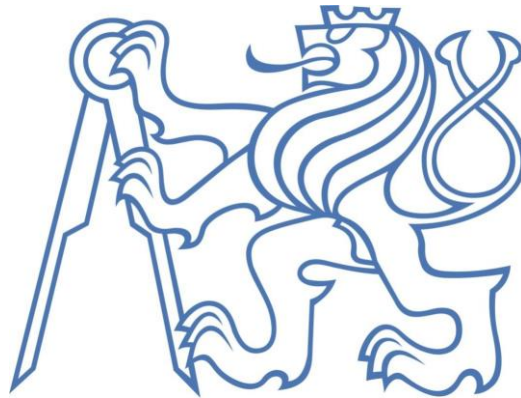


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav strojírenské technologie, projektování a metrologie



Reverzní inženýrství

Reverse engineering

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Martin Fronk

Studijní program: (B2343) Výroba a ekonomika ve strojírenství

Studijní obor: (2303R014) Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Jan Šimota

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, software atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval zejména svému vedoucímu bakalářské práce, kterým byl pan Ing. Jan Šimota, za cenné rady a připomínky. Dále také mé rodině za pomoc a podporu.

Anotace

V této bakalářské práci se zabývám teorií reverzního inženýrství a přehledem druhů hladinoměů. Na tuto teoretickou část navazuje praktická ukázka postupu reverzního inženýrství u kontinuálního kapacitního hladinoměru tekutého dusíku s možnostmi uzpůsobení výsledného výrobků i jiným potřebám.

Klíčová slova

Reverzní, inženýrství, hladinoměr, rekonstrukce, konstrukce, senzor

Annotation

In this bachelor thesis I deal with the theory of reverse engineering and overview of level meters. This theoretical part is followed by a practical demonstration of the reverse engineering process of a continuous capacity level sensor of liquid nitrogen with the possibility of customizing the resulting products for another needs.

Keywords

Reverse engineering, level sensor, reconstruction, construction, sensor

Obsah

1. Úvod	7
. Teoretická část	8
2. Reverzní inženýrství	8
2.1 Reverzní inženýrství ve spojitosti s historií.....	8
2.1.1 V obecné historii	8
2.1.2 Ve válečném konfliktu	9
2.2 Reverzní inženýrství v automobilovém průmyslu	10
2.3 Reverzní inženýrství v informatice	11
2.4 Reverzní inženýrství v architektuře	12
2.5 Právní aspekty reverzního inženýrství.....	12
3. Hladinoměr	13
3.1 Kontinuální hladinoměr	14
3.2 Běžné typy hladinoměrů.....	14
3.2.1 Radarový hladinoměr	14
3.2.2 Ultrazvukový hladinoměr	15
3.2.3 Kapacitní hladinoměr	16
3.2.4 Ponorný hydrostatický hladinoměr.....	17
3.2.5 Mechanický hladinoměr.....	18
. Praktická část	19
4. MIKROTECHNA PRAHA a.s	19
4.1 Historie	19
4.2 Výrobní portfolio	19
5. Rozbor Hladinoměru	20
5.1 Ověření funkčnosti	21
5.2 Rozebrání.....	22
5.3 Součásti.....	23
5.3.1 Díl č.1 - Trubička	23
5.3.2 Díl č.2 - Tyčka.....	23
5.3.3 Díl č. 3 a 4 - Teflony	24
5.3.4 Díly sloužící jako těsnící prvky	24
5.3.5 Díl č. 5, 6 a 7 - Krabice elektroniky	25

.....	26
6. Materiály	26
6.1 Oceli	27
6.2 Hliník	27
6.3 Teflon	28
6.4 Epoxidová pryskyřice	28
7. Různé formy těsnění	28
8. Elektronika snímače	31
8.1 Popis obvodu	32
8.2 Celková kapacita snímače hladiny	32
8.2.1 Rozvaha	33
8.2.2 Výpočet celkové kapacity a periody signálu	33
8.3 Možné vzniky rušení a přenosu signálu	36
9. Závěr	37
10. Literatura	38
11. přílohy	40

1. Úvod

Ve své práci se zabývám problematikou reverzního inženýrství ve spojitosti s hladinoměrem. Tyto dvě oblasti zájmu v této práci spojuji dohromady, jelikož jsem se částečně zúčastnil procesu reverzního inženýrství kontinuálního kapacitního hladinoměru tekutého dusíku prováděného firmou MIKROTECHNA PRAHA a.s.

Samotný pojem reverzní inženýrství je dosti obecný a je pod něj možné schovat vlastně jakýkoliv proces získávání informací o nějakém objektu zájmu. V mém případě byl objektem zájmu kontinuální kapacitní hladinoměr, což je velice specifický druh hladinoměrů, kterých existuje obrovské množství. Člověk určitým způsobem zjišťoval úroveň nějaké hladiny od samého počátku. Ať už výšku hladiny řeky podle břehů, nebo potřeboval znát objem vody v hrnci. A i k takovým, zcela běžným věcem, dnes existuje mnoho možností jak je přesně určovat.

Jako téma své bakalářské práce jsem si vybral reverzní inženýrství hlavně proto, že mne proces získávání informací a zjišťování, jak nějaký stroj funguje, od malička fascinuje, a navíc sem již jako dítě nevědomky reverzní inženýrství aplikoval při stavbě různých strojů ze stavebnice Merkur, či náhrady zlomené antény rádia kouskem drátu a mřížky původem z elektrické trouby.

2. Reverzní inženýrství

Jako reverzní inženýrství (z anglického Revers Engineering) se označuje proces získávání informací, jak něco funguje, či z čeho se daná věc skládá, tak aby bylo možné na základě získaných informací vytvořit napodobeninu se stejnými, nebo podobnými vlastnostmi. Výchozím bodem tohoto procesu je buď nějaký výrobek s minimem jeho parametrů a informací jak vlastně funguje, nebo často i jen samotný výrobek bez veškerých informací.

Procesem reverzního inženýrství může projít prakticky cokoliv, od budovy, přes automobil, fotoaparát nebo CNC až k nehmotnému softwaru.

Dovolím si zde tvrdit, že reverzního inženýrství nevědomky použil snad každý z nás a to i když tento pojem nikdy neslyšel. Ne nadarmo se o Čechách mluví jako o národu kutilů a všichni známe ono „Zlaté české ručičky“. Pokud jste totiž někdy rozebrali porouchanou věc, ve snaze přijít na to, co se rozbilo a jak ji opravit, nebo porouchanou součást jen nahradit něčím jiným, jednalo se vždy v podstatě o reverzní inženýrství.

2.1 Reverzní inženýrství ve spojitosti s historií

Reverzní inženýrství v různých podobách provází člověka již od počátku. Nejvíce a nejnáze popsitelné je v dobách válek, kdy každá nová zbraň použitá jednou z nepřátelenou stranou byla brzo používána i na straně druhé a často i vylepšena o další nápady. Například Řekové v antice vyvinuli několik druhů válečných praků, které poté Římané okopírovali a postupně z nich vyvinuli katapult.

2.1.1 V obecné historii

Pokud se podíváme do historie, tak se dostaneme k vědnímu oboru archeologie, kde je často využíváno postupů podobných reverznímu inženýrství. Ať už se budeme zabírat stavitelstvím, kde se za pomoci postupů reverzního inženýrství dá zjistit ze zbytků obydlí, jak byla stavba postavena, kdo tam bydlel, jak tam bydlel, čím se živil a mnoho dalšího.

Nás Však zajímá spíše technika a tou jsou třeba lodě. Existuje mnoho konkrétních příkladů kdy na základě archeologického nálezu vraku například vikingské lodi, nebo jen jejího zbytkového otisku v usazeninách bahna na dně zátok a fjordů, skupinka nadšenců dokázala zrekonstruovat její přesnou kopii a s využitím poznatků zkoumání vraku bylo možné zjistit i přesné postupy stavby. Skupinka dobrovolníků jen prozkoumáním zbytků vraků a studiem starých norských ság dokázala naučit a zopakovat postup stavby lodi s výsledkem plně funkční, téměř přesné kopie lodí popisovaných lodí, která dokázala doplout k pobřeží Ameriky. [1]

V tomto ohledu má i Česká republika co nabídnout a to loď La Grace. Tu skupina nadšenců postavila jako kopii brigy z 18. Století, s moderními prvky jako záložní motor, GPS a různé bezpečnostní prvky. Nyní se s ní plaví po světě s možností zaplatit si na ní pobyt jako člen posádky. [2]



1- La Grace [16]

2.1.2 Ve válečném konfliktu

Během válečných konfliktů mezi dvěma podobně technologicky vyspělými zeměmi je reverzní inženýrství vždy velmi využívaným prostředkem jak udržet krok s nepřítelem, alespoň co se výzbroje týče. Proto se vždy dbá na to, aby se nepřítel nedostal k vyspělé technice i za cenu jejího zničení. Jakákoliv ukořistěná technika se dá snadno rozebrat, zjistit jak funguje a začít vyrábět její kopii, ať už jde o ruční zbraně, tanky, letadla, či dokonce prvky opevnění.

Jeden příklad za všechny:

V roce 1943 Sověti získali první informace o novém americkém bombardéru Boeing B-29 Superfortress a díky zprávám o jejich výkonech a úspěších při bombardování Německa a schopnostech tohoto letounu nést jadernou pumu, sovětské vedení chtělo za každou cenu získat konkurenceschopný letoun. Když však Američané odmítly dodat jeden kus tohoto letounu v rámci válečné smlouvy o půjčce a pronájmu, zkoušeli Sověti postavit letouny své konstrukce, ale nebyli schopni zajistit veškeré vybavení a nepřekročil tak fázi vývoje. V roce 1944 pak na území SSSR nouzově přistály tři letouny B-29, a ten je díky smlouvě s Japonskem

odmítl Američanům vydat a mohl si je i legálně ponechat. Díky tomuto měli čas důkladně letoun prozkoumat a postavit jeho téměř identickou kopii, pouze vybavenou technikou sovětské výroby. Jediný větší rozdíl, jak můžete sami posoudit na obrázku níže, se netýkal vzhledu, ale sovětská verze měla o 10 tun vyšší hmotnost sovětské varianty. [3]



2 - Porovnání bombardérů B-29 Superfortress (vlevo) a Tu-4 (vpravo) [3]

2.2 Reverzní inženýrství v automobilovém průmyslu

Snaha udržet technologický vývoj se soupeřem však není jen záležitost válečných konfliktů. Velmi snadno se dá pozorovat převážně v automobilovém průmyslu. Jistě si každý vybavíme alespoň jeden příklad, kdy nějaká čínská automobilka byla žalována jinou automobilkou za kopírování designu automobilů své značky.



