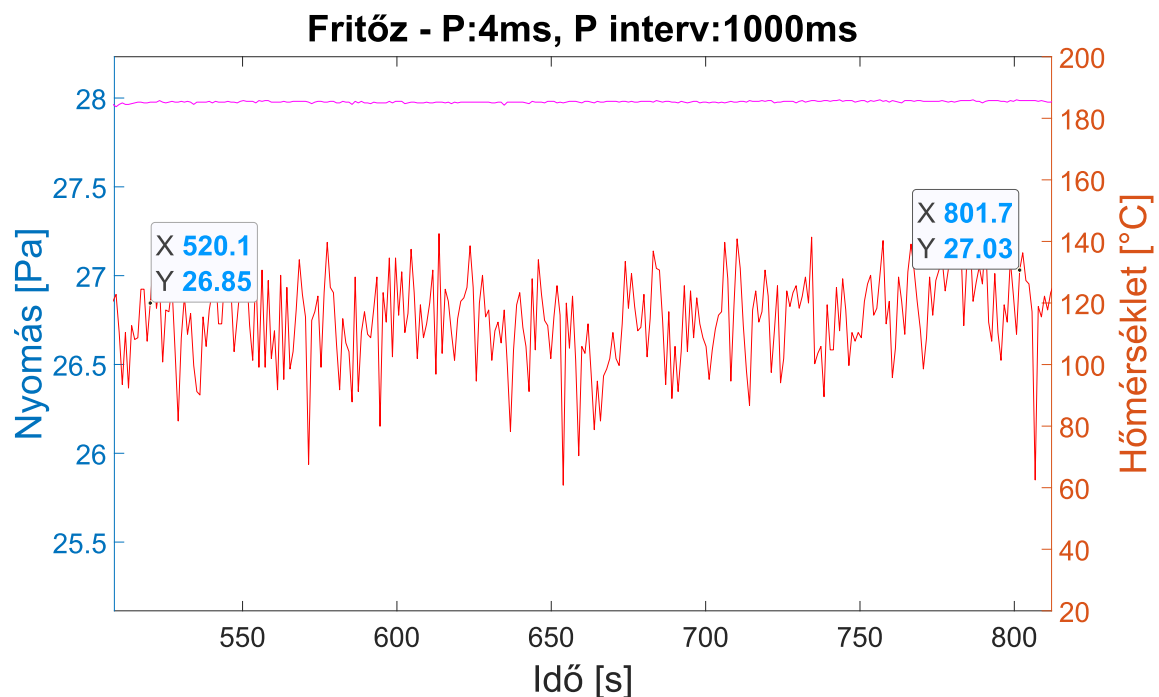
tekinthető, illetve a ki és újra merítés során ugyanarra az értékre áll be a nyomásérték, ahol a kihúzás előtt volt.



21. ábra: Pumpaidők vizsgálata fritőzben

Látható, hogy 4 ms-os pumpa idő is elegendő ahhoz (21. ábra), hogy szinten tartsa a szivárgást. Ha választunk két tetszőleges pontot (22. ábra) szemmértékre középen az

adatsokaságból és megnézzük az eltérést ezen két érték között, láthatjuk hogy nincs szignifikáns csökkenés.

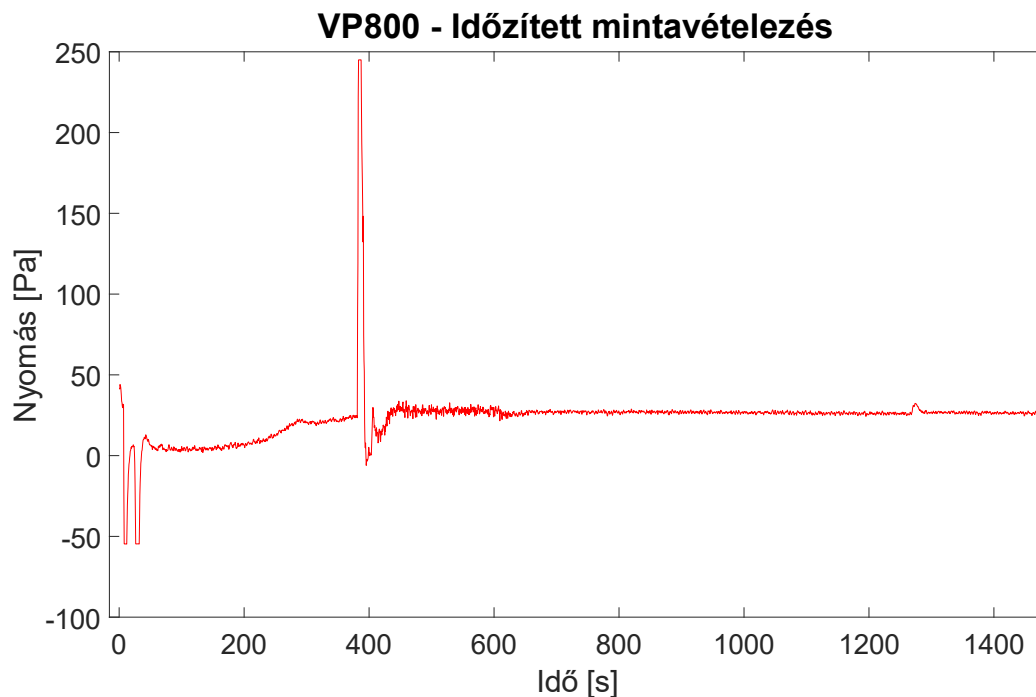


22. ábra: Egyenes szakasz csökkenésének vizsgálata

Ezzel szemben az is belátható, hogy nincs gyakorlati jelentősége annak, hogy 4 vagy 10 ms-os pumpaidővel dolgozunk mert legrosszabb esetben is egy 500 ms-os ciklusidővel és 10ms-os pumpaidővel számolva (tehát a ciklus 2%-ban jár a pumpa) a körülbelül 10 perces forrasztási ciklusban (VP800 esetén) is csak  $10 \cdot 120 \cdot 10 \text{ ms} = 12 \text{ s}$ -ig van működésben a pumpa, ami az adatlap alapján (0,5 l / perc) 0,1 liter bejuttatott hideg levegőnek felel meg. Ez az érték, figyelembe véve azt a tényt, hogy a VP800-as berendezés 15 kg Galden folyadékot tart forrásban, elenyészőnek tekinthető. Tehát ahelyett, hogy az alsó határok feszegetése mellett folytattam volna vizsgálatokat, egy standart 10 ms-os pumpaidővel járatam a pumpát az elkövetkező kísérletekben.

