

Česká zemědělská univerzita v Praze  
Technická fakulta

# **Snímače pro zabezpečovací techniku**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Autor diplomové práce: Jan Doubek

PRAHA 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace

Akademický rok 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Jan Doubek**

obor Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze  
čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Snímače pro zabezpečovací techniku**

### Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Literární rešerše uvedené tematiky
4. Návrh kontaktního plošného inteligentního systému
5. Realizace kontaktního plošného inteligentního systému
6. Ověření kontaktního plošného inteligentního systému
7. Závěr
8. Seznam literatury
9. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran


Doporučené zdroje:

- [1] Hrbáček, J.: Komunikace mikrokontroléru s okolím 1, Ben, Praha 2002
- [2] Skalický, P.: Mikroprocesory řady 8051, Ben, Praha 2002
- [3] Pinker, J.: Mikroprocesory a mikropočítače, Ben, Praha 2004
- [4] Smékal, Z., Sysel, P.: Signálové procesory, Ben, Praha 2006
- [5] Technická dokumentace měřicího systému Plantograf V07, Praha 2009

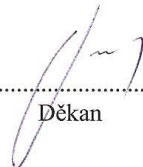
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011

  
.....  
Vedoucí katedry



  
.....  
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

---

### **Prohlášení**

Tímto prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím zdrojů uvedených v příložené bibliografii a pod vedením prof. Ing. Jaromíra Volfa, DrSc.

V Praze dne .....

Podpis.....

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval prof. Ing. Jaromíru Volfovi, DrSc. Především za ochotu, odborné vedení a mnoho cenných informací, dále pak Ing. Petru Koderovi za pomoc při realizaci technické části a Ing. Petru Novákovi za podporu při tvorbě softwaru.

Zvláštní poděkování patří i mým rodičům za podporu při studiu.

## **Snímače pro zabezpečovací techniku**

*Abstrakt:* Tato práce je zaměřena na taktilní snímače, používané v průmyslu, se zdůrazněním jejich využití v zabezpečovací technice a je rozdělena na dvě části. V první části podávám přehled o taktilních čidlech, která se v současné době používají. V druhé části popisuji realizaci mnou navrženého plošného inteligentního systému, využívajícího vodivý elastomer, a možnost uplatnění tohoto systému v zabezpečovací technice.

*Klíčová slova:* taktilní senzor, elastomer, zabezpečovací technika

## **Sensors for Security Systems**

*Summary:* This thesis concentrates on the tactile sensors used by the industry and in the security systems especially. The thesis has two main parts. In the first part I give an overview of the presently used tactile sensors. In the second part I describe an implementation of an intelligent system I have designed and its possible use in the security systems. The system described is the planar intelligent system with an application of an conductive elastomer.

*Key words:* tactile sensor, elastomer, security systems

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE A METODIKA</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>LITERÁRNÍ REŠERŠE UVEDENÉ TÉMATIKY</b> .....	<b>4</b>
3.1	DĚLENÍ TAKTILNÍCH SENZORŮ .....	6
3.1.1	<i>Taktilní snímače s elastomery</i> .....	7
3.1.2	<i>Senzory a snímače s tenzometry</i> .....	11
3.1.3	<i>Kapacitní senzory</i> .....	12
3.1.4	<i>Optovláknové senzory</i> .....	12
3.1.5	<i>Smart textilie</i> .....	18
3.2	ZABEZPEČOVACÍ PODLOŽKY .....	19
3.2.1	<i>Bezpečnostní nášlapná rohož CONTRA</i> .....	19
3.2.2	<i>Nášlapné rohože Volmat</i> .....	20
3.2.3	<i>Plantograf</i> .....	23
3.3	ELASTOMER .....	24
<b>4</b>	<b>NÁVRH KONTAKTNÍHO PLOŠNÉHO INTELIGENTNÍHO SYSTÉMU</b> .....	<b>28</b>
4.1	BLOKOVÉ SCHÉMA .....	28
4.2	SNÍMAČ .....	29
4.3	MĚŘICÍ ČÁST .....	32
4.4	NAPÁJENÍ .....	36
<b>5</b>	<b>REALIZACE</b> .....	<b>37</b>
5.1	NÁVRH DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	37
5.2	VÝROBA DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	38
5.3	OSAZENÍ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK NA DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	38
<b>6</b>	<b>OVĚŘENÍ</b> .....	<b>40</b>
6.1	CHYBY MĚŘENÍ SYSTÉMU ELASTOMERU .....	40
6.2	MĚŘENÍ ODPORU SENZORU V ZÁVISLOSTI NA ZATÍŽENÍ .....	42
6.3	ROZHRAŇÍ.....	43
6.4	KOMUNIKACE S PC .....	43
6.5	VIZUALIZACE .....	44
6.6	TECHNICKÉ PARAMETRY .....	45
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURA</b> .....	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>49</b>

# 1 Úvod

Pod pojmem ochrana se rozumí stabilní, relativně předvídatelné prostředí, ve kterém může jedinec nebo skupina sledovat své cíle bez rušení, ohrožení a bez strachu z násilí. Zabezpečovací systém pro ochranu lidského života a majetku vznikl již v raném starověku. Pro zajištění ochrany existují různé druhy prostředků. Nejstarším typem je mechanické zabezpečení objektu, využívané pro klasickou ochranu, režimová ochrana je opatřena souborem organizačně administrativních postupů a za fyzickou ochranu objektů nebo osob zodpovídá hlídací služba (policisté, vrátní, apod.). Relativně novým druhem zabezpečení jsou technická zařízení, která jsou v návaznosti na rychlost zákroku zásahové jednotky nejspolehlivější a nejhůře překonatelná. Do skupiny technických ochranných zařízení patří elektronické zabezpečovací systémy, které slouží pro ochranu lidského života a osobního majetku. Prvek, bez kterého by tyto systémy nemohly fungovat, a který zároveň tvoří nejdůležitější část tohoto systému, se nazývá snímač.

Snímače pro zabezpečovací techniku slouží k rychlé a spolehlivé detekci ohrožení osob a majetku, k následnému předání informace a případnému spuštění návazných zařízení. Ohrožení nemusí být chápáno jen jako vloupání či přepadení. Snímače také detekují únik plynu nebo vody či případný požár, hlídají stavy různých zařízení, jako je např. kotel nebo dodávka elektrické energie. Dále je lze použít ke kontrolování a povolování průchodů a k ovládání různých zařízení (světla, klimatizace, aj.). Celý systém se skládá z několika vzájemně propojených prvků, a to buď drátovou, nebo bezdrátovou technologií.

Ve své práci se zaměřím na zabezpečovací podložky, které fungují na principu váhových senzorů a které se dají využít také jako nášlapné kontakty. Zabezpečovací podložky jsou určeny k bodové ochraně střežených předmětů (např. zboží v obchodech, televizorů, počítačů, sošek a dalších cenných předmětů). Signalizují nadzdvížení či posun hlídaného předmětu, popř. jeho odcizení a jsou vhodné pro využití v obchodních domech, hotelech, muzeích, galeriích, kostelech, bytech, bankách, kancelářích, školách apod. Jejich použití nevyžaduje žádný zásah do hlídaného předmětu.