3 - BMW X5 a SCEO SUV [4]

Postupně však Číňané přešli z pouhého kopírování vzhledu na komplexnější zkoumání konkurenčních vozů. Je známo mnoho případů, kdy na nějakém autosalonu byla právě představená novinka ihned oblečena fotografy čínského vzhledu, kteří si fotili nejen celkový vzhled, ale především veškeré konstrukční detaily podvozku a jiných důležitých částí, a to i s příkládáním měřítek pro pozdější analýzy. [4]

Toto chování se samozřejmě neomezuje pouze na čínské automobilky snažící se prodávat své vozy náročné evropské klientele. Je známo mnoho případů, kdy si nějaká automobilka nepřímo koupila od konkurenční automobilky vůz, a podrobila ho sérii testů, načež ho dopodrobna rozebrala, analyzovala a poté dokonce i nabídla k prodeji.

2.3 Reverzní inženýrství v informatice

Reverzní inženýrství v informatice je definováno jako *proces analýzy předmětného systému s cílem identifikovat komponenty systému a jejich vzájemné vazby a/nebo vytvořit reprezentaci systému v jiné formě nebo na vyšší úrovni abstrakce.*

Vzhledem ke komplexnosti dnešních softwarů je nejen z časových důvodů nutné využít k prozkoumání kódu daného softwaru jiný software, takzvané dekompilátory, disassemblery, virtualizace, sledování či záznam činnosti softwaru s pomocí logického analyzátoru a dalších efektivních pomůcek.

Disassemblery jsou programy, jejichž cílem je transformovat binární kód do čitelné podoby, tedy do assembleru. Tato analýza probíhá staticky (bez spuštění studovaného programu).

Dekompilery můžeme chápat jako pokročilý disassembler, který studovaný kód netransformuje do assembleru, ale pokouší se ho transformovat do vyššího jazyka. V případě strojového kódu většinou C++.

Získaných poznatků o daném softwaru se následně využívá k získání softwarové dokumentace, umožňující odhalit funkce jednotlivých částí kódu programu. Tím se dají objevit nejen bezpečnostní rizika, ale je současně možné tímto postupem dokázat odstranit ochrany proti kopírování a instalaci her, operačních systému a dalšího softwaru. Tento postup je znám pod názvem Cracking. Proti tomuto reverznímu inženýrství se však vydavatelé softwaru snaží bránit různým šifrováním, či hardwarovým klíčem.

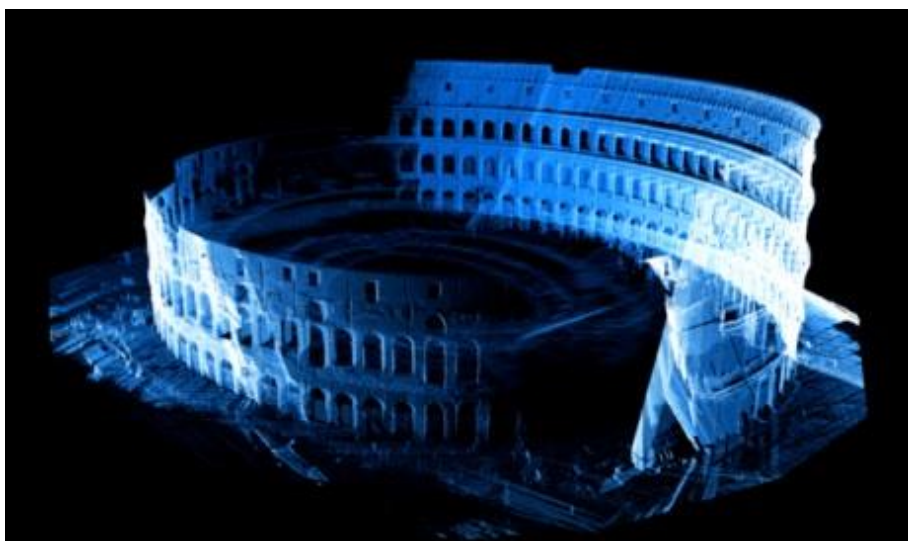
Reverzní inženýrství se však využívá i pro zvýšení softwarové interoperability (tj. schopnost různých systému vzájemně spolupracovat), implementaci ovladačů zařízení, pro které nebyly dříve dostupné, případně i pro odhalení slabín čipových karet.

2.4 Reverzní inženýrství v architektuře

Reverzního inženýrství v architektuře se využívá k rekonstrukci 3D modelu dané stavby, nebo objektu.

Využívá se především za účelem dokumentace a archivace cenných historických, případně uměleckých objektů, či soch. Získané 3D modely je možné následně využít k tvorbě výkresové dokumentace pro případy rekonstrukcí a restaurátorských prací.

Pro skenování 3D modelů se používá buďto laserového skenování, 3D optického snímání, počítačové tomografie, nebo se využívá technologie CMM, neboli skenování na souřadnicových měřicích strojích, ta je však vhodná pouze pro objekty menších rozměrů, například soch v životní a menší velikosti.



4 - 3D laserový scan Kolosea [17]

2.5 Právní aspekty reverzního inženýrství

Častým problémem reverzního inženýrství bývají následné soudní spory. Je mnoho příkladů minimálně v dopravním průmyslu, kdy by se spíše mělo hovořit o průmyslové špionáži. V Čechách tuto problematiku upravuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským.

Ze znění zákona je patrné, že reverzní inženýrství je povolené, ale za účelem poznávání funkce a ne za účelem prostého okopírování za účelem zisku, v informatice za účelem přeprogramování (odstranění zabezpečení).

V roce 2009 byl v USA zadržen jistý inženýr čínského původu a odsouzen na 15 let vězení za průmyslovou špionáž. Našli se u něj totiž dokumenty, označené jako tajné, s plány vojenských letadel od firmy Boeingu, u kterého pracoval. Kromě toho měl u sebe informace i o vesmírných letounech a raketách Delta.[6]

3. Hladinoměr

Vzhledem k tomu, že tato práce se týká reverzního inženýrství kontinuálního kapacitního hladinoměru, uvedu zde nejprve obecně co hladinoměr vlastně je, k čemu slouží a uvedu spolu se základním popisem jejich konstrukce a principu funkce běžně používané typy hladinoměrů.

Jak je z názvu patrné, hladinoměr je mechanické nebo elektronické zařízení sloužící k měření výška hladiny. Výstupní hodnotou může být buď souvislé měření výšky hladiny, nebo jen ukazatel na překročení určité hranice výšky hladiny.

Pokud se mnoho lidí potkalo s reverzním inženýrstvím, tak opravdu každý se již potkal s nějakým hladinoměrem. Jsou totiž všude kolem nás, a svět by bez nich nebyl místem, jak ho známe a jen prosté provozování automobilu by se stalo mnohonásobně náročnější z hlediska údržby a tankování.

Za nejprimitivnější hladinoměr můžeme považovat třeba i obyčejnou dřevěnou (či z jiného materiálu) tyčku. Stačí ji ponořit do kapaliny a dle výšky smočené části ihned poznáme, či vhodným měřidlem změříme, kolik měřené kapaliny je v nádobě. Tento způsob měření je však poměrně nepřesný a záleží hlavně na tom, jak je daná nádoba s kapalinou vyrovnaná a zda má ploché dno. Jako příklad, se kterým se setkává každý, kdo se aspoň trochu stará o své vozidlo, uvedu



5 – hladinoměr pro měření hladiny řeky [18]

měrku motorového oleje.

Další jednoduchým způsobem jak zjistit výšku hladiny jsou průzorové hladinoměry, ať už ve formě skleněné trubičky, nebo průzoru. Průzor je dokonce možné použít až pro nádoby s tlakem do 10MPa. Ovšem velkou nevýhodou je pouze vizuální kontrola, nikoliv jednoduchá možnost přenosu informace v podobě dat.

3.1 Kontinuální hladinoměr

Kontinuální hladinoměr je takový hladinoměr, který nám dokáže na rozdíl od stavového hladinoměru dát plynulé informace i stavu hladiny měřené kapaliny, případně alespoň více stupňů, než jen prázdnost/plno.

Asi nejrozšířenějším typem tohoto hladinoměru je snad každému známý palivoměr. U něj je nutnost kontinuálního měření hladiny nutná, proto aby nedocházelo k nepříjemným situacím, kdy nám dojde palivo daleko od čerpací stanice. Palivoměr funguje na jednoduchém principu plovákového hladinoměru, avšak hladinoměrů schopných kontinuálního měření existuje více typů.

3.2 Běžné typy hladinoměrů

Níže uvedu nejběžnější druhy hladinoměrů, zhruba popíšu jejich konstrukci a princip, na jehož základě je založená jejich funkce a uvedu příklady prostředí, do něhož se hodí.

3.2.1 Radarový hladinoměr

Radarové hladinoměry jsou relativně dražší a velmi sofistikované hladinoměry pro bezkontaktní měření hladiny kapalin a pevných látek. Najdou uplatnění především tam, kde jsou extrémní podmínky jako vysoký tlak a teplota, atmosféra s parou či plyny, případně vakuum. Pro krátký popis radarového hladinoměru bych měl uvést především jejich poměrně vysokou přesnost měření hladiny, a to od ± 3 mm navíc s velmi malou neměřitelnou zónou. Mezi jejich přednostmi patří také malé rozměry radarových antén, což usnadňuje jejich montáž. [5]

Princip měření je v podstatě stejný jako u jakéhokoliv jiného



6 - Radarový hladinoměr [5]

radaru. Hladinoměr měří a následně vyhodnocuje čas potřebný pro to, aby signály ve formě několik nanosekund dlouhých mikrovlnných pulzů doputovaly k měřenému povrchu a odrazil se zpět do antény. Z potřebného času se poté velmi snadno dopočítá vzdálenost. Kvalita odraženého signálu je však závislá na měřené vzdálenosti, stavu povrchu (rozvlněný povrch, či pěna měření ztěžují) a na dielektrické konstantě měřeného média, což jsou v podstatě jediné omezující prvky. Rychlost šíření radarového signálu neovlivňuje prostředí, teplota, ani tlak. V podstatě jsou tyto hladinoměry omezené pouze na to, jaké prostředí snese jejich konstrukce, a proto je tato metoda měření používána v případech, kdy použití jiné bezkontaktní metody není možné.