#### 4.2.4 ASSON VP800 eredményei

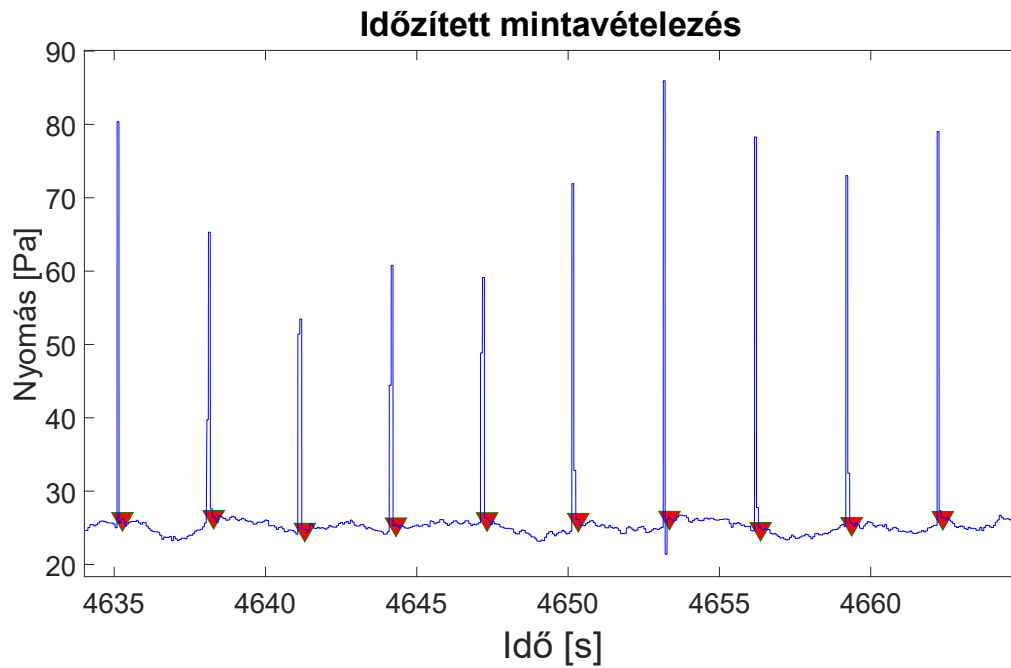
Miután igazoltam, hogy az időzített mintavételezés alkalmas arra, hogy méréseket végezzünk, a mérőberendezést a VP800-as gőzfázisú forrasztó berendezésben is elhelyeztem újra, hogy immáron tűskék nélkül láthassam az eredményeket (23. ábra).



23. ábra: Időzített mintavételezés a VP800-as berendezésben

#### 4.2.5 Időzített mintavételezés vs. folyamatos mintavételezés

Az időzített mintavételezés során tulajdonképpen becsapjuk saját magunkat, elrejtjük a mérési eredményből a számunkra nem lényeges információt. Szerettem volna látni, hogy az elrejtett nyomásértékek tényleg azok az értékek, amit szándékosan kívántam eltüntetni. Ezért a programot oly módon módosítottam, hogy az egyszerre két különálló fájlba mentse az adatokat. Az egyikbe az időzített mintavételezett adatokat írja, a másikba pedig folyamatosan a program ciklikus futásával megegyező számban történt az adatok kimentése.



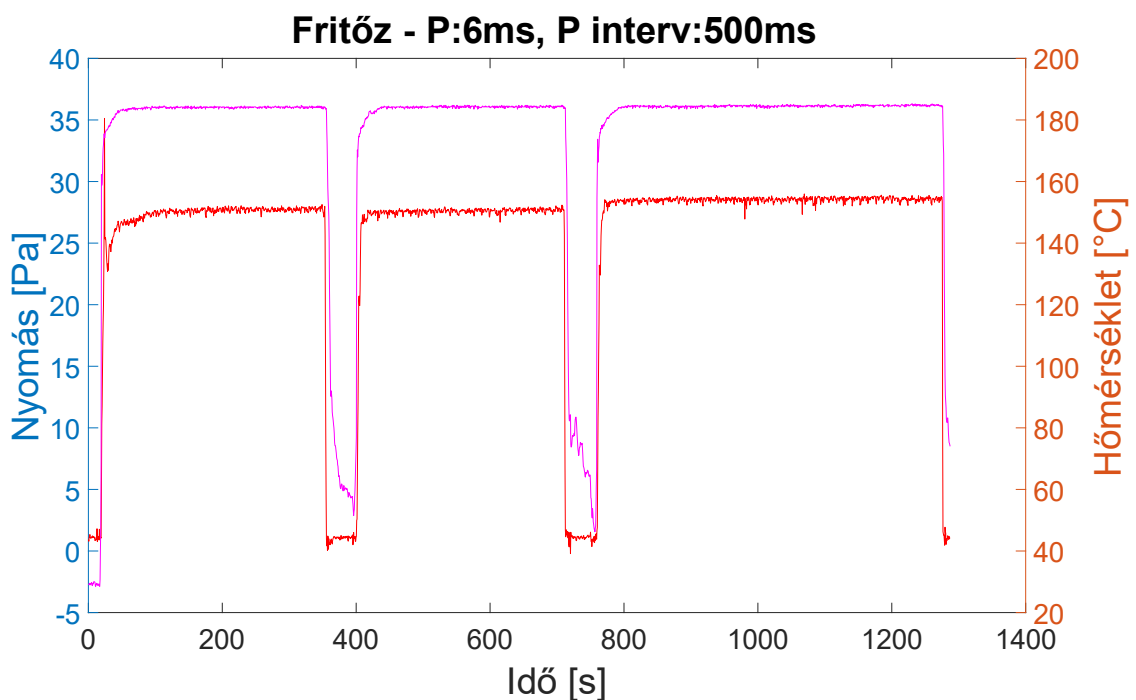
24. ábra: Időzített mintavételezés 3 sec

Az 24. ábrán látható diagrammot kapjuk a módosított programmal a két fájlból, a kék vonal jelzi a folyamatos mintavételezést, a piros háromszögek pedig az időzített mintavételezéssel vett adatainkat. Egyrészt látható, hogy a minimum 250ms-os eltolás szükséges, ennél kisebb értéknél belemérvénk a pumpálás miatti tüskéket. Másrészt az is látható, hogy a 3 másodperces ciklusidőben nem jelentkezik szignifikáns csökkenés a nyomás értékében, belátható, hogy tehát nincs jelentősége, hogy 250 ms vagy 300 ms-re választjuk az eltolás értékét.