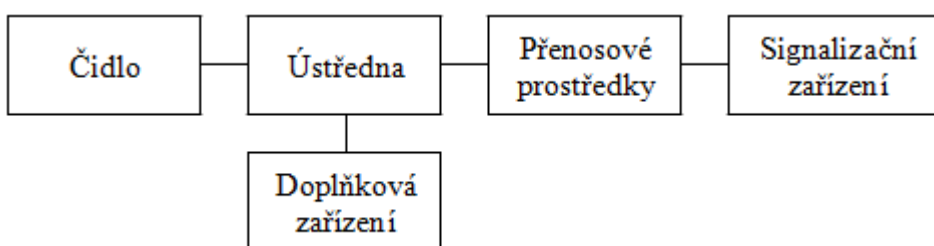
Vzhledem k tomu, že je tento jednoduchý a účinný systém v České republice téměř neznámý, rozhodl jsem se touto tematikou více zabývat, vysvětlit princip jejího fungování a navrhnout a vyrobit vlastní zabezpečovací podložku.



## 2 Cíl práce a metodika

Elektrický zabezpečovací systém (dále jen EZS) je soubor prvků schopných dálkově, opticky, nebo akusticky signalizovat na určeném místě přítomnost, vstup, nebo pokus o vstup narušitele do střežených objektů a prostorů.

Každý EZS je složen z několika základních prvků, které plní své specifické funkce a v souhrnu vytvářejí tzv. zabezpečovací řetězec. Patří sem čidlo neboli senzor, ústředna, přenosové prostředky, signalizační zařízení a doplňková zařízení, viz obr. 1.



Obr. 1- Blokové schéma zabezpečovacího řetězce EZS [2]

Senzor je prvek bezprostředně reagující na fyzikální změny (jevy), které souvisejí s narušením střeženého objektu či prostoru, nebo na nežádoucí manipulaci se střeženým předmětem. Při identifikaci stavu narušení reaguje senzor vysláním poplachového signálu nebo zprávy. Ústředna přijímá informace ze senzorů podle stanoveného programu a požadovaným způsobem je zpracovává. Ústředna také umožňuje ovládání a indikaci zabezpečovacího systému, zajišťuje jeho napájení a zprostředkovává následný přenos informací. Přenosové prostředky zajišťují přenos vstupních informací z ústředny do místa signalizace, případně povolů opačným směrem. Signalizační zařízení převádí předané informace na vhodný signál (vyhlašuje poplach nebo výstrahu). Doplňková zařízení usnadňují ovládání systému nebo umožňují realizovat některé speciální funkce.

Senzory EZS lze dělit na napájené a nenapájené. Napájené senzory potřebují pro svůj provoz elektrickou energii. Dále se dělí na senzory aktivní a pasivní. Aktivní senzory, ve smyslu zabezpečovací techniky při zjišťování charakteristických rysů nebezpečí, vytvářejí své pracovní prostředí aktivním zásahem do okolního prostoru (např. vysláním elektromagnetického nebo ultrazvukového vlnění). Proto je možné tyto senzory poměrně snadno detekovat a určovat jejich mrtvé zóny. Jsou schopny porovnávat vstupní signály s předem definovanými kritérii (rychlost, frekvence, amplituda, směr) před vysláním

poplachového signálu nebo zprávy. Pasivní senzory, které pouze pasivně registrují fyzikální změny ve svém okolí, např. pasivní infračervené čidlo reaguje jen na změnu teplotního gradientu. Na rozdíl od aktivních sensorů jsou tyto obtížně identifikovatelné běžnými technickými prostředky (např. detekce PIR čidla infravizorem). Vzhledem k úzkému sortimentu nenapájených sensorů, používaných v zabezpečovacích systémech, lze tyto senzory rozdělit podle aktivační činnosti na destrukční senzory, které jsou schopny pouze jednorázové funkce - při vyhlášení poplachu dojde k jejich zničení (fóliové polepy, poplachové fólie, tapety a skla) a nedestrukční senzory, při jejichž aktivaci dochází ke vratným změnám (vibrační a magnetický kontakt, mikropsínač apod.). [2]

Cílem práce je navrhnout a sestrojít snímač, který je určený ke střežení cenných předmětů. Snímač bude fungovat na principu hlídání rozložení tlaku na jeho ploše a při detekci změny tlaku spustí alarm nebo upozorní ostrahu. Vyhodnocení se bude přenášet do počítače, na jehož monitoru bude vizualizováno. Sestrojení snímače bude předcházet návrh tištěného spoje, jeho vyleptání a následné osazení elektronickými součástkami. V závěru bude ověřena funkčnost celého systému.

### 3 Literární rešerše uvedené tematiky

Hmat je jedním z pěti lidských smyslů a pro slepé lidi tvoří nenahraditelný prvek pro orientaci. Na stejném principu funguje i robot, který manipuluje s předměty. Musí rozeznat tuhost, tvrdost a prokluz. Pro něj je taktilní informace opět nenahraditelná. Člověku, který přijde z nějakého důvodu o ruku, může umělý hmat značně zlepšit kvalitu života. Existuje však více důvodů, proč se zabývat taktilní informací, potažmo taktilními senzory a snímači.

Taktilní senzory a snímače umožňují získat specifickou informaci, kterou nelze obstarat jiným způsobem a jejíž znalost je nutná při interakci mezi různými předměty a objekty. Umožňují chránit robota, měkce uchopit předmět, realizovat pohyb při kinematických omezeních, působit silou nebo momentem v daném směru, přesně měřit souřadnice předmětu v prostoru apod. Patří k nim velké množství různých senzorů od mikrospínačů indikujících dotyk, přes senzory měřící schopnou sílu nebo prokluzování schopného předmětu až po složité snímače nahrazující lidský hmat. [3]

Při stavbě maticových taktilních snímačů (MTS) se v současné době využívá několika základních fyzikálních principů. Základem MTS je vždy maticové uspořádání citlivých prvků, a to od několika málo až po stovky kusů. Hlavní složkou informace, kterou MTS poskytuje, je rozložení normálových složek sil působících na jednotlivé citlivé prvky snímacího pole. Vývoj jde neustále kupředu a MTS nyní mají široké pole uplatnění také v lékařství, při rozpoznávání „obrazů“ apod. Vývoj je proto směřován především na zlepšování mechanických vlastností konstrukce snímačů a zdokonalování techniky zpracování signálů.

Nezastupitelnou úlohu musí sehrávat i kalibrace snímače, která však není doposud vždy plně doceněna. Přitom MTS je právě z tohoto pohledu velmi složitým snímačem, jehož jednotlivé citlivé prvky jsou při kalibraci i při použití v praxi vystaveny množství vzájemných ovlivnění. Zásadním problémem v současné době je zejména nejednotná, či dokonce vůbec neexistující metodika kalibrace, což je nejvíce na překážku vytvoření jednotných postupů a následného mnohem širšího využití MTS. Při styku s reálným tělesem nelze dosáhnout ideálního bodového dotyku (ani několikabodového), takže spolu s rozhodujícím prvkem MTS jsou zpravidla ovlivněny i prvky sousední. Při kalibraci to způsobuje komplikace korelací a kovariancí, při použití v praxi potíže s jednoznačným

vyhodnocením a degradaci skutečných možností MTS na mnohdy jen spíše primitivní aplikace.

Využití v robotice je nejstarší a nejčastější využití taktilní informace. Zpočátku byly taktilní snímače užívány jen pro indikaci uchopení předmětu v úchopné hlavici, později pro řízení úchopu, měření prokluzu, popř. pro přesné polohování objektů. V robotice se přínosy taktilních senzorů projevují nejkomplexněji. Na robotizovaných pracovištích je možné využít přednosti taktilních snímačů v široké škále aplikací, z nichž nejvýznamnější jsou manipulace s materiálem a se součástmi (nejčastěji operace typu „uchop a umístí“), montáž součástek (montáž dvou protikusů), dále identifikace součástí ve výrobních či montážních provozech a přesná manipulace se součástmi.