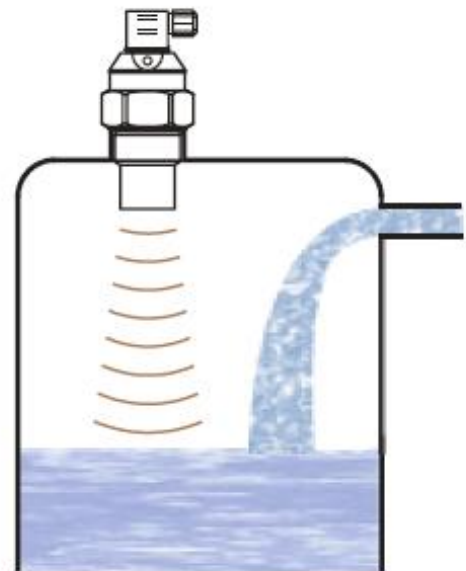
3.2.2 Ultrazvukový hladinoměr

Ultrazvukové hladinoměry pracují na stejném principu jako hladinoměry radarové, avšak pracují s ultrazvukem, nikoliv s mikrovlnným zářením. Jedná se tedy o ultrazvukové senzory, uzpůsobeny pro snímání povrchů kapaliny, či velmi jemných sypkých materiálů. Lze je použít nejen upevněné v přírubách nádob, ale také v otevřených nádobách, kanálech, či dopravních pásů pro sypký materiál, jako písek, ale i jemné uhlí.

Jak jsem již uvedl, ultrazvukový hladinoměr pracuje na stejném principu jako radarový. Využívá tedy odrazu vyslaného signálu, pouze využívá akustický místo mikrovlnný signál a ultrazvukový senzor.

Vlastnosti zvuku tento typ hladinoměru

zvýhodňují hlavně oproti optickému senzoru, a to díky snímání zvuku, kterému totiž nevádí transparentní povrchy, jimiž světelný signál projde a tím znehodnotí měření. Svou funkci tak plní i na přímém slunečním světle a dokáže pracovat i na větší vzdálenosti až několika desítek metrů. Snadněji se vypořádává se znečištěnou atmosférou, či mlhou a je tak vhodný i do prašných prostředí, například v zemědělství. Jeho nevýhodami jsou však vyšší požadavky na



7 – Princip ultrazvukového hladinoměru [5]

prostornost, z důvodů širšího akustického kužele se nehodí do stísněných prostor, a není schopen měřit krátké vzdálenost. [5]

Hlavní funkci zde plní membrána pracující na stejném principu, jako známe u reproduktorů. Zde však plní zároveň funkci vysílače signálu, i funkci snímací membrány pro zachycení odraženého akustického signálu. Poté stejně jako u radarového hladinoměru dojde k vyhodnocení doby mezi vysláním a příjmem signálu a díky známé rychlosti šíření akustické vlny software následně jednoduše dopočítá vzdálenost k hladině.

3.2.3 Kapacitní hladinoměr

Kapacitní hladinoměry pracují na vcelku jednoduchém principu měření kapacity kondenzátoru, jehož elektrody jsou fyzicky v kontaktu s látkou, jejíž hladinu chceme měřit. Je možné takto měřit jak kapaliny, tak sypké látky. Podstatnou část kapacitního hladinoměru tvoří elektrický kondenzátor s proměnlivou kapacitou.

Často kapacitní hladinoměry neměří pouze kapacitu, ale současně i impedanci, proto někteří výrobci označují tyto hladinoměry jako impedanční.

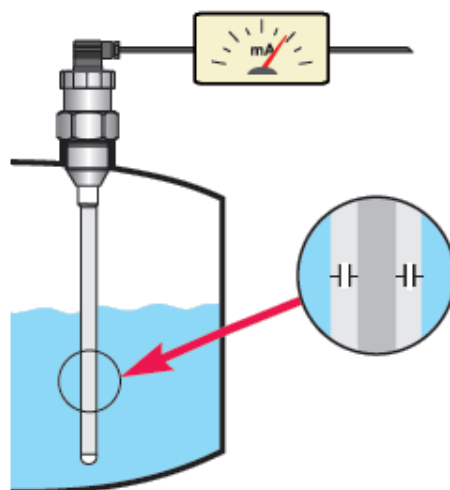
Princip funkce kapacitního hladinoměru:

Při měření nevodivých médií (např. olej, nafta, benzin) je kondenzátor tvořen střední vodivou elektrodou a druhou elektrodou,

kterou je obvykle kovová stěna nádoby.

Dielektrikem je nevodivá kapalina, která při změně polohy hladiny zaplavuje střední elektrodu. S polohou hladiny se mění kapacita snímače, protože permitivita náplně je několikanásobně větší než permitivita vzduchu.

U vodivých médií (např. voda a vodné roztoky) musí být snímací elektroda zcela pokryta izolační vrstvou. Dielektrikem kondenzátoru je v tomto případě izolace elektrody (například teflon). Kapacita elektrody vzhledem ke stěnám nádoby je zanedbatelná ve

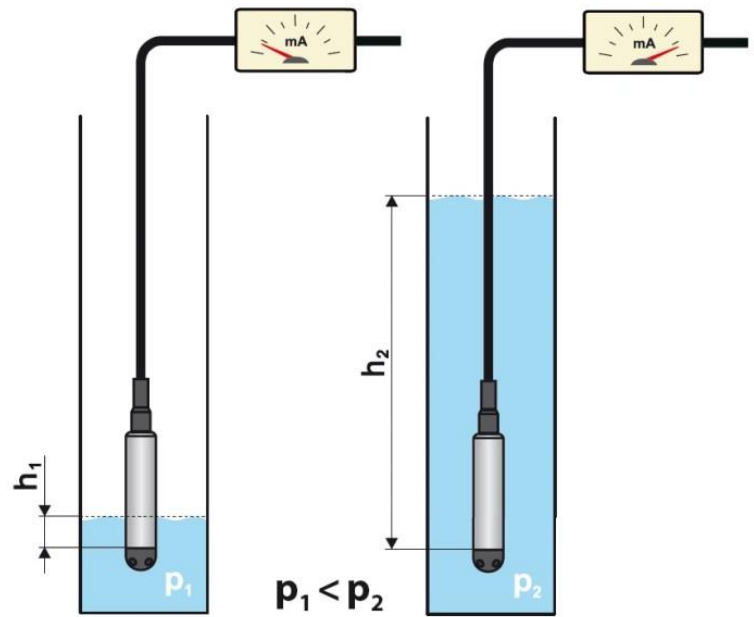


8 - Znáornění principu kapacitního hladinoměru [5]

srovnání s kapacitou mezi elektrodou a vodivou kapalinou. Vodivá kapalina tvoří proměnnou plochu vnější elektrody, která se mění se změnou polohy hladiny v nádobě. [7]

3.2.4 Ponorný hydrostatický hladinoměr

Tento hladinoměr pro měření polohy hladiny hydrostatickou metodou využívá ponornou sondu. Její hlavní částí je membrána s tenzometrickým snímačem chráněným oddělovací membránou. Hydrostatický tlak v nádobě, přímo úměrný výšce hladiny kapaliny nad oddělovací membránou, je přenášen prostřednictvím oleje na měřicí polovodičový čip s tenzometrickým snímačem. Výstupní signál je elektronickými obvody teplotně kompenzován a upraven na standardní elektrický výstup.



9 - Znázornění principu hydrostatického hladinoměru [5]

Tenzometrický senzor v sondě však měří celkový tlak, což je součet hydrostatického a atmosférického tlaku. Pro správné změření výšky hladiny je nutné atmosférický tlak odečíst, a proto je přívodní kabel k sondě opatřen propojovací hadičkou, fungující jako přívod referenčního atmosférického tlaku.

Ponorný hydrostatický hladinoměr je vhodný pro měření hladiny v zásobnících s větší hloubkou, minimálně od 0,6 metru, ale jsou vhodné pro měření i ve velice hlubokých nádržích a vrtech s hloubkou i 200 metrů. Díky tomuto nacházejí uplatnění například v čističkách odpadních vod, v úpravnách vody, ve studních, ale i na jezích, či v otevřených nádržích, nebo při monitorování spodních vod.

Velkou výhodou ponorného hydrostatického hladinoměru je snímač neobsahující pohyblivé mechanické součásti, ale pouze jednoduchou membránu. Díky tomu je tato metoda měření výšky hladiny použitelná pro měření hladiny velmi viskózních kapalin, jakkoliv

znečištěných nebo různě chemicky agresivních a to i při vysoké teplotě až 400°C. Výhodou je i měření neovlivněné tvorbou pěny na hladině, nebo na elektrických vlastnostech kapaliny.

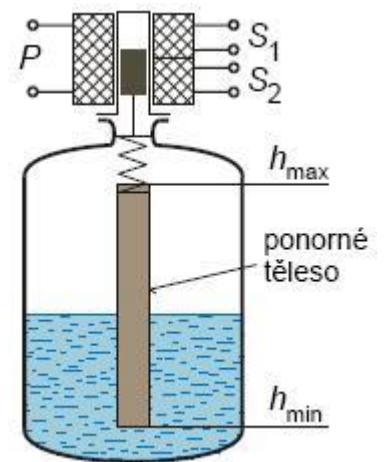
Naopak nevýhodou může být jistá závislost na teplotě, tím pádem na hustotě měřené kapaliny, nebo i zamrznutí při nízkých teplotách. Současně se příliš nehodí na velmi přesná měření, neboť jeho odchylka se pohybuje v řádech několika centimetrů.

3.2.5 Mechanický hladinoměr

Základní součástí mechanického hladinoměru je vždy nějaký druh plováku, vyrobeného buď jako duté těleso, nebo z materiálu o nízké hustotě (nižší než hustota měřené kapaliny). Plovák je na hladině držen vztlakovou silou. Je možné takto měřit i výšku rozhraní dvou kapalin o různé hustotě, pokud splníme podmínku, že hodnota hustoty plováku leží mezi hodnotami hustot jednotlivých kapalin.

Plováky se nejčastěji vyrábí z mosazi nebo nerezové oceli. Je důležité, aby plovák neměl na svém povrchu žádnou horizontální plochu. Tam se totiž mohou zdržovat kapky kapaliny, nebo usazovat nečistoty, což by znemožnilo přesné měření. Z toho důvodu se používají především plováky ve tvaru koule, či prstence.

Plováky jsou v nádržích buď zavěšeny na lanech, tyčích, nebo řetězech. Pohyb plováku je přenášen buď pomocí pákového mechanismu, nebo přes kladku ve spojení s protizávažím. Pohyb protizávaží nám poté určuje i pohyb plováku uvnitř nádoby. Pákový mechanismus se využívá především pro malé změny hladiny. [5]



10 – znázornění principu plovákového mechanického hladinoměru [5]

Praktická část

V této části bych rád podrobněji uvedl postup reverzního inženýrství v praxi. Postupně uvedu a popíšu jednotlivé kroky, jež jsou potřebné pro úspěšné poznání funkčnosti jednotlivých prvků, tak aby byla zajištěna plná funkčnost kopie následně vytvořené dle získaných poznatků.