## 4.3 Hőmérsékletmérés

### 4.3.1 Hőmérő elhelyezése fritőzben

A mérőpanelhez tartozik egy K típusú hőelem bemenet is. A fritőzben a hőmérő elhelyezése nem ütközik problémába, azt a szilikon csővel összetekerve könnyedén a tartályba juttathatjuk. Ezzel azt érzük el, hogy a hőmérséklet mérése és a nyomásmérése ugyanazon a magassági pontokon történik (folyadék szintjéhez képest). Ha a korábban már látott (21. ábra) nyomásmérés eredményeit tovább elemzem a hőmérséklet eredményekkel (25. ábra) akkor látszik, hogy a hőmérő jele valóban egytárolós tag jelleget mutat.



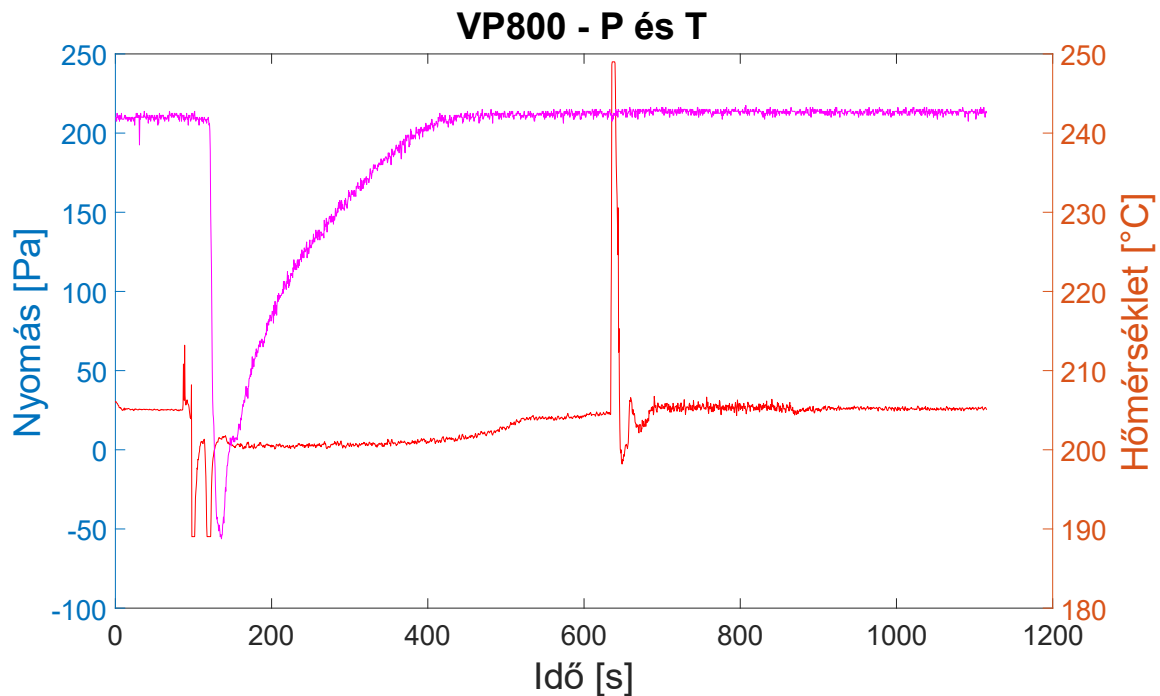
25. ábra: Fritőzben történt vizsgálatok - Hőmérséklet

Belátható, hogy a nyomásmérő eredménye sokkal rezponzívabb, a hőmérővel ellentétben a nyomás meredeken emelkedik fel, és rögtön egy pontban áll meg, nincs ellaposodó szakasz.

### 4.3.2 Hőmérő a VP800-ban

Az ipari berendezésben a hőmérő a nyomásmérő csövön keresztül került bevezetésre (xx fejezetben ismertetett módon), amelynek vége szintén a nyomásmérő cső végével egy szintben lett kialakítva.

### 4.3.3 Hőmérsékletmérés problémái



26. ábra: VP800 P és T viszonya

Az 26. ábrán látható, hogy a hőmérő jóval hamarabb éri el a 240 fokos hőmérsékletet, mint hogy a nyomásban jelentős növekedés látszódná. Oka, hogy a cső vége és ezzel a hőmérő is a panelszint alatt van. Ezért a gőz a panelszintig könnyedén vissza tud épülni és ez látható a hőmérsékletben is.

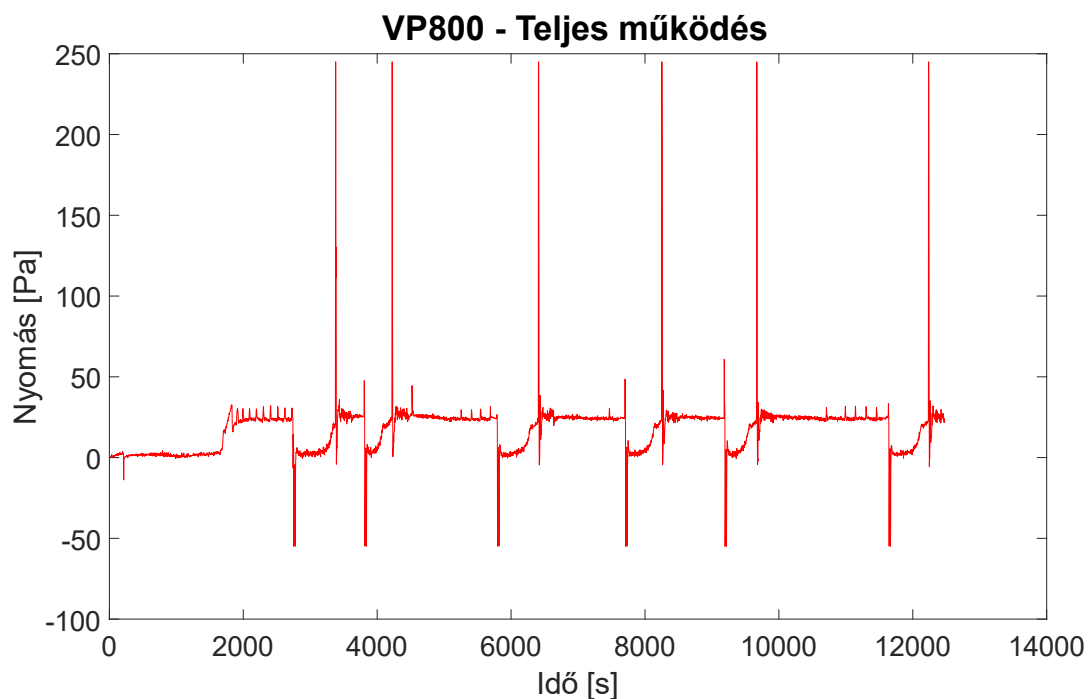
Ebből is látszik, hogy a hőmérő hibás elhelyezése mennyire képes befolyásolni az eredményt. Ezért a mai VPS berendezések hőmérséklet szenzorja jóval a panelszint felett található, ebből garantálható az, hogy mikorra a gőz eléri ezt a szintet addig alatta a panel szintjén végbement a forraszpaszta megömlése.