Taktilní snímače jsou mimořádně vhodné především k použití v automatizovaných montážních systémech. Jedná se konkrétně o robotizovanou montáž, kde jsou k manipulaci s objekty potřebné informace jako velikost a tvar objektu, se kterým se manipuluje, dále normálové a tangenciální síly, potřebné k uchopení objektu bez prokluzu, a vlastnosti povrchu materiálu (v případě třídění součástí).

Je přirozené, že mnohdy se uvažuje o vytvoření chapadla s kinematikou a schopnostmi podobnými lidské ruce. Má-li se taktilní snímač blížit hmatovým vlastnostem lidské kůže, měl by současně splňovat další náročná kritéria, jako je prostorové rozlišení cca 2 mm, citlivost cca 2 g, největší dotyková síla cca 10 N, doba odezvy do 5 ms, malá hystereze, spolehlivost i v nepříznivých podmínkách, necitlivost na změny okolních podmínek (teplota, vlhkost apod.) a schopnost zjistit popřípadě předvídat prokluz. Při pokusech o vývoj taktilních snímačů se schopnostmi blízkými lidské kůži jde o vytvoření materiálu, který by byl podobný především svou pružností a houževnatostí a dokázal by reagovat na mechanické i tepelné podněty. [14]

V blízké budoucnosti se očekává výrazné rozšíření servisních robotů, které mají poskytovat všestrannou pomoc a podporu lidem v nejrůznějších oblastech, např. v nebezpečných prostorech (chemicky, radioaktivně zamořených nebo jinak životně nebezpečných prostředích), v krizových a různých havarijních situacích, dále při péči o nemocné a handicapované osoby, při rehabilitacích, popř. jako pomocníci v domácnosti. Roboti musí být vybaveni dostatečně výkonným řídicím systémem s využitím umělé inteligence, aby se mohly pohybovat v přirozeném prostředí, vytvořeném pro člověka. V řadě případů to vyžaduje univerzální antropomorfní úchopnou hlavici. Ty mohou být tříprsté, pětiprsté a vybavené různými senzory. [1]

### 3.1 Dělení taktilních senzorů

Taktilním snímačem je obvykle míněno maticové nebo jiné geometrické uspořádání taktilních senzorů. Z hlediska způsobu získávání taktilní informace dělíme taktilní senzory na primární, které přichází do bezprostředního kontaktu s rozpoznávaným objektem (do této kategorie patří většina dosud známých senzorů) a sekundární, které zachycují taktilní informaci zprostředkovaně (do této kategorie se někdy řadí proximitní senzor).

Dále se taktilní senzory dělí podle výstupního signálu na proporciální, jejichž výstupní elektrický signál má spojitý charakter a diskrétní, jejichž signál má pouze dvě úrovně (signál je logického charakteru).

Protože taktilní senzory jsou umístěny na velmi exponovaných místech, kladou se na ně, kromě samozřejmých nároků na přesnost a spolehlivost, poměrně přísné požadavky. Senzory musí být malých rozměrů, aby nepřekážely činnostem aktivní úchopné hlavice, na jejíž povrch se umisťují, dále musí splňovat nízkou hmotnost, která ovlivňuje dynamické charakteristiky servosystémů manipulačního orgánu robota. Musí mít také velkou mechanickou odolnost, aby nedocházelo k jejich poškození v průběhu činnosti robota, je třeba, aby splňovaly linearitu převodu v určitém rozsahu působících tlaků na proporciální senzor nebo jednoduchou nastavitelnost prahu sepnutí u diskrétních taktilních senzorů. Posledním důležitým kritériem je přímé spojení (on-line) snímače se zařízením, vykonávajícím další zpracování získané informace.

Dosud se nejvíce rozvíjely systémy pro získání a zpracování vizuální informace. Taktilní systémy však mají četné výhody. Jsou to malá a lehká zařízení, která mohou být integrována v úchopné hlavici, což také umožňuje změnu pracovního prostoru. Paralelně registrují údaje a jejich rychlý přenos. Do značné míry jsou nezávislé na vliv okolního prostředí ve srovnání s vizuálními systémy, kde dopadající stíny mohou vést k chybám. Zajišťují také snadné získání výstupního signálu v číslicové formě a je možné řídit robota v reálném čase. Náklady na realizaci taktilních systémů jsou poměrně nízké.

K nevýhodám taktilních systémů ve srovnání s vizuálními patří omezená rozlišovací schopnost, způsobená mechanickými vlivy konstrukce, dále nutná minimální úchopná síla a nutné sledování opotřebení.

Z hlediska účelu se taktilní snímače dělí do čtyř kategorií. Do první kategorie se řadí snímače, které slouží k rozpoznání tvaru a rozměru předmětů. Jde o snímač, který je vhodně umístěn na aktivní úchopné hlavici robotu. Taktilní informace se pak získává z primárních nebo ze sekundárních senzorů taktilního snímače při uchopení (sevření) předmětu úchopnou hlavici. Tímto získáme informaci o globálních vlastnostech objektu. Dále může být taktilní snímač umístěn na zařízení, které vykonává postupné aktivní ohmatávání předmětu tím, že se posouvá po povrchu rozpoznávaného předmětu. Získává tedy taktilní informaci o lokálních vlastnostech povrchu objektu v relativně malé oblasti dotyku taktilního snímače.

Do druhé kategorie spadají taktilní senzory nebo jednoduché taktilní snímače, umístěné rovněž na aktivní úchopné hlavici. V tomto případě však slouží pouze k identifikaci, zda byl předem známý předmět správně uchopen a generují pouze dotykovou informaci. Lze je použít i k vyhodnocení síly stisku čelistí úchopné hlavice.

Ve třetí kategorii jsou zahrnuty taktilní senzory, které jsou vhodně umístěné na exponovaných místech ramena robotu a slouží k bezpečnostním účelům. Např. dají signál k zastavení pohybu ramena, jestliže narazí na neočekávaný objekt.

Do poslední kategorie jsou řazeny taktilní senzory a snímače generují informaci, která se využívá k řízení pohybu robotů, či jiných automatických mechanismů a k usnadnění jejich orientace v prostoru. [5]

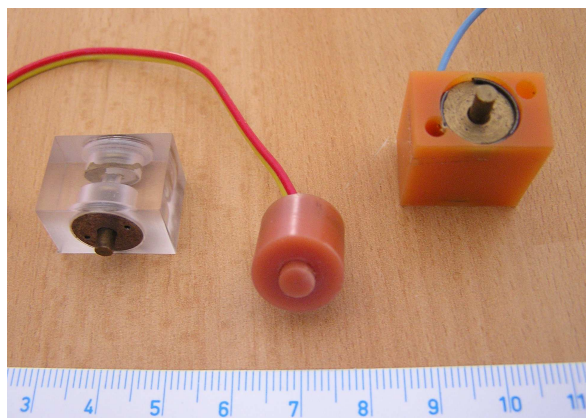
Následující část je věnována principům, které se využívají při konstrukci taktilních senzorů a snímačů.