4. MIKROTECHNA PRAHA a.s

Jak jsem již uvedl v úvodu, při této práci jsem spolupracoval se společností MIKROTECHNA PRAHA a.s, která se samotným procesem reverzního inženýrství zabírala. Odpověděla tím na poptávku převést výrobu onoho hladinoměru z Ameriky do Evropy a získat tak další výrobní zakázku.

4.1 Historie

Společnost MIKROTECHNA PRAHA a.s. zahájila svou činnost v roce 1925 pod názvem Kelvin, založena byla dvojicí pilotů Československé armády. Firma se rychle rozrůstala a v roce 1935 se přestěhovala do Modřan. V letech před okupací měla firma až 400 zaměstnanců. Za okupace byla pod nucenou správou Německa a vyráběla pro potřeby německé armády. Po válce došlo ke znárodnění a po roce 1948 byla rozvíjena úzká spolupráce se sovětským leteckým průmyslem, který se v průběhu let stal téměř stoprocentním odběratelem výrobků. Po roce 1990 bylo propuštěno asi 1000 zaměstnanců a po privatizaci v roce 1994 prošla celkovou modernizací a díky tomu i rozšířením výrobního portfolia. [9]

4.2 Výrobní portfolio

Jak už Název MIKROTECHNA PRAHA a.s. napovídá, firma se zabývá výrobou, vývojem, zkoušením a servisem drobné techniky – převážně membránových a gyroskopických leteckých přístrojů. Celý výrobní sortiment zahrnuje přístrojů, jako jsou umělé horizonty, zatáčkoměry, výškoměry, variometry, rychloměry, pilot-statické trubice, tlakoměry a tlakové spínače, ovládací a signalizační panely, centrální signalizační obvody a osvětlovací systémy. Dále spolupracuje s tuzemskými i zahraničními firmami na zakázkách přesných obrobků a montážních sestav. [9]

Pro výrobu MIKROTECHNA PRAHA a.s. disponuje za účelem vývoje CAD, CAM a CAE softwaru. Pokud jde o strojní vybavení, tak jde o klasickou firmu zaměřující se na obrábění malých, až středně velkých dílů. Ve svém výrobním programu má ozubená kolečka s modulem 0,1 mm, ale i obrobky dlouhé půl metru. Běžný díl poté dosahuje velikosti od 5 do 10 cm. K dispozici jsou zde soustruhy, frézovací centra, brusky, WEDM technologie, a další běžné strojní vybavení. Zároveň tato firma provozuje i montáž výrobních celků a dodává tak zákazníkům hotové, k používání připravené výrobky.

5. Rozbor Hladinoměru

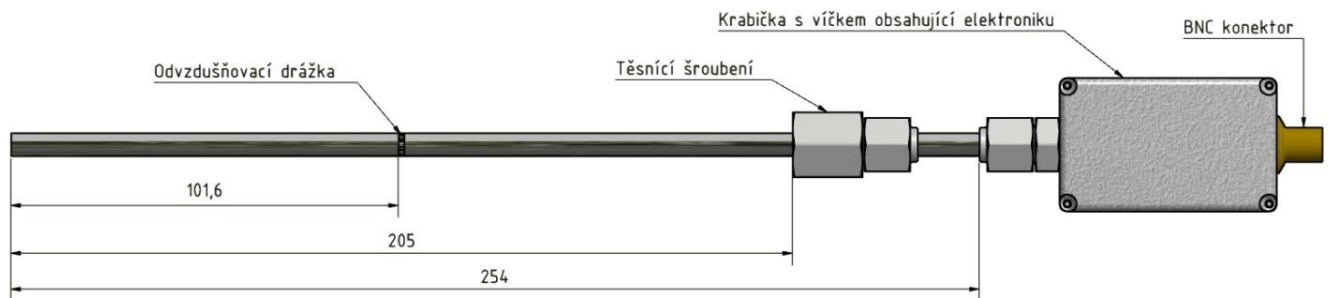
Ve většině případů kdy dochází k reverznímu inženýrství, nejsou k dispozici žádné údaje, například ve formě dokumentace, kromě samotného výrobku. Pokud tedy chceme zjistit, jak výrobek funguje, z čeho se skládá, a proč je vyroben tak, jak je, musíme přistoupit k jeho podrobnému prozkoumání. V našem případě bylo informací k dispozici poměrně hodně. Veškeré informace, které byly k dispozici, jsou uvedeny v tabulce níže.

Excitace	10-30 VDC s ochranou opačné polarity
Výstup	4-20 mA
Nelinearita	méně než 1% v celém spektru
Smáčené části	ocel 304 a PTFE
Délka	254 mm (plus varianty s 280 mm a 424 mm)
Měřicí rozsah	101,6 mm
Konektor	BNC, nepolární
DC izolace	minimálně 1M Ω
Vnitřní RF filtr	dvě cívky s 10 μ H a tlumivka s minimálně 400 Ω při 400 MHz
Fitink	1/4 in (vnější průměr trubičky) x 3/8 in (kuželový trubkový závit) (V katalogu firmy Swagelok uvedený jako part nr:SS-400-7-6BT)

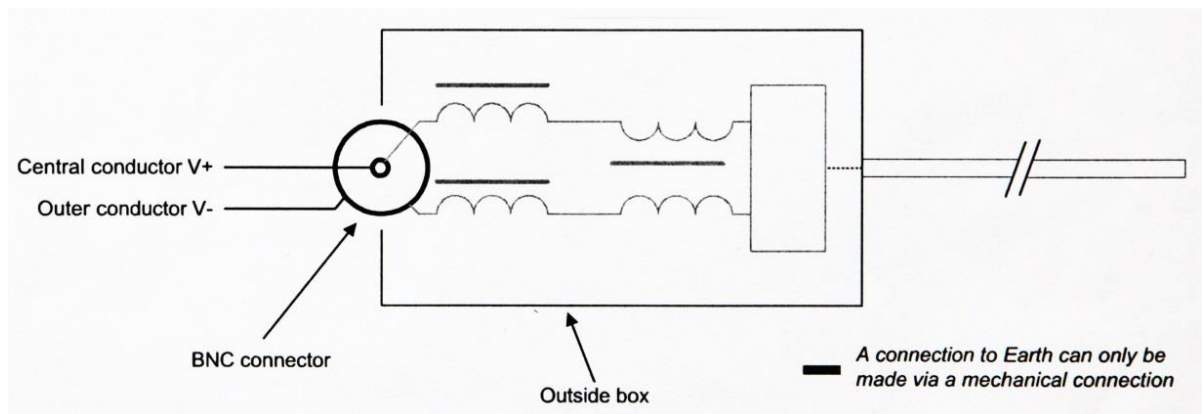
Požadavek na celkový objemu produkce 160 kusů za rok.

Dále byl k dispozici funkční vzorek hladinoměru, tudíž bylo možné nejenom ověřit funkčnost a výstupní hodnoty, ale i naměřit veškeré rozměry, ověřit použité materiály a prozkoumat blíže elektroniku ukrytou uvnitř krabičky zalitou v pryskyřici.

V dokumentaci spolu se vzorkem byly uvedeny základní rozměrové požadavky (viz obrázek č.11) a zjednodušené schéma vnitřního obvodu s požadavkem na typ a umístění konektoru.



11 - Schématický 3D model s vyznačenými prvky a důležitými rozměry



12 - Schéma vnitřního zapojení

Všechny tyto informace dodané s výrobkem, jsou pro proces reverzního inženýrství velice cenné, jelikož významně přispívají ke zjednodušení procesu reverzního inženýrství. Celý proces je tak efektivnější, rychlejší a tedy i méně nákladný.

5.1 Ověření funkčnosti

Mezi první krok logicky patří ověření správné a přesné funkčnosti daného zařízení, v našem případě hladinoměru. Pro tento účel bylo nutné zajistit tekutý dusík a měřící a záznamové zařízení výstupního signálu z hladinoměru.

Po úspěšném ověření funkčnosti získaného kusu a zjištění jeho charakteristiky v tekutém dusíku, bylo možné zkusit ověřit jeho možnosti v jiných kapalinách. Byl zvolen

etanol, kde však hladinoměr pouze ukázal, zda nějaký ethanol měří, nebo zda je prázdný, ale nedokázal zaznamenat plynulý pohyb hladiny.

5.2 Rozebrání

Dalším kritickým bylo vlastní rozebrání hladinoměru na jednotlivé prvky. Je vhodné začít od nejjednoduššího, tj. rozebráním těsnících šroubení. Po tomto úkonu se oddělí elektronika s ochranou krabičkou od ostatních sloužícímu jako kapacita a těsnící prvky nádoby. Těsnící kroužky zůstanou pevně nalisované na trubičce a bez použití síly není možné je sejmut. Pokud se rozhodneme je sejmut, může se stát, že již nebudeme schopni dosáhnout po opětovném složení požadované těsnosti spoje, proto tento ponecháme až na případ když nebude požadovaná těsnost potřeba. Následně je snadné prozkoumat trubičku i tyčku, jež slouží jako kapacita a čtyři teflonové prvky uvnitř trubičky. Prvním je váleček o délce 15 mm s dírou na tyčku slouží jako středící a zároveň částečně těsnící prvek na konci u krabičky a dále se objeví tři středící prvky přibližně trojúhelníkového tvaru. Tento tvar má své opodstatnění, pokud by tyto středící prvky vyplňovali celý průřez, zamezovali by tak volnému proudění měřené kapaliny a tím znemožnili správnou funkci hladinoměru.

Tímto se dostáváme k samotné krabičce s elektronikou.

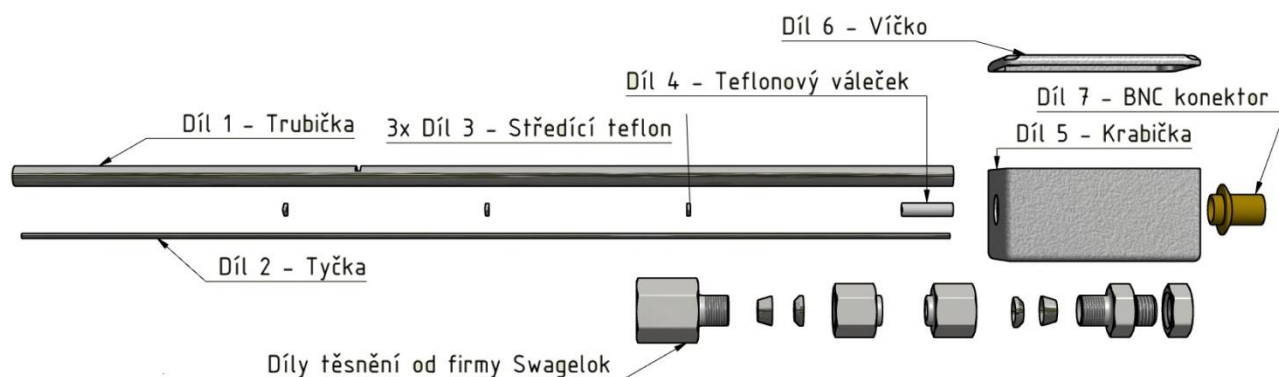
Zde nastává problém, po otevření krabičky odšroubováním víčka se odhalí pouze pryskyřice, jak je patrné na obrázku č.13, v níž je samotný obvod zalitý. Tato pryskyřice slouží zároveň jako těsnění hladinoměru, mechanická ochrana obvodu a zároveň do jisté míry slouží i k teplotní stabilizaci obvodu. Odstranění této pryskyřice je velmi riskantní, jelikož je potřeba ji odvrtávat, případně odloupávat, což snadno může vyústit k poškození samotného obvodu, v extrémním případě takovému, že nebudeme schopni zjistit, jak přesně obvod fungoval. Proto je potřeba postupovat nanejvýc obezřetně.