Fontos ezen a ponton kiemelni, hogy a nyomásmérő cső elhelyezése nem ennyire érzékeny a pozíciójára. A nyomásmérő mindig a cső alja és az azon feletti rész többletnyomását képes megmérni, tehát ha közvetlenül a folyadék felszíne fölé helyezzük, akkor is értelmes eredményt kapunk, de ha feljebb helyezzük el akkor is. Szemben a hőmérséklettel, amellyel nem lehet a gőztér magasságára következtetni, csupán azt tudjuk vele meghatározni, hogy az adott ponton van e gőztér vagy sincs. De ennek meghatározása is jelentősen függ az alkalmazott hőmérő szenzortól, mivel nagyobb tömeg esetén több időre van szüksége az átmelegedéshez.

## 5. VP800-ban tapasztalt nyomásváltozások

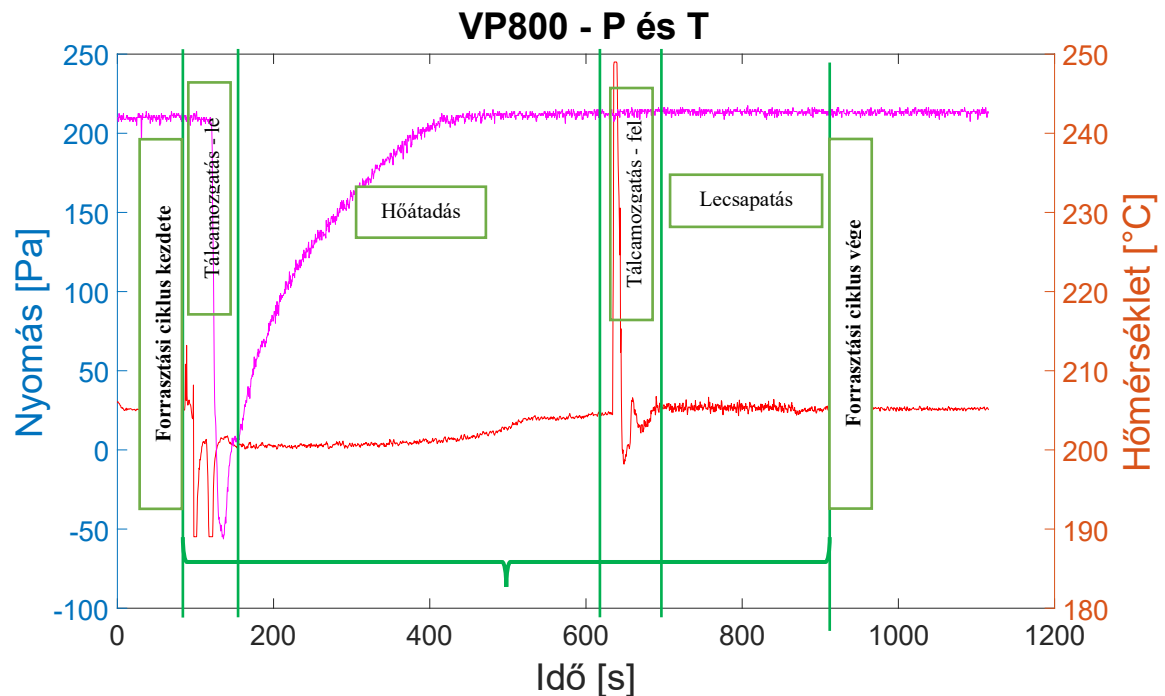
### 5.1 Vizsgálati eredmények

Az előzőekben már láthattunk pár diagrammot, amely a VP800-as ipari gőzfázisú forrasztóberendezés gőznyomás viszonyait mutatta be, ebben a fejezetben pedig az adott gép nyomásváltozásait szeretném elemezni. A 27. ábrán egy a teljes működés során üzemelő mintavételezést láthatunk.



27. ábra: VP800 hosszú időtartamú mintavételezés

## 5.2 Egy forrasztási ciklus



28. ábra: VP800 - Egy forrasztási ciklus

Az 28. ábrán látható diagrammon egy darab forrasztási ciklus látható. A berendezés működése során a tálca mozgatása két lépcsőben történik. Első fázisban nagyobb sebességgel a tálcát körülbelül 10 cm-re a végleges helyzetétől számítva leengedi, majd várakozás után a tálcát jelentősen lassabb sebességgel, a végső alsó állásba engedi. Ez a nyomásviszonyokban a két negatív tüskével jellemezhető. Felmerül a kérdés mi okozhat egy göztérben negatív nyomásértéket, konkrétan mi képes vákuumot képezni. A jelenség oka a gép felépítésében keresendő. Korábban bemutattam mennyire zárt tartályról beszélünk a VP800-as berendezés esetében. Amikor a felülről érkező hideg, vagyis a göztérhez képest hidegebb tálca leér a Galdengőzbe, akkor az a hideg tálca hatására összeszakad, elkezd kicsapódni a tálca felületére. A tartály kellően szigetelt ahhoz, hogy az összeeső göztér vákuumot hozzon létre. Természetesen a tartály nincs hermetikusan elzárva, idővel, jellemzően 10-20 sec alatt képes annyi levegő beszivárogni, hogy ezt a negatív nyomást megszüntesse. A mérési összeállítás során az alsó mérhető határ a -54 Pa, tehát nem tudjuk számértékileg jelenleg meghatározni mekkora a legkisebb nyomás, amit elér. Mivel a tálca az előbb ismertetett módon kétféleképpen éri el az alsó állást, kettő negatív tüske jelentkezik.