### **3.1.1 Taktilní snímače s elastomery**

#### **Taktilní snímače s vodivým elastomerem**

U těchto snímačů je jako převodník síly na elektrický signál použit vodivý elastomer, někdy se nazývá piezorezistivní. Tento elastomer mění svůj odpor podle působící síly. V principu jde o silikonovou pryž sycenou grafitem nebo železným prachem. Tím, jak dochází ke stlačování, či relaxaci poddajného materiálu, se mění i výsledný odpor senzoru. Změnou odporu získáváme informaci o uchopeném objektu. Existuje mnoho modifikací těchto senzorů a snímačů. Jako příklad může posloužit plošný snímač, realizovaný s celistvým vodivým elastomerem nebo s jednotlivými senzory. Snímač, který používá vodivý elastomer, poskytuje nejen informaci o prostém kontaktu, ale může dát

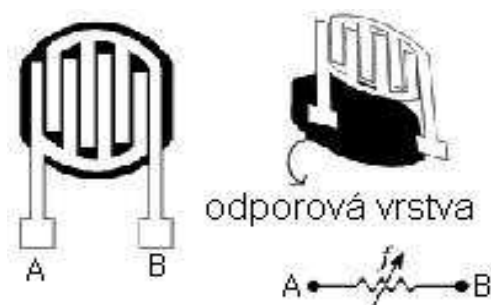
i kvantitativní a kvalitativní informaci, protože prostřednictvím matice senzorů snímá vlastní povrch objektu, který s ním přichází do kontaktu. Tyto senzory zhotovené z vodivého elastomeru umožní měřit spojitě velikost tlaku. Konstrukci těchto prvotních senzorů znázorňuje obr. 2. [5]



Obr. 2 - Realizace taktilních senzorů [4]

### FSR senzory

Jedná se o poměrně nový typ senzoru. Jeho název pochází ze zkratky anglického názvu Force Sensitive Resistor. Jde o odporový senzor, který je založen na změně odporu polymerové vrstvy (Resistive Film nebo FSR Polymer Ink). Senzor se používá pro dotykové klávesnice různých zařízení, popř. zjišťování pozice předmětů. Výhodou je možnost vyrobit senzory různých tvarů - proužky nebo snímače, složené z jednotlivých senzorů. [6] [7] [8] Držitelem patentu FSR technologie je firma Interlink Electronic, která jej v roce 1985 vyvinula. Dnes jej vyrábí i fa LuSense, což je divize lucemburské fy International Electronics & Engineering. [19]

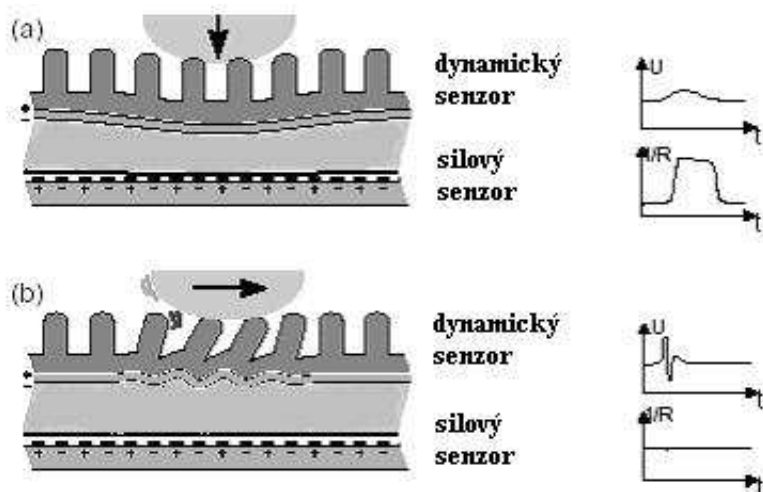


Obr. 3 - Zjednodušené schéma senzoru FSR [19]

Základní částí senzoru je odporová vrstva, která je vyrobena technologií tlustých vodivých polymerových vrstev (Polymer Thick Film - PTF). Tato odporová vrstva je vytvořena z elektricky vodivých a nevodivých částic o velmi malých rozměrech. Působením síly na tuto vrstvu se částice vzájemně dotýkají a vytvářejí tak vodivé dráhy, čímž se její odpor snižuje. Senzor FSR se skládá ze tří základních vrstev: odporové polymerové vrstvy, kontaktních vodičů a plošek a případné distanční vložky. Distanční vložka se převážně používá u senzorů, používaných jako spínače, aby se zvýraznila změna odporu při sepnutí. Ve stavu rozepnuto se tak kontaktní plošky nedotýkají a odpor senzoru je řádově v  $M\Omega$ . Při sepnutí pak klesne na hodnotu  $k\Omega$ . [5]

### Senzory s odporovou vrstvou

Konstrukce těchto senzorů reagují nejen na silovou složku, ale jsou schopny detekovat i smykovou. Princip senzoru je znázorněn na obr. 4. V podstatě je tvořen dvěma spojenými vrstevovými senzory. První je tvořen klky na odporové vrstvě a vytváří tzv. dynamický senzor. Vlivem smykové složky dochází k dynamické změně polohy klků (obr. 4b). Ta vyvolá v první vrstvě dynamickou změnu napětí, zatímco druhá spodní odporová vrstva nereaguje. Naopak při statické tlakové síle se tato síla přenesne na spodní vrstvu, která reaguje změnou odporu (obr. 4a). [9]

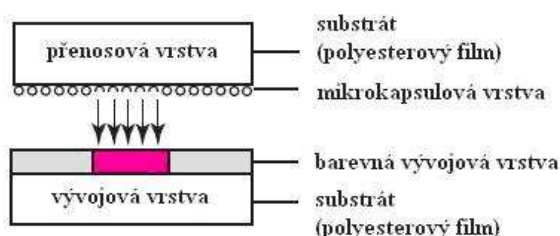


Obr. 4 - Princip dvouvrstvého senzoru [9]



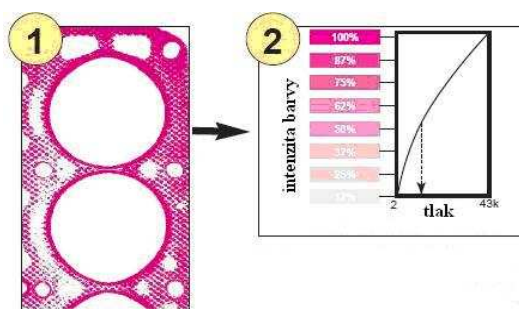
## Pressurex

Pressurex, vyráběný firmou Sensor Product Inc., je extrémně tenká pružná fólie o tloušťce 0,01 až 0,05 mm, která slouží k měření velikosti a rozložení tlaku mezi dvěma dotýkajícími se povrchy objektů. Vzhledem k této tloušťce se může ideálně přizpůsobit zakřivení styčných ploch. Současně je odolný proti agresivnímu prostředí. Pressurex obsahuje tenkou vrstvu mikrokapsulí, umístěnou vespod přenosové fólie. Působením síly na Pressurex fólii a působením na barevnou vývojovou vrstvu, která je umístěna na vyvíjecí fólii, dojde k jejich protržení. Přenosová i vývojová vrstva je tvořena substrátem (polyesterovým filmem) o tloušťce cca 0,01 mm. Intenzita zbarvení odpovídá působící síle, popř. tlaku (viz obr. 5).