13 - Obvod zalitý v pryskyřici – Foto Jan Landík

5.3 Součásti

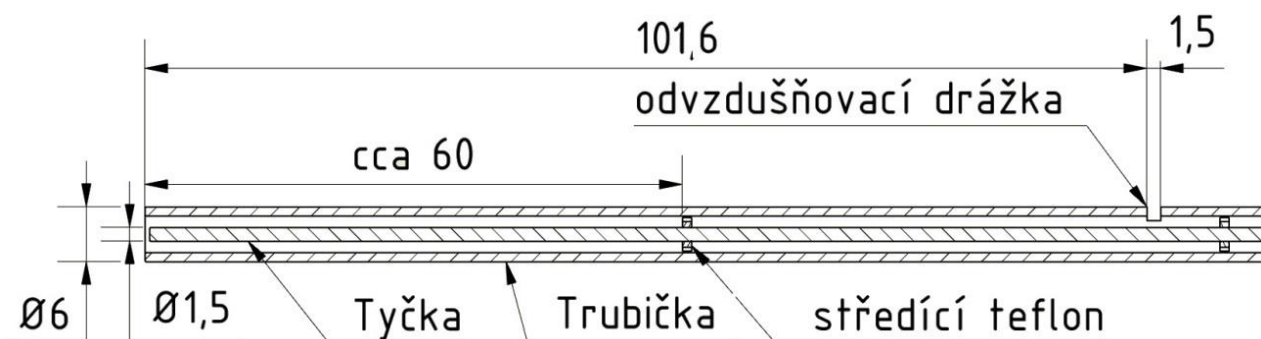
Nyní se budu podrobněji věnovat popisu jednotlivých součástí kapacitního hladinoměru, které je možné najít v obrázku č. 14 a v příloze.



14 - Rozklad sestavy hladinoměru s popisem jednotlivých součástí (schématický 3D model)

5.3.1 Díl č.1 - Trubička

Tato součást tvoří spolu s tyčkou proměnný kondenzátor hladinoměru. Jak je patrné na společném výkrese (obrázek č.), jedná se o trubičku s vnějším průměrem 6 milimetrů, se stěnou silnou 1 milimetr, neboli s vnitřním průměrem 4 milimetry. Podstatnou částí je odvodušňovací drážka umístěná 110 milimetrů od konce trubičky. Pro zajištění správné funkčnosti hladinoměru je nutné, dbát na správnou orientaci této drážky při sestavování hladinoměru. Materiál použitý na výrobu je ocel 316.



15 - Výkres složení trubičky, tyčky a středících teflonů

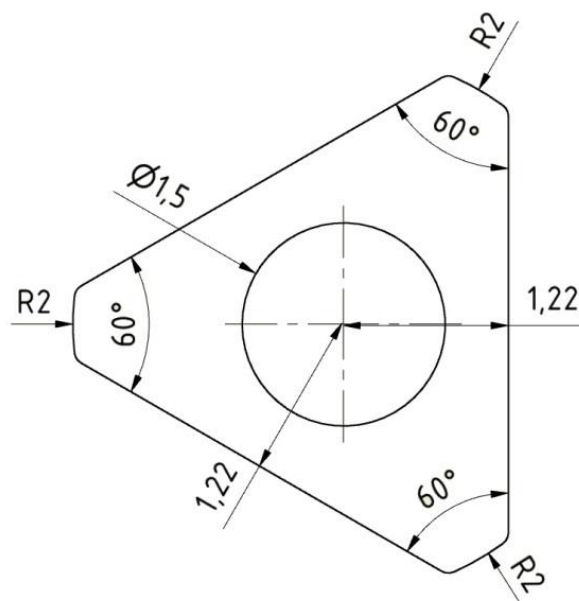
5.3.2 Díl č.2 - Tyčka

Ocelová tyčka je umístěna uvnitř trubičky tak, že spolu tvoří proměnnou kapacitu. Má stejnou délku jako trubička a vnější průměr má 1,5 milimetru. Vyrobená je taktéž z oceli 316.

Společný schématický výkres tyčky umístěné spolu s teflony uvnitř trubičky. Umístění teflonů nemusí být přesné, ale pokud možno v pravidelných rozestupech.

5.3.3 Díl č. 3 a 4 - Teflony

Tyto drobné součásti slouží k vystředění tyčky uvnitř trubičky. Funkci by sice odchylka souososti nijak nevadila, jelikož kapacita bude mít stále stejnou hodnotu, z prostého principu, že když se tyčka na jedné straně přiblíží tak se na jedné straně oddálí a prostor mezi tyčkou a trubičkou tak má stále stejný objem. Teflony tvoří pouze pojistku proti dotyku tyčky a trubičky, kdy by došlo ke zkratu. Na výkresu je vidět jak vypadá středící prvek. Je nutné, aby neutěsnil trubičku a tím zabránil správné funkci hladinoměru.

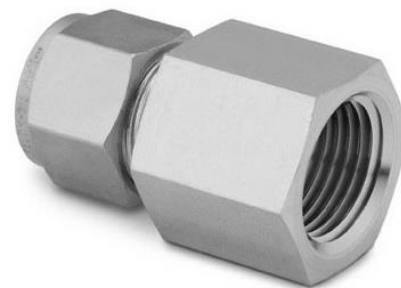


16 - Výkres středícího teflonu

Dalším teflonovým prvkem je váleček s průměrem 4 milimetry a s dírou s průměrem 1.5 milimetru a délkou 15 milimetrů. Umístěný je až na konci trubičky u krabičky a tvoří tak prvotní těsnící prvek.

5.3.4 Díly sloužící jako těsnící prvky

Jako utěsnění slouží v našem případě mechanické prvky patentovaného těsnícího spojení od společnosti Swagelok. Prvky konkrétně sloužící jako utěsnění hladinoměru k nádobě s tekutým dusíkem, můžeme najít v online katalogu firmy Swagelok [8] pod kódovým označením: SS-400-7-6BT. Tento prvek je složen ze čtyř částí – matice, dvou přesných kroužků a těla s vnitřním kuželovým trubkovým závitem a vnějším závitem, určeným pro onu matici. Na obrázku vpravo můžeme vidět, jak tato sestava má vypadat složená. Těsnící schopnost je daná tím, že jak se matice utahuje, vytvoří tlak na oba kroužky a tím jak je stlačí, je částečně zdeformuje. Tato deformace se přenesou i na trubičku a



17 - Složená součást SS-400-7-6BT [8]

dojde k vytvoření velmi pevného a naprosto těsného spoje. Jak toto spojení vypadá, můžeme vidět na obrázku č. 21 v kapitole 7. Různé formy těsnění. Druhým těsnícím prvkem je na stejném principu fungující spojení trubičky a krabičky.



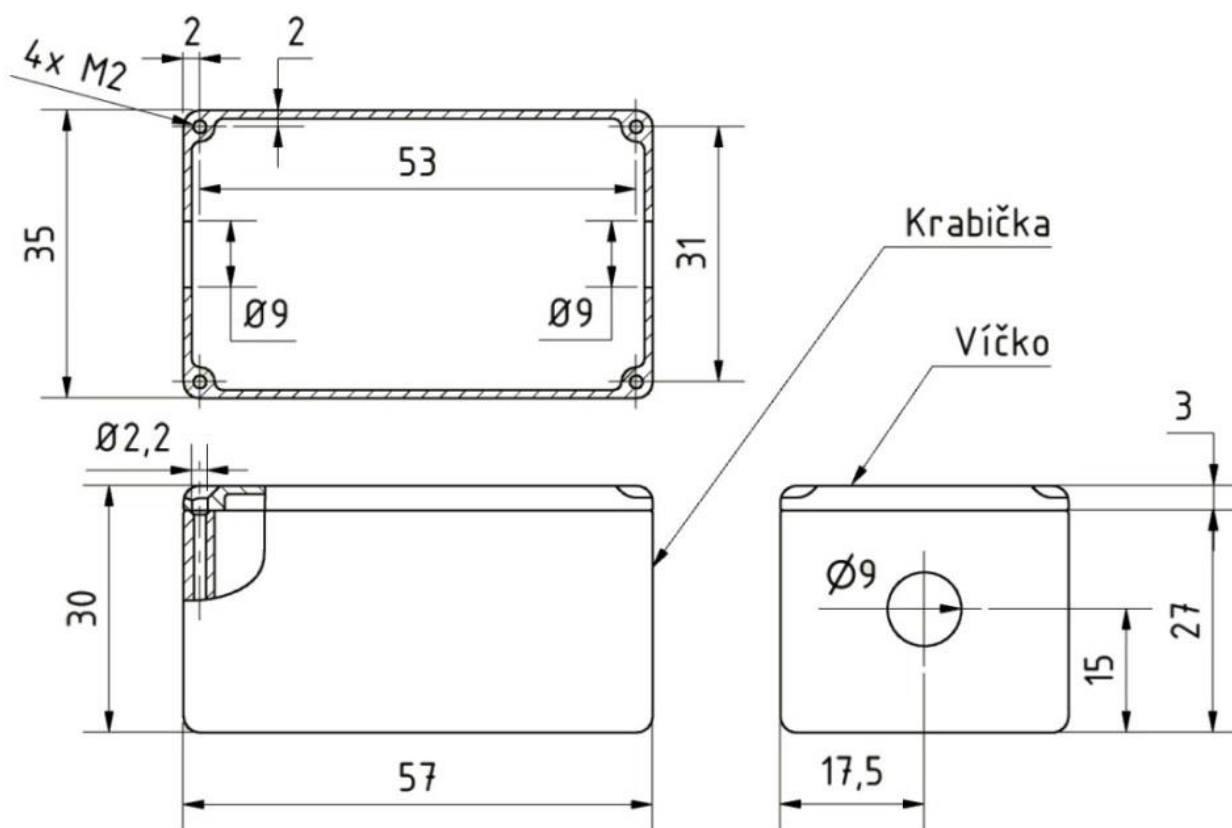
18 - prvky fitinku od firmy Swagelok [8]

5.3.5 Díl č. 5, 6 a 7 - Krabička elektroniky

Krabička s elektronikou je tvořena odlitkem víčka a krabičky spolu s BNC konektorem. Víčko je ke krabičce přichyceno 4 šroubky M2, což znamená, že v krabičce musí být vyrobeny 4 závitů M2, pro něž je třeba počítat s dírou o průměru 1,6mm. Tyto prvky je možné jednoduše na prakticky jakékoliv stojanové, nebo CNC vrtačce vytvořit do hliníkového odlitku. V případě že by byl na krabičku zvolen jiný materiál, například plast, je možné použít obyčejné samořezné šrouby, pro které mohou být díry připraveny již na samotném odlitku, čímž odpadne nutnost obrábění.