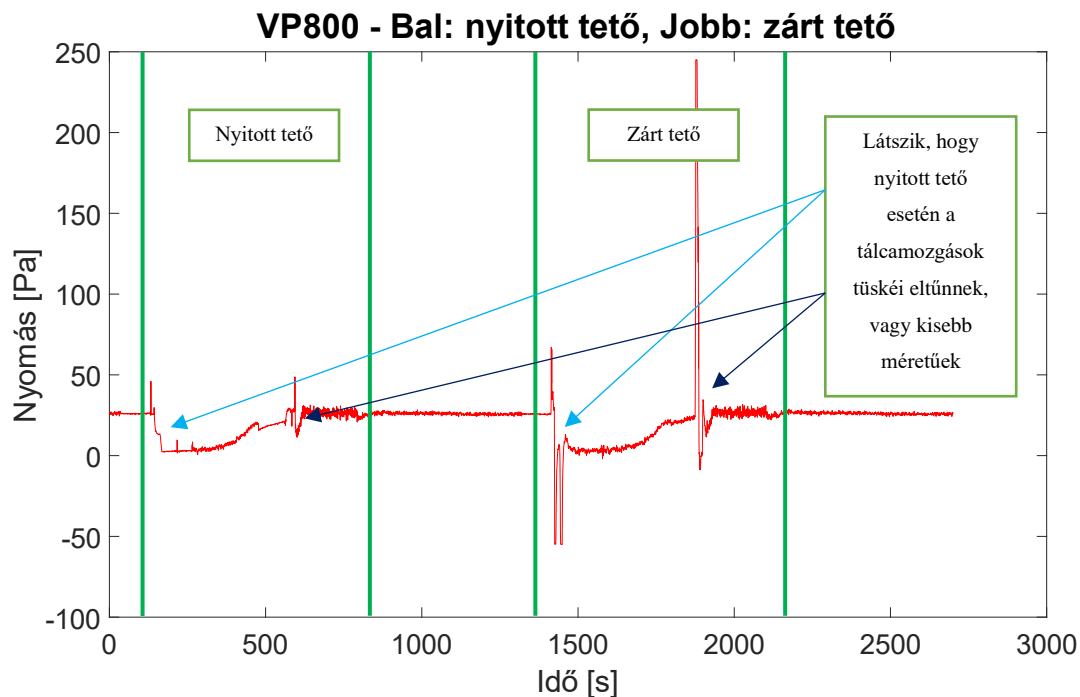


A középen található szakaszban történik a megömlés, látszik, hogy a nyomás emelkedik. A hidrosztatikai nyomás szoros összefüggésben áll a gőztér magasságával, látható, hogy a nyomás egy ponton megtorpan és nem emelkedik tovább. Ekkor feltételezhető, hogy a megömlés már megtörtént, csak a gép vezérlése még vár a felső hőmérő jelére.

A következő szakaszban látható nyomásingadozások szintén a tálcamozgásnak tulajdonítható. A Galdengőz igen sűrű tulajdonságából adódóan, a tálca képes magával húzni a gőzpárnát, amely alatt a hirtelen megüresedett helyre a forrásban lévő Galden folyadékból rögtön képes új gőztér kialakulni, és a szigetelt tartályból nem tud pillanat szerűen távozni a többletnyomás, ezért láthatjuk a megnövekedett nyomást. Az ezt követő újabb negatív tüskére csak feltételezéseim vannak. Elképzelhető, hogy a szivárgás és a kikapcsoló fűtőlap együttes hatásaként alakul a belengés. Ennek pontosabb vizsgálatához érdemes lenne a fűtőlap vezérlőjelét is feldolgozni és összehasonlítani a nyomásváltozásokkal.

Utolsó fázisban a berendezés egy hűtést és egy lecsapatást végez, a minél takarékosabb Galden felhasználás végett. Ehhez egy elszívó ventilátor folyamatosan keringeti le a tálca által felhúzott Galdengőzt az alsó térrészbe. Ez a működés a nyomásértéken is látszik, látható, hogy ezen a szakaszon jóval zajosabb a mért jel. A ciklus végén a berendezés leáll és az alap fűtés marad csak aktív, látható, hogy a nyomás zajossága is elcsendesedik.

Látszik, hogy a 28. ábrán mind a hőmérséklet mind a nyomás is megjelenik. A 4.3.3 fejezetben ismertetésre került, hogy milyen problémái vannak a rosszul elhelyezett hőmérőnek. Láthatjuk, hogy a forrasztási ciklus még javában tart, de a hőmérő már a 240 °C-os értéket mutatja.