Obr. 5 - Princip funkce pressurex fólie [19]

Velikost tlaku pak odečteme z grafu intenzita zbarvení - působící tlak. Při aplikaci fólie Pressurex vybereme podle odhadnutého tlaku fólii s vhodnou citlivostí. Tu pak vystřihneme podle tvaru styčných ploch a umístíme ji mezi ně (viz obr. 6). Poté ji vyjmete a dle intenzity zbarvení z grafu odečteme velikost, popř. rozložení tlaku. U některých typů fólie se velikost tlaku nemusí projevit jen intenzitou zbarvení, ale též změnou barev. [19]



Obr. 6 - Závislost intenzity zbarvení na tlaku [19]

### 3.1.2 Senzory a snímače s tenzometry

#### Vlastnosti tenzometrů

Tyto senzory měří deformace, které jsou vytvořeny aktivní silou na prvcích robotu, např. uchopením předmětu. Jako převodníku síla - elektrický signál je zde použit tenzometr. Lze použít drátkové, fóliové nebo polovodičové tenzometry, které se nalepí na sledované namáhané díly, popř. se použijí speciální senzory síly běžné produkce. Takto lze vytvořit senzory síly, působící v daném místě nebo detekovat celkovou působící sílu. [5]

Pro fóliové a drátkové tenzometry lze vypočítat relativní změnu odporu tenzometru  $\Delta R/R$  vzhledem k relativnímu prodloužení  $\Delta l/l$  ze známého vztahu:

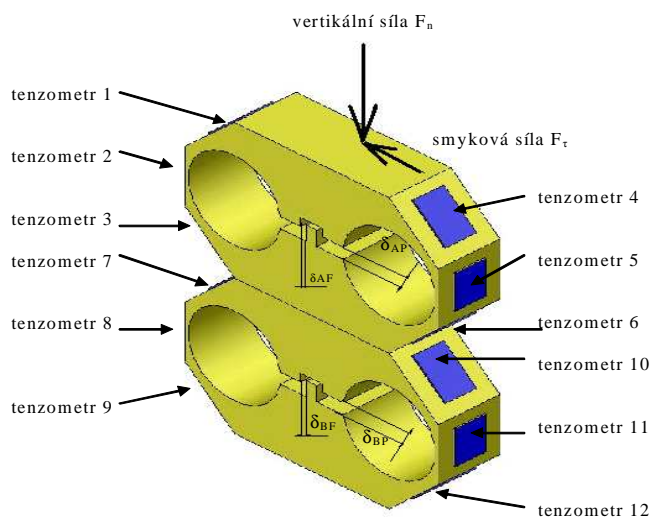
$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} = K\varepsilon$$

K součinitel deformační citlivosti ( $K \sim 2$ )

$\varepsilon$  poměrné prodloužení ( $\varepsilon \sim 10^{-3}$ ) [5]

#### Snímač DOTS

Snímač DOTS (Double Octagon Tactile Sensor) je vícesložkový tenzometrický snímač používaný v robotice pro měření úchopné normálové a smykové síly. Tento snímač může měřit i velké hodnoty síly s vysokou citlivostí, přičemž závislost mezi působící silou a výstupem ze snímače je lineární.



Obr. 7 - Snímač DOTS [10]

Základem snímače je osmihranný tvar polepený tenzometry, které měří zatěžující normálové  $F_n$  i tangenciální (smykové)  $F_\tau$  síly. Sensor je může změřit nezávisle na sobě, i pokud působí současně. Pokud snímač zdvojíme, získáme ještě větší citlivost. Horní část lépe zachytí menší síly (tenzometry 2 a 5 vertikální sílu; 1, 3, 4 a 6 smykovou) a spodní část zachytí jen ty větší (tenzometry 8 a 11 opět vertikální; 7, 9, 10 a 12 smykovou). Navíc mezera chrání snímač proti destrukci způsobenou příliš velkými silami. [10]

### 3.1.3 Kapacitní senzory

Princip kapacitních senzorů vychází ze známého vztahu pro deskový kondenzátor :

$$C = \varepsilon_o \varepsilon_r \frac{S}{d}$$

C kapacita senzoru (F)

$\varepsilon_o$  permitivita vakua ( $Fm^{-1}$ )

$\varepsilon_r$  relativní permitivita (-)

S plocha společných elektrod (m)

d vzdálenost elektrod (m)

nebo vztahu pro válcový kondenzátor:

$$C = 2\pi\varepsilon_o\varepsilon_r \frac{l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

l délka překrytí válců (l)

$r_1$  poloměr vnitřního válce (m)

$r_2$  poloměr vnějšího válce (m) [5]

### 3.1.4 Optovláknové senzory

Optický vláknový senzor je tvořen optickým vláknem, ve kterém dochází vlivem vnějších podmínek k modulaci procházejícího světla. Je možné měnit amplitudu, fázi, polarizace nebo spektrální vlastnosti světla, procházejícího světlovodem. Optický senzor je napájen zdrojem světla - laser, laserová dioda, popř. LED. Velikost změny, která je způsobená měřenou veličinou, je analyzována detektorem. Optické vláknové senzory nejsou citlivé na vnější elektromagnetická pole, umožňují přenášet informaci mezi objekty

s rozdílnými potenciály a mohou ji přenášet ve velkém kmitočtovém intervalu na dlouhé vzdálenosti. Pro taktilní čidla se nejvíce používá změna amplitudy procházejícího světla. Ta může být ovlivněna několika způsoby, např. změnou okrajových podmínek šíření světla v optickém prostředí, změnou vzájemné optické vazby, změnou tlumení, nebo změnou přechodu a odrazu světla. [5]

### Mikroohybové senzory

U těchto senzorů se využívá porušení podmínky úplného vnitřního odrazu, např. na rozhraní mezi jádrem a pláštěm optického vlákna. Tato podmínka je dána vztahem:

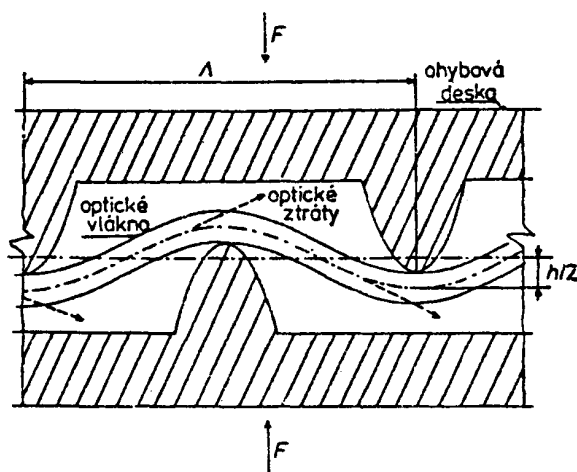
$$\Theta_c \geq \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

$\theta_c$  úhel dopadu

$n_1$  index lomu jádra

$n_2$  index lomu pláště

Tuto podmínku lze porušit buď změnou geometrie (zakřivení) vlnovodu, nebo změnou poměrů indexů lomu. Princip mikroohybového senzoru znázorňuje následující obr. 8.



Obr. 8 - Mikroohybový senzor [4]

Při ohýbání optického vlákna pod kritický poloměr nastává porušení podmínky pro vidy vyšších řádů, tj. průnik světla do pláště optického vlákna. Tyto vidy se mohou dále šířit podél optického vlákna jako plášťové vidy nebo mohou uniknout do okolního prostředí. Tím se snižuje intenzita světla, které se šíří jádrem optického vlákna.