Uzavření krabička slouží primárně jako mechanická ochrana obvodu hladinoměru. Obvod je v ní však ještě zalit v pryskyřici, což celý hladinoměr dotěsní a navíc tato pryskyřice slouží jako ochrana proti jednoduchému okopírování obvodu. To, že je celý obvod zalitý v pryskyřici, má však ještě další důsledek, je tím zajištěna jeho vyšší teplotní stabilita a tedy i menší ovlivnění přesnosti měření.

Níže je přiložen výkres krabičky a víčka. Není však nutné dané rozměry dodržet, vše záleží na požadavku odběratele a na rozměrových požadavcích obvodu. V případě plastové krabičky je navíc možné místo šroubovacího víčka mít víčko, které se na krabičku jednoduše zacvakne. Tato úprava by dále vedla k zjednodušení a tak k nepatrnému zlevnění celého výrobku.



19 - Krabička elektroniky s víkem

6. Materiály

Pro výrobu elektronického zařízení jako je hladinoměr, je nutné použít mnoho různých materiálů. V našem případě je to ocel, použitá na smáčené části a rovněž na fitinky. Hliník, z něhož je vyrobena ochranná krabička s elektronickou. Teflon, z něhož jsou vytvořeny distanční vložky pro zajištění sousostí dílů číslo 1 a 2. Poslední hlavní byla pryskyřice, v níž je zalitý obvod za účelem ochrany nejenom z hlediska utěsnění celého hladinoměru, ale i jako ochrana proti snadnému okopírování daného obvodu.

Pokud se na použití materiálů podíváme z hlediska reverzního inženýrství, je vhodné se zamyslet, zda je nutné použít stejné materiály, nebo zda nebude stačit použít jiné a například levnější a snadněji opracovatelné materiály. Musíme tedy vzít v úvahu, zda má daný materiál nějaké opodstatnění, a zda je tedy nutné jeho zachování.

6.1 Oceli

U použití oceli bylo její opodstatnění ihned zřejmé, bylo nutné zajisti dobrou vodivost elektrického proudu pro zachování měřících schopností hladinoměru. Avšak i zde se nabízí otázka, jakou ocel použít, jelikož i to má vliv na výslednou cenu produktu a jeho trvanlivost a případně i přesnost měření v čase.

V tabulce níže je porovnání ocelí 316 a 304, jelikož vyvstala otázka, proč není použita na celou aplikaci pouze jedna ocel. Z porovnání chemického složení je patrné, že ocel 316 má díky obsahu molybdenu větší korozivzdornost, což opodstatňuje její použití. [10]

Tabulka č. 1 – Porovnání použitých ocelí

značení AISI	316	304
Značení ČSN	17 349	17240
	1.4404	1.4301
	X2CrNiMo 17-12-2	X5CrNi18-10
Vlastnosti a chemické složení		
Pevnost v tahu [N/mm ²]	520-680	520-720
Mez kluzu [N/mm ²]	220	210
Chrom	16,5-18,5%	17-19,5%
Nikl	10-12%	8-10,5%
Uhlík	<0,03%	<0,07%
Molybden	2-2,5%	0%

Díky obsahu Molybdenu ocel 316 lépe odolává korozi, například z mořské vody.

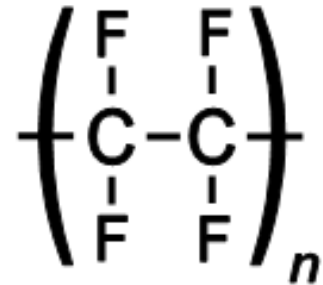
6.2 Hliník

Další materiál použitý je hliník na obal obvodu hladinoměru. Zde zvláště v dnešní době vyvstane otázka, proč nebyl použit nějaký plast, který je levnější a snadněji opracovatelný pro danou potřebu. U plastu však narazíme s požadavkem na mechanickou a teplotní odolnost v porovnání s hliníkem, jelikož obal slouží zároveň spolu s pryskyřicí jako finální

zatěsnění celého hladinoměru. Pokud však budeme uvažovat o aplikaci pro běžné kapaliny, například obyčejnou vodu, zde bude mít plast mnohem větší smysl. Při použití plastu nebude potřeba mít víčko přišroubované, ale postačí pouze jednoduše zacvaknuté, což dále zlevní výrobu. Jedním z hledisek ale může být rovněž estetika a reprezentativnost celého produktu, kde bude mít hliník nad plastem jistě navrch.

6.3 Teflon

Jako další materiál je zde teflon, což je z chemického hlediska Polytetrafluorethylen označovaný jako PTFE. Opodstatnění má ve formě zamezení kontaktu tyčky s trubičkou, jak jsem již uvedl výš. Při tvorbě vlastního hladinoměru je potřeba se podívat i na to zda by tyto prvky nešli nahradit jiným, případně levnějším materiálem. Pro použití v tekutém dusíku budeme těžko



20 - vzorec teflonu – Vlastní tvorba

hledat náhradu, jelikož se jedná o dosti extrémní prostředí, rovněž v dalších kapalinách jako rozpouštědla a různá paliva. Pokud by však šlo o použití pro vodu, bylo by možné opět použít obyčejný plast podobně jako by bylo možné ho použít u krabičky s obvodem.

Vysoká tepelná stabilita v teplotním rozsahu cca -200°C - $+200^{\circ}\text{C}$. Velmi nízký třecí koeficient. Použitelný i ve vakuu. Chemické reakce pouze s alkalickými kovy, fluorem a několika málo chemikáliemi s jeho obsahem.

6.4 Epoxidová pryskyřice

Poslední významněji zastoupený materiál v našem případě je epoxidová pryskyřice. Tento materiál zde představuje pouze ochranný prvek řídicího obvodu z hlediska mechanické ochrany a ochrany teplotního ovlivnění obvodu. Epoxidová pryskyřice je polymer syntetického původu. Jde o viskózní kapalinu, která po vytvrzení přidáním nějakého tvrdidla vytvoří pevnou odolnou strukturu.

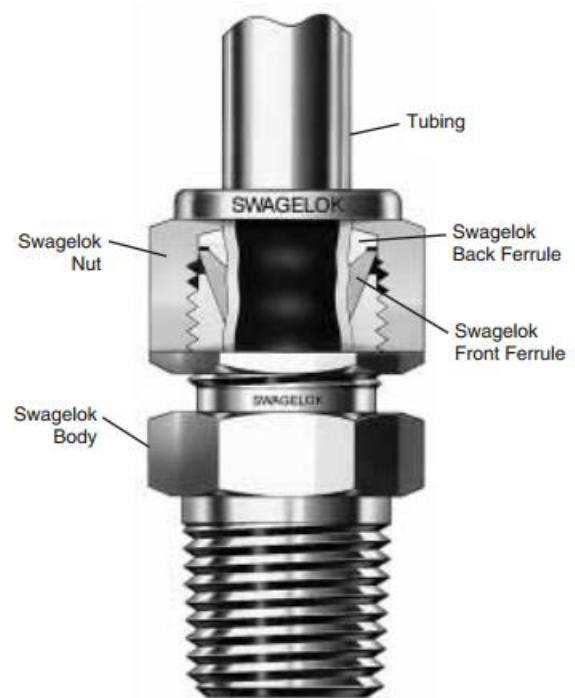
7. Různé formy těsnění

Pokud chceme snímat hladinu nějaké kapaliny, přináší to s sebou mnoho překážek. Mezi nejvýznamnější patří těsnost nádoby s kapalinou. Těsnost je nutné zajistit u látek,

jejichž výpary jsou jedovaté, korozivní, či jinak škodlivé svému okolí a lidem v okolí. U ostatních látek je poté utěsnění minimálně vhodné, ať už z hlediska ekonomického, či jen z prostého uchování čistoty dané kapaliny.

V našem případě je kapalinou tekutý dusík. Tato látka sice není přímo zdraví škodlivá, jelikož v plynném skupenství tvoří 78% objemu atmosféry, ale při zvyšování obsahu plynného dusíku v prostředí může dojít k postupnému dušení, ztrátě vědomí a až relativně netraumatické smrti vlivem nedostatku kyslíku. Utěsnění je také nutné zajistit z hlediska vysokého teplotního rozdílu s okolím, tudíž by se nám dusík velmi rychle vypařoval.

Těsnost hladinoměru, jež je předmětem mé práce, je zajištěna mechanicky a to patentovaným systémem firmy Swagelok. [8] Jde o jednoduchý princip, kdy jsou pomocí utahování závitu k sobě velkou silou stlačeny přesně obrobené kroužky se zkosením, což způsobí jejich lehkou deformaci a velmi těsné tak obemknou trubičku. Tyto prvky jsou zde dva, jeden tvoří spoj nádoby s kapalinou a hladinoměru a druhý tvoří spoj trubičky s krabičkou elektroniky. Dalším těsnícím prvkem je pak velmi rozšířený kuželový trubkový závit, který svou konstrukcí zajišťuje dobré těsnící schopnosti. Toto řešení je nejen mechanicky, ale převážně chemicky a teplotně velmi odolné. Nevýhodou bezpochyby je náročnost na výrobu z hlediska nutnosti dosažení velmi vysokých přesností výroby těsnících kroužků a příslušných závitů.



21 - princip fitinku firmy Swagelok [8]

Swagelok není jediným výrobcem tohoto typu těsnících spojů, například firma Parker Hannifin nabízí prakticky totožný výrobek [15] a bylo by tedy možné vybírat z celé řady nabídek. Jiné společnosti nemusí například dosahovat takové těsnosti za cenu nižší ceny, ale pokud by maximální těsnost spoje nebyla nutná, byl by to prostředek jak výrobek zlevnit.