*29. ábra: VP800 - Nyitott és zárt tető összehasonlítása*

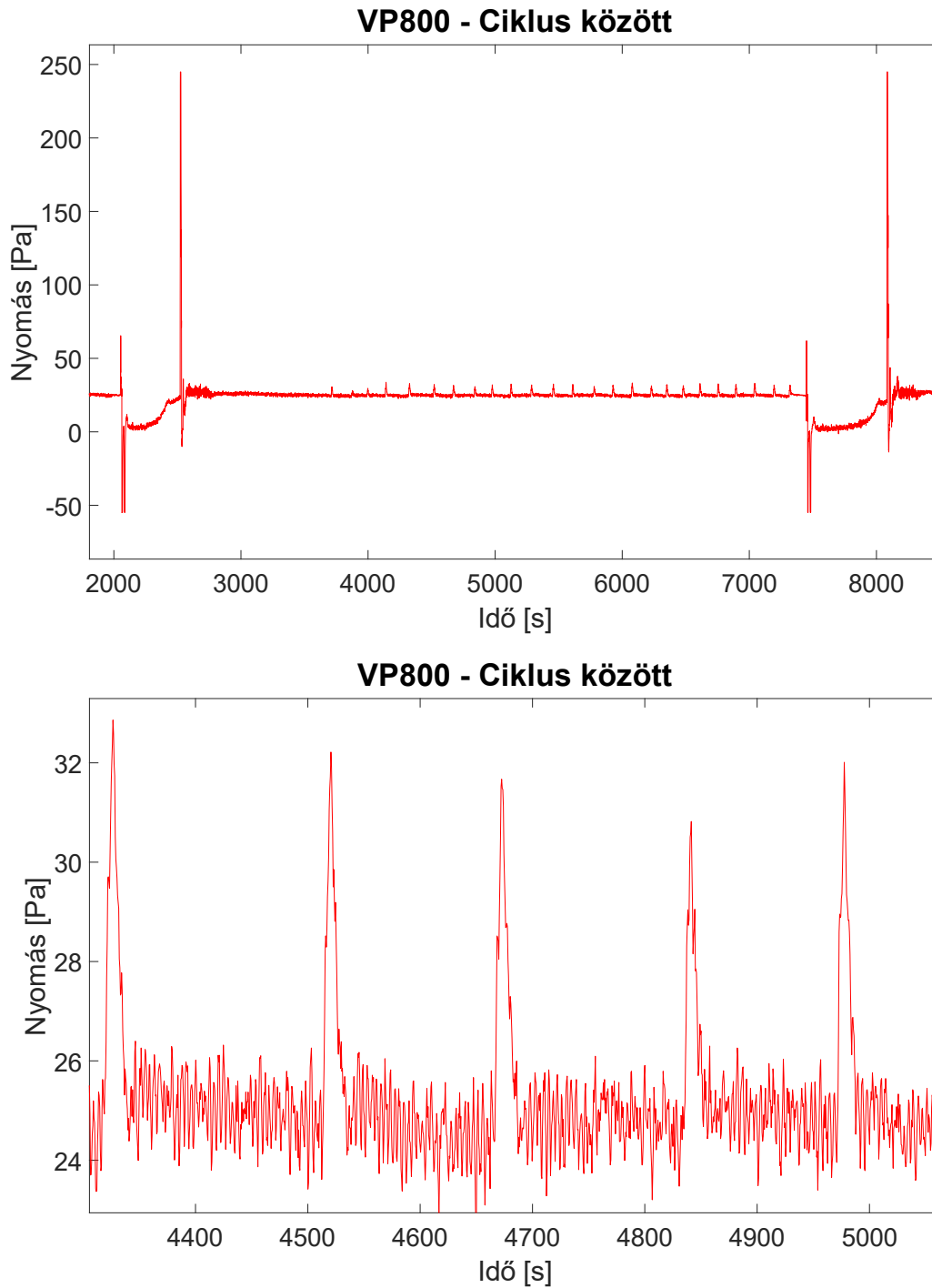
Hogy igazoljam a zárt tartály miatt történő nyomásváltozásokat, elvégeztem az alábbi kísérletet. A gőzfázisú berendezés tetején lévő ajtót, amely alpból szervizfeladatok ellátására szolgál, fel lehet úgy nyitni, hogy még a berendezés azt érzékelje, hogy csukott állapotban van, ezáltal a szigetelés megbontható. Az 29. ábrán látható összehasonlításként egy olyan ciklus, amelynél a tálcamozgások során a felső tető nyitva volt, illetve a jobb oldalon egy ciklus zárt tetővel. Sajnos azt nem tehetem meg hogy a tetejét az egész ciklus idejére nyitva hagyjam, mivel elég jelentős a Galdengőz kiáramlás. Így a középső szakaszban zárva volt a tető, látszik a törés a nyomás értékben amikor a tető kinyitásra került.

Az eredményből látszik, hogy nyitott tetővel az a tálca leengedésénél jelentkező tüskék egyértelműen eltűntek, és a tálca felhúzásakor is megváltozik a nyomás a zárt tartályhoz képest.

Elmondható összességében, hogy a nyomásmérő szenzor nem csak célkitűzésnek megfelelő vezérlésre lehet alkalmas, hanem akár kiegészítő mérésként a szigetelés állapotát lehet minősíteni, vagy éppen a lecsapató kör megfelelő működését igazolni.

## 5.3 Forrasztási cikluson kívüli tartomány

Ha olyan diagrammot nézünk, aminél nem csak a forrasztási ciklusok vannak jelen, hanem egyben a teljes működés egy diagrammon van ábrázolva, akkor láthatjuk, hogy a ciklusok között is van érdekes nyomás változás (30. ábra).



30. ábra: VP800 - Forrasztási ciklusok közötti időszak

Látható, hogy két forrasztási ciklus között amennyiben hosszabb várakozási idő található, akkor tüskeszerű nyomásnövekmény található. Ennek magyarázataként szolgál a gép működése. Alaphelyzetben, ha a fűtés aktív akkor 25%-os teljesítmény kitöltéssel járhatja a fűtőlapot a berendezés. Ez nem elegendő ahhoz, hogy a gőzteret életben tartsa és a felső hőmérő alapján mérve annak hőmérséklete csökkenni kezd, ennek függvényében a teljesítményt felemeli 60%-ra, amíg a felső hőmérő újra visszamelegszik. Ezt láthatjuk a diagrammon. A diagrammon az is látható, hogy a felső hőmérő hűlésével egyetemben a nyomás is csökkenő tendenciát mutat.

Ezen kívül, ha megvizsgáljuk a nyomásmérés zaját háromszögjel rajzolódik ki előttünk. Feltételezhető, hogy egy-egy nyomásugrás a fűtőlapp impulzus szélességmodulációjából ered. Ez az ingás kb. 2 Pa-os tartományon történik, ehhez képest a fritőzben (ahol nincs impulzusszélesség moduláció) a zaj 0.5 – 1 Pa között található. Ennek további vizsgálatára szintén a fűtőlapp vezérlő jelet lenne érdemes összehasonlítani a mérési eredményekkel.

## 6. Továbblépési lehetőségek

Már az eredmények kiértékelése során is utaltam rá, hogy érdemes volna a fűtőlap vezérlőjelét is megvizsgálni. Ehhez a fűtőlapra menő feszültséget kellene leosztani oly módon, hogy egy másik ADC konverter segítségével annak időfüggése is rendelkezésre álljon. Ennek ismeretében lehetne pontosítani a tálcamozgások során keletkező nyomásingásokat. Ezenkívül magyarázatot tudna adni, hogy az alapnyomás zaja valóban függ-e az impulzusmoduláció százaléktól.