Kritický poloměr křivosti, kdy ztráty prudce narůstají, lze vypočítat ze vztahu:

$$R_k = \frac{3n_1^2 \lambda}{4\pi(n_1^2 - n_2^2)^{\frac{3}{2}}}$$

- $n_1$  index lomu jádra
- $n_2$  indexy lomu pláště
- $\lambda$  vlnová délka

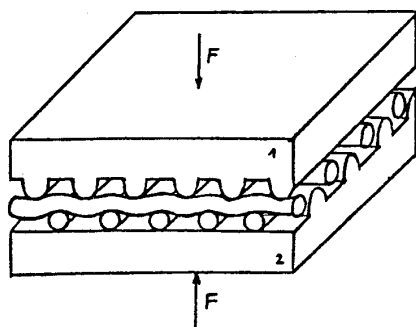
Kritickou periodu mikroohybů  $\Lambda_c$ , tj. vzdálenost ohybových hrotů, vypočteme pak ze vztahu:  $N_A$

$$\Lambda_c = \frac{\sqrt{2\pi a n_0}}{N_A}$$

- $a$  poloměr jádra
- $n_0$  index lomu ve středu jádra
- $N_A$  numerická apertura  $N_A = \sin \Phi_{1c}$
- $\Phi_{1c}$  max. úhel, pod kterým může dopadat světlo vzhledem k ose jádra vlákna, aby na rozhraní jádro - plášť ještě došlo k totálnímu odrazu [4]

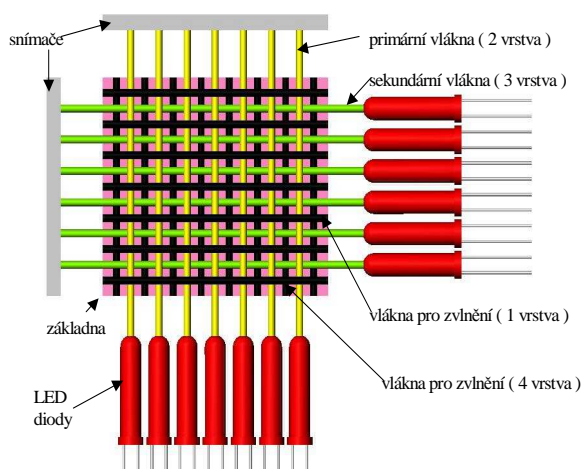
### **Maticový mikroohybový snímač**

Nevýhodou maticového mikroohybového snímače, znázorněného na obr. 9., je velký počet zdrojů světla a hlavně detektorů, neboť každé vlákno musí mít svůj vlastní zdroj a detektor. Navíc při snímání musí být multiplexovány. Vždy smí svítit jen jeden zdroj a snímat jen jeden detektor (smí být aktivován jeden řádek a jeden sloupec). [4]



Obr. 9 - Maticový mikrohybový snímač [4]

Další provedení maticového snímače (viz obr. 10) může být v podobě, kde horní (první) a spodní (čtvrtá) vrstva je tvořena neaktivními vlákny, která mají za úkol vytvořit zvlněný povrch a při kontaktu s předmětem zajistit ohyb aktivních vláken. Vlákná ve druhé vrstvě (primární vlákna) a ve třetí vrstvě (sekundární vlákna) jsou aktivní a přenášejí světelný signál. Pokud aplikujeme sílu na křížení vláken z první a druhé vrstvy, ohnou se též vlákna i ve třetí vrstvě díky deformaci vlákna v druhé vrstvě, a to buď jedno nebo dvě v závislosti na působišti síly. Vlákná na okrajích jsou upevněna do plexiskla a plexisklové držáky jsou přimontovány na hliníkovou desku. Horizontální vzdálenost mezi vlákny činí 2 mm, vertikální vzdálenost mezi hladinami pak 250  $\mu\text{m}$ . Prototyp obsahoval 4x4 vlákna, ale testovací přípravek již 7x6 vláken. Jako zdroj světelného signálu byly použity LED diody s výkonem 12 mW a vlnovou délkou světla 880 nm. Detektor tvoří křemíkové PIN fotodiody. Za fotodiody byl přidán dolnoproputní filtr s pásmem 0 až 10 kHz. Výstupní signál byl digitalizován dvanáctibitovým A/D převodníkem. Působící objekt na snímač měl plochu 1  $\text{cm}^2$ .



Obr.10 - Maticový vrstvý mikrohybový snímač [11]

Z pokusů vyplynulo, že útlum světla je rozdílný při aplikaci síly, která způsobí jeden ohyb, dva ohyby s mezerou a dva ohyby bez mezery. Pro určení síly byla použita tzv. osmibodová šedá stupnice, kde 0 (bílý blok) koresponduje s nulovou silou a 1 (černý blok) s maximální silou aplikovanou na snímač a ostatní stupně šedi byly dopočítány. Při testování byly použity různé tvary - symetrické i nesymetrické. Ideální rekonstruovaný obraz ze snímačů vykazuje černé a bílé bloky. Při testu se objevily i šedé bloky, ale vcelku korektně se podařilo daný tvar identifikovat. Šedé barvy vznikají jako tzv. buňková chyba. Příčinou bylo, že vlákna jsou upevněna na obou koncích a při aplikaci síly se více ohnou v centru snímače než na krajích. V důsledku toho byla zavedena tzv. kvadratická chyba buňky, kterou lze vypočítat ze vztahu:

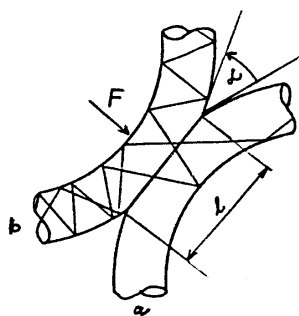
$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N_p} \sum_{j=1}^{j=N_s} [F_{ij} - f_{ij}]^2$$

- N      počet buněk v rekonstruovaném obraze větší než nula
- $N_p$     počet primárních vláken (druhá vrstva)
- $N_s$     počet sekundárních vláken (třetí vrstva)
- $F_{ij}$     velikost síly v buňce ideálního obrazu
- $f_{ij}$     velikost síly v rekonstruovaném obraze

Taktilní snímač byl testován jako 2D snímač obrazu. Kvadratická chyba buňky rekonstruovaného obrazu činila méně než 6 procent. [11]

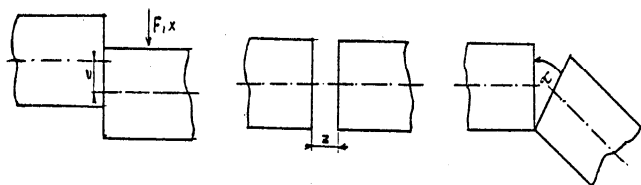
### **Optovláknové senzory se vzájemnou optickou vazbou**

Princip těchto senzorů je založen na vzájemné optické vazbě, viz obr. 11. U tohoto senzoru mají obě vlákna v místě dotyku odstraněn plášť, a tím odhalena jádra, která přicházejí do vzájemného kontaktu. Při vhodném návrhu parametrů (délka stykové plochy vláken  $l$  a úhlu  $\alpha$ ) vlivem působící síly, a tím těsnější vzájemné vazby, přechází úměrná část energie z prvního vlákna do druhého. Ke zdroji světla je připojeno první optické vlákno, k detektoru druhé. [4]



Obr. 11 - Senzor s optickou vazbou [4]

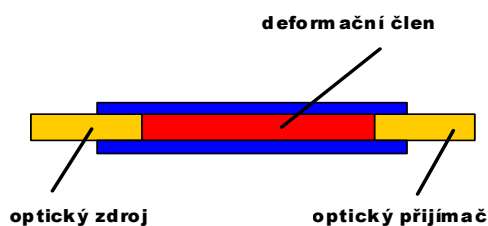
Jiný způsob změny vzájemné vazby optických vláken znázorňuje obr. 12. Zde vlivem působící síly dochází přímo k vzájemnému posunu vláken, a tím i změně přenášené světelné energie. [5]



Obr. 12 - Senzor se změnou vzájemné vazby [5]