Při aplikaci hladinoměru této konstrukce na jiný druh kapaliny se pro zlevnění výroby a následně i výrobku se mohou použít jiné konvenčnější řešení. Pro použití s kapalinou za běžných teplot a tlaků je možné použít obyčejných těsnících materiálů. V tabulce níže jsem uvedl některé druhy těsnících materiálu a jejich vlastností, včetně příkladů kapalin, pro něž je použití daných materiálů vhodné a nedojde k jejich degradaci a následné ztrátě těsnících schopností.

Tabulka č. 2 – Druhy těsnících materiálů a jejich vlastnosti

EPDM (EP pryž)	-30°C až 140°C, + Ozón, UV, parotěsnost, -Ketony, alkoholy, kyselina octová, minerální kyseliny -Minerální oleje, hydrokarbonáty
PTFE (Teflon)	-10°C až 150°C + Činidla a rozpouštědla, netoxický, - Znehodnocen pouze čistým alkalickým kovem
SILIKON	-50°C až 200°C + oxidační činidla, solné roztoky, alkalické a kyselé roztoky, elektrický izolant
VITON	-15°C až 220°C + živočišné a rostlinné oleje, benzín, topné oleje, - ester, ketony, anhydrid kyseliny octové
PRYŽ NITRIL	-10°C až 100°C + minerální oleje, oleje, tuky, minerály, rozpouštědla, - Aromatické a chlorované hydrokarbonáty, ketony, estery, alkoholy

Pro pořádek zde uvedu, že i když si v tabulce můžeme všimnout, že teflon je určen jako těsnící hmota pouze pro teploty -10°C až 150°C, tak je v našem případě vystaven teplotám pod -200°C, avšak v tomto využití není zamýšlen jako těsnící materiál ale pouze zajišťuje souosost prvků kondenzátoru a na to vlastnosti teflonu dostačují i při těchto extrémních teplotách.

Je nutno uvést, že veškeré mechanické prvky v současné době firma MIKROTECHNA PRAHA a.s. nakupuje, jelikož jde o normalizované díly vhodné pro toto použití a pouze krabička je dle vlastního návrhu, tak aby plně vyhovovala rozměrovým parametrům a nárokům řídicího obvodu. Dochází tedy pouze k výrobě řídicího obvodu a následné kompletaci.

8. Elektronika snímače

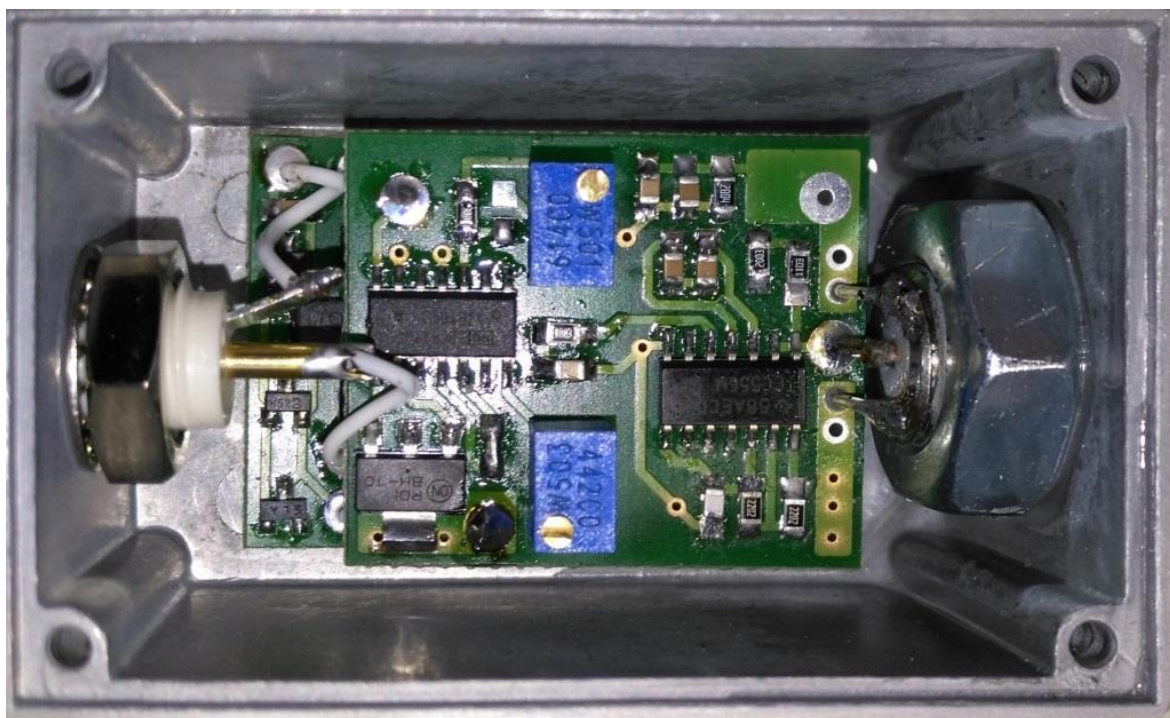
V této kapitole se budu věnovat elektronice kapacitního hladinoměru. Přiblížím princip jeho funkce a nastíním, z jakých součástí se skládá a jakou mají funkci.

Princip funkce tohoto konkrétního kapacitního hladinoměru je ve své podstatě jednoduchý. Uvnitř krabičky je obvod se dvěma oscilátory, jež emitují po správném naladění souhlasné vlny. Jeden obvod je neměnný a druhý, napojený na kondenzátor tvořený trubičkou a tyčkou ponořenou do měřeného média, tvoří obvod druhý, proměnný. Průběh oscilační vlny druhého obvodu je zcela závislý na rychlosti nabíjení kondenzátoru, což je závislé na tom, jak moc je sonda ponořena v měřené kapalině. Vzájemný časový rozdíl oscilací poté vyvolá ve výstupním obvodu změnu proudu, což následně je možné změřit a jsme schopni tuto změnu vyhodnotit jako změnu výšky hladiny média.

Proměnou veličinou mění kapacitu a tím i rychlost nabíjení kondenzátoru je permitivita vnitřního prostředí kondenzátoru. Ta se mění s tím, jak se mění výška hladiny měřícího média.

Jedním z požadavků pro zpětné inženýrství tohoto hladinoměru, bylo zachovat shodné měřící charakteristiky a současně vyhovět požadavku aby měřící veličina byla současně napájecí pro obvod, jako je tomu u originálu, což pro nás znamená vlastní spotřebu obvodu pod 4mA, jelikož je požadavek na měřící rozsah 4-20mA

8.1 Popis obvodu



22 - fotografie obvodu umístěného v krabici (před zalitím ochrannou pryskyřicí) – Foto Jan Landík

Jak můžeme vidět na obrázku č. 22, řídicí obvod se skládá ze dvou částí. Dolní část slouží pro odfiltrování rušících vlivů znehodnocujících výstupní signál a horní je samotný řídicí obvod hladinoměru. Na horním jsou vidět dva modře zbarvené proměnné kondenzátory pro správné nastavení obvodu, a dva časovače TLC556, jejichž signály ovlivněné kondenzátory se posléze porovnávají. Na této fotografii je také patrné zapojení samotných komponent sondy ponořované do měřeného média a připojení k výstupnímu BNC konektoru.

8.2 Celková kapacita snímače hladiny

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že hlavním co nás zajímalo, byla samotná kapacita sondy. Od ní se odvíjelo veškeré nastavení hladinoměru. Bylo potřeba zjistit, jakou kapacitu bude mít sonda při využití plného měřicího rozsahu a při nulové hladině média. Tyto dva stavy bylo poté potřeba využít jako hraniční stavy pro nastavení oscilátorů, tak aby výstupní signál řídicího obvodu byl v požadovaném rozsahu výstupního proudu.

8.2.1 Rozvaha

Pro zajištění správné funkčnosti bylo nutné znát celkovou kapacitu samotného snímače fungujícího jako válcový kondenzátor. Snímač je tvořen trubičkou, v níž je umístěna tyčka a středícími teflony zajišťující souosost těchto součástí a teflonový váleček na konci u krabičky zajišťující primární utěsnění. Důležitým prvkem je drážka v trubičce, určující měřicí rozsah. Je tedy zřejmé, že celková kapacita snímače se tak skládá ze tří složek, kapacita části s teflony, části nesmáčené a části smáčené tekutým dusíkem. Tím hlavním co nás zajímalo, byla změna kapacity smáčené části, a její vliv na celkovou kapacitu.

Celková kapacita se tedy spočítá jako součet jednotlivých kapacit:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

Kde C je celková kapacita, C_1 je kapacita smáčené části, C_2 je kapacita části nesmáčené a C_3 je kapacita části s teflony.

8.2.2 Výpočet celkové kapacity a periody signálu

Kapacitu C válcového kondenzátoru [12] určíme jako podíl náboje Q na plochách a napětí U mezi nimi:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Velikost napětí mezi těmito plochami se může chápat jako práce, kterou je třeba vykonat při přenesení jednotkového náboje z jedné plochy na druhou (z trubičky na tyčku, či naopak).

$$C = \frac{Q}{U} = \int_a^b \frac{F}{Q} dx$$

Podíl elektrické síly F a náboje Q je definován jako intenzita E elektrického pole.

$$U = \int_a^b E dx$$

Kde x je vzdálenost od osy obou válcových ploch.

Intenzita elektrického pole mezi válci je dána intenzitou elektrického pole vnitřního válce. Vnější válec k intenzitě elektrického pole mezi elektrodami nepřispívá. Poloměr válce je roven d .

$$U = \int_a^b \frac{d\sigma}{\epsilon_0} \frac{1}{z} dx$$

Vytkneme konstanty před integrál a integrál vypočítáme.

$$U = \frac{d\sigma}{\epsilon_0} \int_a^b \frac{1}{z} dx = \frac{d\sigma}{\epsilon_0} [\ln x]_a^b = \frac{d\sigma}{\epsilon_0} (\ln b - \ln a)$$

$$U = \frac{d\sigma}{\epsilon_0} \ln \frac{b}{a}$$

Protože neznáme nábojovou hustotu σ , ale celkový náboj Q , vyjádříme ji pomocí povrchu válce.

$$\sigma = \frac{Q}{2\pi d l}$$

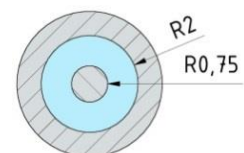
Nábojovou hustotu σ dosadíme zpět do vzorce a výraz upravíme.

$$U = \frac{d}{\epsilon_0} \frac{Q}{2\pi d l} = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 l}$$

Protože kapacita kondenzátoru je dána vztahem $C = \frac{Q}{U}$, můžeme ji z posledního vzorce vyjádřit. Obecný vzorec pro výpočet kapacity válcového kondenzátoru tedy je:

$$C = 2\pi \epsilon_0 \epsilon_r \frac{l}{\ln \frac{a}{b}}$$

- $\epsilon_r =$ permitivita
- $\epsilon_0 =$ permitivita
- $a =$ poloměr tyčky = 0,75 milimetru
- $b =$ vnitřní poloměr trubičky = 2 milimetru
- $l =$ délka kondenzátoru s médiem dané permitivity



23- Průřez kondenzátorem

Následně vypočítáme jednotlivé složky pro případy, kdy je hladina dusíku rovna výšce 0 milimetrů a pro případ kdy je dosaženo maximální změřitelné hladiny, což je v našem případě 101,6 milimetru.