A VP800-as gőzfázisú berendezés egy LCD kijelzőn keresztül tájékoztatja a felhasználót az éppen lezajló folyamatról. Többek között elérhető a folyadék hőmérséklete, a felső hőmérő hőmérséklete, a liftmozgatások időtartama. Mind ezek az információk igen hasznosak lennének összevetve a mért nyomásértékekkel. Ehhez egy kamera segítségével történő optikai karakterfelismerés jelentené a megoldást, mivel a gép felépítése zárt, arra digitálisan rácsatlakozni nem lehet. Ennek megvalósítása a további feladatok között szerepel.

A hosszú távú tervek között szerepel, hogy amennyiben elegendő információ gyűlik össze, hogy milyen összefüggés van a fűtőlap vezérlése és a kívánt elérendő hőprofil között, ha mindezt a nyomásértékek szempontjából vizsgáljuk, akkor szeretnénk elkészíteni a tanszéken található kísérleti VPS (fritőz) berendezést nyomás alapú vezérlésre.

## 7. Összefoglalás

A mai gőzfázisú berendezések vezérlése tisztán hőmérséklet alapján történik, amelynek több problémát is fel lehet sorolni. Egyrészt a rendszer igen kritikus a hőszensor elhelyezésének pozíciójára, illetve a hőelem fizikai megjelenése is képes a feltöltődő jelleg idejét befolyásolni. Emiatt a vezérlés jelentős holtidővel dolgozik, annak érdekében, hogy a forrasztási ciklus megfelelő kimenetele biztosítható legyen.

Erre kíván megoldást a nyomásmérésen alapú vezérlés, amely sem elhelyezésre, sem a tömegére nem érzékeny. Problémája a szivárgás, amely az aktuátoros üzemmél megfelelően ellensúlyozható.

A mérések sikeresnek mondhatóak, képes voltam egy olyan berendezést és szoftvert összeállítani, amely kellőképpen kiküszöböli a szivárgást és elérhetővé vált, hogy a mérőberendezést kiemelve a kontrollált kísérleti környezetből egy iparban is használatos gőzfázisú berendezésben alkalmazzam, ahol már a tényleges eredmények értelmezésére lehetett a hangsúlyt fektetni.

A tanszéken található VP800-as gőzfázisú forrasztó berendezés nyomásviszonyainak vizsgálata igen ígéretes eredményeket hordoz magában. Olyan tulajdonságok megismerésére van lehetőség, ami a lomha hőmérséklet alapú érzékeléssel lehetetlen feladat. Sikerült az egyes forrasztási ciklusban található lépések inicializálása csupán a nyomásviszonyok elemzésével. Egyetlen szenzor képes visszacsatolást adni akár a liftmozgás helyes működésére, vagy éppen a jel zajából megállapítható a hűtés aktív állapota. Nem utolsó sorban a berendezés szigetelésének minősítésére is használható a mérőszensor.

Összeségében elmondható, hogy sikerült jobban megismerni a VPS berendezésben uralkodó nyomásértékeket a forrasztási ciklus során, amely közelebb viszi a kutatást a nyomás alapú vezérlés felé.

## **8. Köszönetnyilvánítás**

Köszönetet szeretnék nyilvánítani a tanszékvezetésnek, hogy elérhetővé tették számomra a berendezések használatát, illetve az ASSCON VP800-as gőzfázisú berendezés átépítését. Köszönet illeti az UNIPCB Kft.-t, aki a mérőpanel gyártásával segítette munkámat, illetve Takács Gergőnek, aki lehetővé tette, hogy éles gyártásban tudjam a méréseket elvégezni.

## 9. Irodalomjegyzék

- [1] Illés, Balázs and Krammer, Olivér and Géczy, Attila (2020) Introduction to Surface-Mount Technology. In: Reflow Soldering – Apparatus and Heat Transfer Processes. Elsevier, Amszterdam, Hollandia, pp. 1-62. ISBN 97801281850563333333
- [2] Eftychiou, M. A., Bergman, T. L., Masada, G. Y., A Detailed Thermal Model of the Infrared Reflow Soldering Process, 1993. J Electron Packag, Vol. 115, No. 1, pp. 55.
- [3] Illés, B., Harsányi, G. Investigating direction characteristics of the heat transfer coefficient in forced convection reflow oven, ( Exp Therm Fluid Sci, Vol. 33 No. 4, pp. 642–650.
- [4] Suihkonen, D., Vapor phase for lead-free reflow, 2007, Global SMT & Packaging, Vol. 7, No. 9, pp. 30-32.
- [5] Galden® LS & HS Vapor Phase Soldering Fluids, Technical Data Sheet, Available online: <https://content.solvay.com/Galden-ls/hs-vapor-phase-soldering-fluids>, (elérés dátuma: 2022.11.01).
- [6] Zabel, C. Condensation Reflow Soldering - The Soldering Process with Solutions for future Technological Demands, Germany, ASSCON Systemtechnik-Elektronik GmbH, 2006.
- [7] Leicht, H. Thumm, A. Today's vapor phase soldering-an optimized reflow technology for lead free soldering, 2008 SMTAI Conference, Available online: <https://smtnet.com/library/files/upload/Vapor-Phase-Soldering.pdf> (elérés dátuma: 2022.11.01)
- [8] Guglielmini, G., Misale, M., Schenone, C., Experiments on pool boiling of a dielectric fluid on extended surfaces, 1996, Int Commun Heat Mass Transf, Vol 23. No. 4. pp. 451-462.
- [9] Lam, D. M, Novak, M., Uhlir, I., Vapour soldering system with Peltier heater, IEEE Appl Electron, 2009.
- [10] Livovsky, L., Pietrikova, A., Real-time profiling of reflow process in VPS chamber, 2017, Solder Surf Mt Technol, Vol. 29 No. 1. pp. 42-48.
- [11] Illés, B., Géczy, A., Multi-physics modelling of a vapour phase soldering (VPS) system, Appl Therm Eng, Vol. 48 ,2012, pp. 54-62.
- [12] Geczy, A., Illes, B., Peter, Zs.. and Illyefalvi-Vitéz, Zs., Characterization of Vapour Phase Soldering Process Zone with Pressure Measurements, 2013, Solder Surf Mt Technol, Vol. 25, No. 2, pp. 99-106.