### Optovláknové senzory se změnou tlumení

Tyto senzory obsahují průsvitný člen, umístěný mezi rozdělené optické vlákno, který vlivem vnějšího prostředí mění své optické vlastnosti. V tomto případě optické vlákno slouží jen k vedení světelné energie. Tento typ senzorů se nejčastěji používá k měření teploty, kdy optické vlastnosti průsvitného členu jsou závislé na teplotě. Pro taktilní čidla se volí materiál, kdy tento člen mění své optické vlastnosti vlivem působící síly, viz obr. 13. [5]

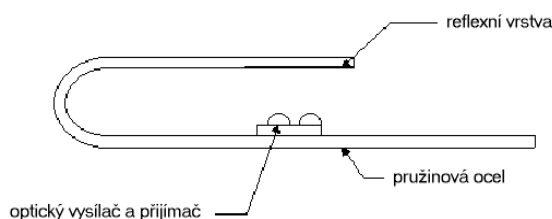


Obr. 13 - Senzor s deformačním členem [5]

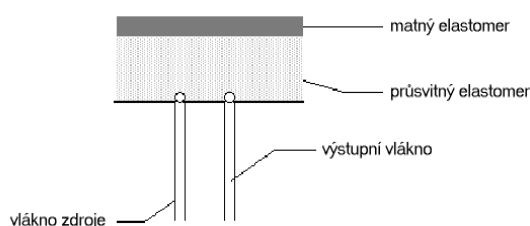


### Optovláknové senzory se změnou přechodu a odrazu světla

U těchto senzorů se využívá změny odražené energie, která se vrací od reflexní vrstvy do snímacího vlákna s detektorem, viz obr. 14. Síla působí na část s reflexní vrstvou. Mechanické vlastnosti senzoru jsou dány mechanickými vlastnostmi deformovaného materiálu, zde např. pružinové oceli. [5]



Obr. 14 - Senzor s pružným členem a reflexní vrstvou [5]



Obr. 15 - Senzor s průsvitným elastomerem [4]

Senzor na obr. 15 má výhodu v tom, že jeho optická část je chráněna průsvitným elastomerem. Pokud bude tento elastomer měnit své optické vlastnosti, lze senzor přiřadit též ke skupině se změnou tlumení. [4]

### 3.1.5 Smart textilie

Smart textilie, neboli chytré textilie, představují další možnost pro snímání taktilní informace a její zpracování. Představa, co se skrývá pod pojmem chytré textilie, je velice rozmanitá. V zásadě se můžeme setkat s několika variantami. V první řadě se jedná o elektronické součástky, které jsou integrovány do oblečení, jako například kapesní mobilní telefon. Dále pak se jedná o vodivé textilie, které mají integrovány různé elektronické součástky. V tomto případě textilie slouží jako vodič. Další možností jsou celé funkční celky, které mohou tvořit například displej, klávesnici, atd. Posledním celkem je

vlákno s integrovanými mikro-elektronickými bloky, jako jsou tranzistory, diody nebo možná později celé obvody. Všechny tyto součástky je možno napájet Li-ion, Ni-MH akumulátory nebo solárními články.

Tyto technologie se neustále rozvíjejí a vylepšují včetně komerčního využití. V dnešní době je např. již k dostání tzv. Wealthy systém. Jedná se o monitorovací systém základních biologických funkcí, který je vintegrovan do obleku. [5]

### **3.2 Zabezpečovací podložky**

Inspirací pro mojí práci byly zabezpečovací podložky. Níže budou popsány jejich funkce na třech odlišných výrobcích.

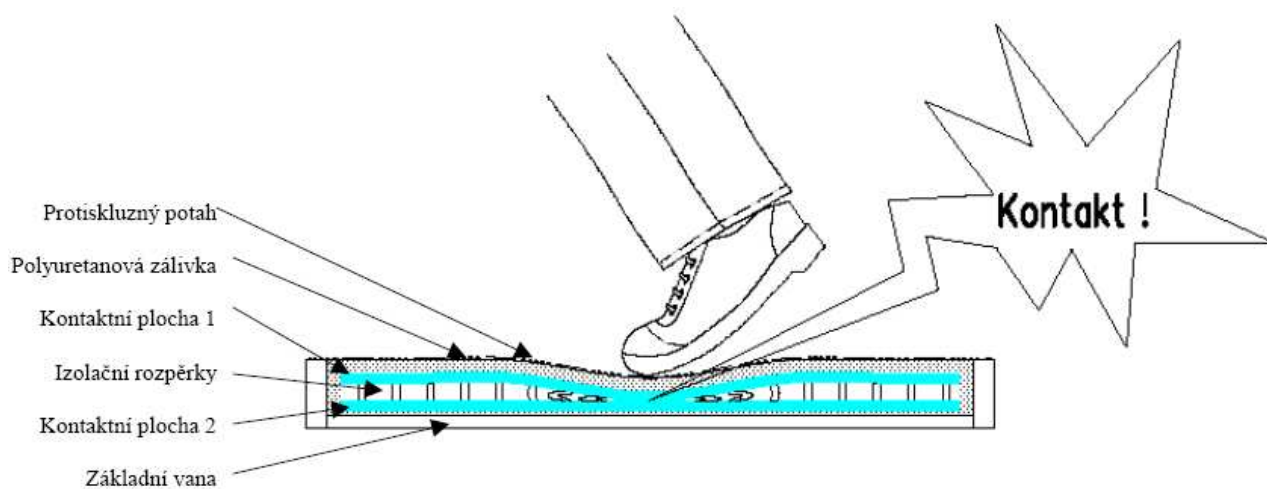
#### **3.2.1 Bezpečnostní nášlapná rohož CONTRA**

Bezpečnostní nášlapné rohože německé firmy ASO, kterou dodává česká firma Contra, se užívají k zajištění větších ploch a areálů kolem nebezpečných strojů, např. lisů, robotů a jiných přesuvných a pohyblivých částí. Lze je také použít ke kontrole přístupu (průchody, ohrazení) a nebo kontrole přítomnosti obsluhy na „bezpečném“ stanovišti.

Vstup osoby na rohož působí jako stisk senzoru citlivého na tlak a tím okamžitým elektrickým povelom Stop pro nebezpečný pohyb. Tento rychlý kontakt umožňují dvě plochy s vodivým povrchem, uložené uvnitř rohože v zálivce polyuretanovým materiálem. Nosný materiál je základní vana z PVC nebo kovu. Horní nášlapná plocha je dále opatřena protiskluzným povrchem na bázi kaučukové gumy (EPDM) nebo olejům odolné gumy (NBR). V prostorách s nepříznivými vlivy (okuje u sváření) a možnostmi mechanického poškození je používán k ochraně horní vrstvy hliníkový nebo nerezový plech. Vyhodnocení signálu z rohože jakožto senzoru je ve vyhodnocovací elektronice (tzv. bezpečnostním relé). Další technická data této rohože jsou uvedena v příloze 1. [15]

Tyto výrobky se dají, dle přání zákazníka, dále modifikovat, a to například kvůli nepříznivému prostředí v němž by se podložka využívala a její životnost by se tak podstatně zkrátila. Další modifikace může být například u rohože firmy Contra tím, že se zabuduje vestavěná váha, která bude sloužit k detekování osob nebo jiných objektů a stanovení jejich hmotnosti na tenzometrickém principu měřícího můstku. Výstupy signálu se dále vyhodnocují v nadřazeném systému ovládání. Uplatnění je tak například ve výtazích nebo v bankovníctví.