Celkový vzorec má tedy tvar:

$$C = 2\pi\epsilon_0 \left(\epsilon_1 \frac{l_1}{\ln \frac{a}{b}} + \epsilon_2 \frac{l_2}{\ln \frac{a}{b}} + \epsilon_3 \frac{l_3}{\ln \frac{a}{b}} \right)$$

Tabulka níže pak uvádí hodnoty potřebné pro výpočet a výslednou kapacitu.

Tabulka č.3 – Výpočet kapacity			Stav hladiny dusíku v kondenzátoru	
	Označení	Jednotky	Prázdný	Plný
Kapacita celková	C	pF	155,30	180,07
Smáčené části	C ₁	F	0,00	82,41
Nesmáčené části	C ₂	F	133,86	76,23
Teflonů	C ₃	F	21,44	21,44
Permitivity jednotlivých materiálů				
Vakuua	ε ₀		8,854E-11	8,854E-11
Dusíku [11]	ε ₁		1,43	1,43
Vzduchu	ε ₂		1	1
Teflonu	ε ₃		2,1	2,1
Rozměry				
Výška sloupce dusíku	l ₁	M	0	0,1016
Výška sloupce vzduchu	l ₂	M	0,236	0,1344
Celkové rozměry teflonů	l ₃	M	0,018	0,018
Vnitřní poloměr trubičky	a	M	0,002	0,002
Vnější poloměr tyčky	b	M	0,00075	0,00075

Jak si můžeme všimnout, z výsledků je patrný rozdíl v kapacitě způsobený přítomností tekutého dusíku v sondě hladinoměru. Tento rozdíl způsobuje změnu rychlosti nabíjení kondenzátoru, a tedy časovou změnu periody signálu oscilátoru proměnného obvodu.

Perioda signálu se spočítá dle vzorce:

$$T = \ln(2) + C * (R_1 + 2R_2)$$

Po dosazení vzorce po výpočet kapacity C:

$$T = \ln(2) + 2\pi\epsilon_0 \left(\epsilon_1 \frac{l_1}{\ln \frac{a}{b}} + \epsilon_2 \frac{l_2}{\ln \frac{a}{b}} + \epsilon_3 \frac{l_3}{\ln \frac{a}{b}} \right) * (R_1 + 2R_2)$$

Tabulka níže uvádí hodnoty potřebné pro výpočet periody signálu.

Tabulka č. 4 – Výpočet periody signálu			Stav hladiny dusíku v kondenzátoru	
			Prázdný	Plný
	Označení	Jednotky		
Perioda signálu	T	s	0,69321	0,69322
Odpor 1	R ₁		339000	339000
Odpor 2	R ₂		22000	22000
Celková kapacita	C	pF	155,30	180,07

Tato nepatrná změna vyvolaná odlišnou kapacitou kondenzátoru stačí k vyvolání změny výstupního proudu, čímž dochází k zaznamenání změny hladiny měřeného média.

8.3 Možné vznikly rušení a přenosu signálu

Po úspěšném naladění bylo potřeba se vyvarovat vzniku chyb měření a zabezpečit stálou přesnost snímače. Za tímto účelem bylo potřeba promyslet možné vznikly rušení.

Rušení může být vnitřní a vnější.

Vnitřní rušení může vznikat, protože měronosná veličina slouží i pro napájení celého hladinoměru, proto bylo potřeba zajistit, aby měl odběr menší nebo maximálně stejný než požadované 4 mA. Dále bylo potřeba odfiltrvat periodický odběr filtrací vnitřního zdroje.

Vnější rušení se nedá řešit úpravou samotného hladinoměru, ale bylo potřeba se zaměřit na samotné umístění a zapojení hladinoměru na místě. Vnější rušení totiž může vznikat díky vlastní indukci napájecího kabelu, proto je nutné zajistit, aby šlo o kabel stíněný a vedený pokud možno samostatně a daleko od nějakých cívek či magnetů. Současně je vhodné, aby kabel byl co možná nejkratší. Teplotní stabilitu prostředí řešit potřeba nebylo, jelikož se nepředpokládá výrazněji teplotně proměnné prostředí a běžné drobné změny dokáže zmírnit epoxidová pryskyřice, v níž je zalit řídicí obvod hladinoměru.

9. Závěr

Při zpracovávání tématu reverzního inženýrství a popisování různých typů hladinoměru jsem byl sám překvapen, na kolik nových informací jsem narazil. Doufám tedy, že uvedené skutečnosti budou podobně přínosné i pro případné budoucí čtenáře, nebo alespoň podnítí jejich zvědavost na toto poli.

Hlavní náplní mé práce však bylo popsat průběh procesu reverzního inženýrství kontinuálního kapacitního hladinoměru určeného ke spojitému měření výšky hladiny tekutého dusíku. Důvodem byla snaha o převedení jeho výroby z Ameriky do Evropy. Práce proběhla ve spolupráci s firmou MIKROTECHNA PRAHA a.s.

Popsal jsem, jak probíhal samotný proces reverzního inženýrství u mechanických komponent a stručně i u řídicího obvodu. Pro hlavní díly a sestavu hladinoměru jsem vytvořil výkresy a modely v programu Inventor od společnosti Autodesk. Stručně jsem uvedl, z jakých materiálů jsou vytvořeny, včetně jejich vlastností a zda mají tyto materiály své opodstatnění a uvedl jsem příklady možných úpravy.

Povedlo se dosáhnout požadovaného cíle, jelikož proces reverzního inženýrství proběhl s úspěšným výsledkem a prototyp po drobných korekcích parametrů řídicího obvodu fungoval v požadovaných mezích tolerance, kdy celková přesnost byla s odchylkou menší než 2%, a bylo tak možné hladinoměr začít vyrábět. Výroba probíhá nákupem jednotlivých komponent, které se následně sestavují a kompletují s řídicím obvodem.

10. Literatura

- [1] - Draken Harald Hårfagre. *Draken Harald Hårfagre* [online]. [cit. 2017-07-04]. Dostupné z: <http://www.drakenexpeditionamerica.com>
- [2] - La Grace. *La Grace* [online]. [cit. 2017-07-04]. Dostupné z: <https://www.lagrace.cz/cs>
- [3] - Ruslet: Tupolev Tu-4 ('Bull') / B-4. *Ruslet* [online]. [cit. 2017-07-05]. Dostupné z: <http://ruslet.webnode.cz/technika/ruska-technika/letecka-technika/a-n-tupolev/tu-4-bull/>
- [4] - I letos se na pařížském autosalonu objevili špioni, auta zkoumali desítky minut. *Novinky.cz* [online]. [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/auto/349768-i-letos-se-na-parizskem-autosalonu-objevili-spioni-auta-zkoumali-desitky-minut.html>
- [5] - Úvod do měření hladiny - Přehled snímačů hladiny. *Jsp.cz* [online]. [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: http://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam_dle_kategorii/snimace_hladiny/teorie-hladina/uvod/prehled-snimacu-hladiny.html#prehled
- [6] - A New Kind of Spy. *NewYorker* [online]. [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <http://www.newyorker.com/magazine/2014/05/05/a-new-kind-of-spy>
- [7] - Operating Principle of Capacitance Level Sensors. *Learning Instrumentation And Control Engineering* [online]. [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: <http://www.instrumentationtoolbox.com/2013/02/how-capacitance-level-sensor-works.html#axzz4mu3amR7W>
- [8] - SS-400-7-6BT. *Swagelok* [online]. [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: <https://www.swagelok.com/en/catalog/Product/Detail?part=SS-400-7-6BT>
- [9] - Mikrotechna Praha a.s. *Mikrotechna.cz* [online]. [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: <http://www.mikrotechna.cz/index.php/cz/o-nas>
- [10] - Převodní tabulka norem nerezových materiálů. *INOX, spol. s r. o. - NEREZOVÝ HUTNÍ MATERIÁL* [online]. [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/prevodni-tabulka-norem-nerezovych-materialu-rubrika.html>
- [11] - Dielectric Constant of Nitrogen. *Dortmund Data Bank* [online]. [cit. 2017-06-10]. Dostupné z: http://www.ddbst.com/en/EED/PCP/DEC_C1056.php
- [12] – SADOVSKÝ, Petr, KAPACITA KONDENZÁTORŮ ENERGIE ELEKTRICKÉHO POLE DIELEKTRIKA, Ústav fyziky FEKT VUT v Brně, dostupný také z http://fyzika.feec.vutbr.cz/~petsad/download/prednasky/16_Kapacita.pdf
- [13] – *Sittech - Specialisté na těsnění* [online]. [cit. 2017-07-15]. Dostupné z: <http://sittech.cz/index.php>
- [14] - *Specifikace těsnících materiálů* [PDF]. [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pdf/specifikace-tesnicich-materialu-epdm-silikon-ptfe-viton-nbr.pdf>

- [15] - Compression Fitting - A-LOK® Series. *Parker* [online]. [cit. 2017-07-14]. Dostupné z: <http://ph.parker.com/us/17554/en/6000-psi-two-ferrule-compression-tube-fitting-a-lok-series>
- [16] - SILBER, Adam. *La Grace pod plnými plachtami* [online]. In: . [cit. 2017-07-15]. Dostupné z: https://www.facebook.com/pan.manta/media_set?set=a.406551496067605.93669.10001382758255&type=3
- [17] - *Three-dimensional laser scanning has unlocked some of the secrets of the Colosseum* [online]. In: . [cit. 2017-07-15]. Dostupné z: <http://www.sciencefocus.com/feature/environment/time-scanners-how-was-colosseum-designed>
- [18] - *Měření stavů - jak měříme?* [online]. In: . [cit. 2017-07-15]. Dostupné z: <http://meteoaktuality.blog.cz/en/1311/mereni-stavu-jak-merime>

11. přílohy

1. Výkres krabičky s víčkem
2. Výkres sestavy kondenzátoru
3. Výkres teflonových komponent
4. 3D schéma rozložené sestavy