- [13] Livovsky, L., Pietrikova, A., Measurement and regulation of saturated vapour height level in VPS chamber, 2019. Solder Surf Mt Technol, Vol. 31, No. 3, pp. 157-162.
- [14] Vehéc, I., Livovsky, L., Pietrikova, A., Capacitive Sensors for Saturated Vapour Height Sensing in VPS Soldering, 2020, 43rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), DOI: 10.1109/ISSE49702.2020.9121099
- [15] Illés, B., Krammer, O., Géczy, A., Reflow Soldering, Apparatus and Heat Transfer Processes, 1st Edition, Chapter 6., Elsevier: Amsterdam, Netherlands, 2nd July 2020.
- [16] Dziurdzia, B., Sobolewski, M., Mikołajek, J., Convection vs vapour phase reflow in LED and BGA assembly, 2018, Solder Surf Mt Technol, Vol. 30 No. 2, pp. 87-99.
- [17] Krammer, O. , Comparing the reliability and intermetallic layer of solder joints prepared with infrared and vapour phase soldering, 2014, Solder Surf Mt Technol, Vol. 26. No. 4. pp. 214-222.
- [18] Synkiewicz, B., Skwarek, A., Witek, K., Vapour phase soldering used for quality improvement of semiconductor thermogenerators (TEGs) assembly, 2015, Mater Sci Semicond Process, Vol. 38. pp. 346–351.
- [19] Sarkar, M., Raghu, B. R., Sudheesh, K.S., Evaluation of Doubled-sided Substrate Attachment Technique for Round Shaped Large Metallic Housing under Airborne System Development, 2020, IEEE 5th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA), DOI: 10.1109/ICCCA49541.2020.9250792
- [20] Beata. K. S, Skwarek. A, Witek. K, Voids investigation in solder joints performed with vapour phase soldering (VPS), 2014, Solder Surf Mt Technol, Vol. 26, No. 1, pp. 8-11.
- [21] Lungen, S., Klemm, A., & Wohlrabe, H., Evaluation of the quality of SMDs according to vacuum vapour phase soldering, 2015 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE). doi:10.1109/isse.2015.7247993
- [22] Asscon Quicky 450 VP adatlap  
<https://www.pmttech.co.uk/pdfs/TDS/Equipment/asscon/q450.pdf>  
 (elérés dátuma: 2022.11.01)
- [23] ASSCON VP800 VACUUM adatlap:  
[https://www.asscon.de/wp-content/uploads/2021/11/211104\\_ASC\\_VP800\\_E.pdf](https://www.asscon.de/wp-content/uploads/2021/11/211104_ASC_VP800_E.pdf)  
 (elérés dátuma: 2022.11.01)

- [24] HSCMRRD006MGAA5 adatlap:  
<https://www.mouser.com/datasheet/2/187/honeywell-sensing-trustability-hsc-series-high-acc-708740.pdf>  
(elérés dátuma: 2022.11.01)
- [25] ADS1110A0IDBVT adatlap:  
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1110.pdf>  
(elérés dátuma: 2022.11.01)
- [26] MAX6675ISA+T adatlap:  
[https://hu.mouser.com/datasheet/2/256/maxim%20integrated%20products\\_max6675-1179403.pdf](https://hu.mouser.com/datasheet/2/256/maxim%20integrated%20products_max6675-1179403.pdf)  
(elérés dátuma: 2022.11.01)
- [27] L9110S adatlap:  
[https://www.hestore.hu/prod\\_getfile.php?id=9306](https://www.hestore.hu/prod_getfile.php?id=9306)  
(elérés dátuma: 2022.11.01)
- [28] Rapsberry Pi 3 Model B:  
<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>  
(elérés dátuma: 2022.11.01)
- [29] VNC Viewer: <https://www.realvnc.com/en/>  
(elérés dátuma: 2022.11.01)
- [30] WiringPi: <http://wiringpi.com/>  
(elérés dátuma: 2022.11.01)

## 10. Melléklet – Bill of Materials a mérőpanelhez

Reference	Érték	Beszállító	Azonosító	Egységár	Rendelt	Szükséges	Szükséges ár	Összes
M1	Air_pump	Ebay	JQB1015010	1007,56	1	1	1007,56	1007,56
U1	HSCDRRD006MGAA5	Mouser	HSCDRRD006MGAA5	17643,33	1	1	17643,33	17643,33
C1, C3	1u-c0603	Farnell	C1608X5R1E105K080AC	21,323	10	2	42,646	213,23
C2, C4, C5, C6, C7, C8, C10	100nf-c0603	Farnell	C0603C104Z3VACTU	9,692	10	7	67,844	96,92
R1, R2	330r-r0603	Farnell	CRO603-JW-331ELF	3,102	10	2	6,204	31,02
R3, R4	10k-r0603	Farnell	CRG0603J10K	9,305	10	2	18,61	93,05
R5, R6, R7, R8	4k3-r0603	Farnell	MCWR06X4301FTL	1,861	10	4	7,444	18,61
C9	220uf-elko	Farnell	865080545012	134,528	1	1	134,528	134,528
F1, F2	1A-f1210	Farnell	MF-USMF075-2	127,55	5	2	255,1	637,75
D3	D-sod-128	Farnell	STTH3R02AFY	318,293	1	1	318,293	318,293
TC1	K-type-connector	Farnell	IM-K-PCB	1690,328	1	1	1690,328	1690,328
U2	ADS1110A0IDBVT	Farnell	ADS1110A0IDBVT	2768,107	1	1	2768,107	2768,107
U3	2N7002	Farnell	2N7002	132,59	5	1	132,59	662,95
U5	MAX6675ISA+T-soic8	Farnell	MAX6675ISA+T	5784,335	1	1	5784,335	5784,335
SW1,SW2	Tactil-switch	Farnell	PHAP5-30VA2A3S2N3	63,581	10	2	127,162	635,81
D1, D2	LED-I0603	Farnell	2900770	96,923	5	2	193,846	484,615
U4	L9110S-sop8	Hestore	100.374.78	192	1	1	192	192
J1	RPI-PinSocket2x20	Hestore	100.280.61	136	1	1	136	136
JP1	PCB	UNIPCB	Sensor_Hat	7397,44	2	1	7397,44	14794,88
							37923,367	47343,31

Tanszéken elérhető volt  
UNIPCB támogatás