Konstrukce bezpečnostních podložek je samozřejmě u každého výrobce jiná a nemusí například docházet ke kontaktu obou elektrod, ale jejich spojení může být realizováno přes propojovací členy. Stejný princip fungování této rohože by se dal využít i pro zabezpečovací techniku. Systém je sice velmi jednoduchý a dal by se lehce oklamat, ale při spolehnutí na to, že zloděj nikdy v objektu nebyl, a tudíž by ani nevěděl o nášlapném koberci, umístěném například v podlaze a napojeném na bezpečnostní ústřednu s následným vyhodnocením styku, či rozpojením elektrod a spuštěním alarmu. Princip rohože jako detekce nášlapu je znázorněn na obr. 16.



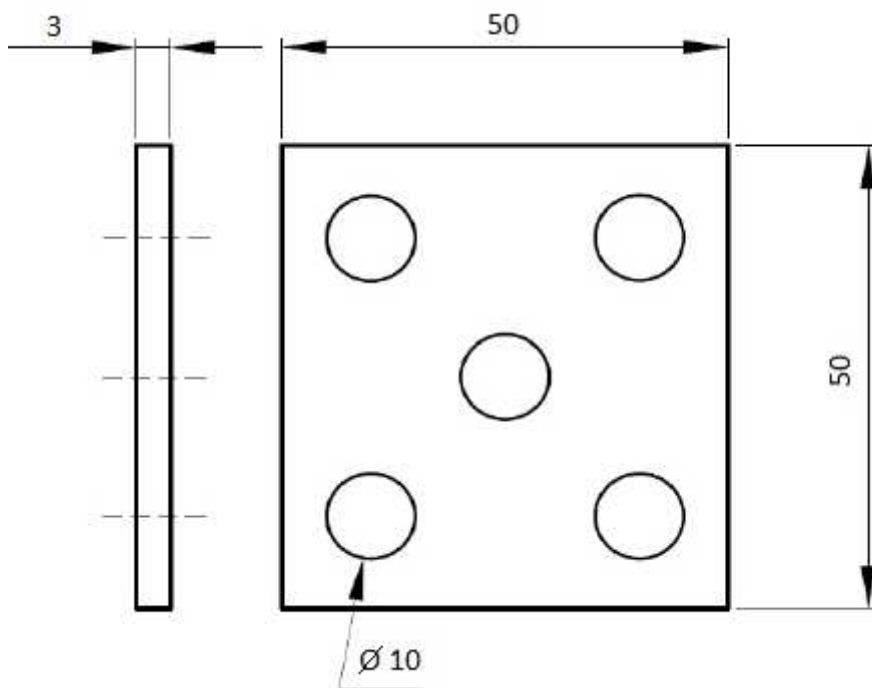
Obr. 16 - Princip činnosti bezpečnostní nášlapné rohože CONTRA [15]

### 3.2.2 Nášlapné rohože Volmat

#### Volmat 50

Tyto podložky jsou určeny pro umístění pod předměty a jsou konstruovány pro trvalou zátěž. Opatřeny jsou jen dvoužilovým přívodem, neboť nadzvižení předmětu vyvolá rozpojení obvodu. Její zatížení naopak spojení elektrického obvodu.

Podložka Volmat 50 s označením A-D je tvořena dvěma elektrodami materiálu CUFLEX o rozměru 50 mm x 50 mm. Mezi tyto dvě elektrody je nalepen pružný materiál tvořený molitanem, který je znázorněn na obr. 17. Do děr se pak vkládají podložky o různé šíři (proto označení A-D), díky kterým se nastaví požadovaná citlivost.



Obr. 17 - Schéma pružného materiálu

Dále je možné modifikovat jednu elektrodu jako tuhou, čehož je dosaženo buď vložením kovové destičky, nebo použitím kuprexitového plošného spoje na jednu elektrodu. To je vhodné pokud má zatěžující předmět špičatou nohu nebo nohu o malé ploše a hrozí tak přetížení a následné poškození podložky. Další případné písmenko G označuje vnější provedení (vyráběno výjimečně, má pak zákonitě nižší citlivost, která neodpovídá tab. 1). Vnitřní provedení je zataveno do plastické fólie, není vodotěsné, odolává však běžné vlhkosti v místnosti.

Tab. 1 - Technická zpráva Volmat 50 [16]

Podložka VOLMAT	Hmotnost předmětu [kg]	Zatížená odpor [ $\Omega$ ]	Nezatížená odpor [ $M\Omega$ ]	Tloušťka [mm]	Rozsah pracovních teplot [ $^{\circ}C$ ]	Maximální napětí [V]
50A	0,65 ÷ 5	$\leq 10$	$\geq 20$	$\leq 1.5$	-25 ÷ +60	24
50B	1,1 ÷ 5	$\leq 10$	$\geq 20$	$\leq 1.5$	-25 ÷ +60	24
50C	1,5 ÷ 5	$\leq 10$	$\geq 20$	$\leq 1.5$	-25 ÷ +60	24
50D	2,7 ÷ 14	$\leq 10$	$\geq 20$	$\leq 1.5$	-25 ÷ +60	24
50E	13 ÷ 50	$\leq 10$	$\geq 20$	$\leq 1.5$	-25 ÷ +60	24
50F	22 ÷ 90	$\leq 10$	$\geq 20$	$\leq 1.5$	-25 ÷ +60	24

## **Volmat 100**

Vyrábí se jako tísňové podložky nebo nášlapný spínač, který může například otevírat dveře. Jeho rozměry jsou 100 mm x 100 mm a jeho délka až 200 mm. Dodává se ve dvou typech a to jako Volmat 100H, který je určen pro horizontální provedení. V žádném případě nesmí být tento typ podložky umístěn vertikálně, neboť v tom případě může být trvale sepnuta (je vyplněna matičkami nebo podložkami). Podložka může být vyrobena ve vnitřním provedení (zatavena v umělohmotné fólii) - Volmat 100H, nebo vnějším (zalepena v optifolu) - Volmat 100HG. Druhým typem je Volmat 100V, který je určen pro vertikální provedení. Podložka tohoto typu může být použita i jako horizontální. Lze ji také vyrobit ve vnitřním (zatavena v umělohmotné fólii) - Volmat 100V, nebo vnějším provedení (zalepena v optifolu) - Volmat 100VG.

Obě podložky mohou mít jak pružný element - použít molitan tl. 3 mm nebo černou štípanou pěňnou gumu tl. 3,5 mm. Parametry odpovídají příslušnému provedení podložek Volmat 50C (Volmat 50CG), nebo Volmat 50E (Volmat 50EG). [16]

## **Volmat 500**

Koberečky slouží jako nástražný systém pro hlídání určité chráněné zóny nebo k indikaci nášlapu a z toho vyplývající obsluhy. V klidovém stavu je elektrický obvod rozpojen. Proto je kobereček připojen čtyř-vodičově. Použit je čtyř-žilový kablík bílé, nebo černé barvy. Vnitřní zapojení vodičů je provedeno tak, že krajní dva vodiče jsou spojeny nakrátko a tvoří sabotážní smyčku, další dva vodiče jsou pracovními vodiči. Při zatížení dojde ke spojení obvodu. Pokud je třeba obrácené funkce, tj. v klidovém stavu spojený obvod, při zatížení rozpojený obvod, je třeba použít elektronický člen Volin, který tuto funkci splňuje.

Koberec Volmat 500 je vyráběn standardně o šířce 500mm, délka může být libovolná dle přání zákazníka. Měla by však být násobkem 60 mm, neboť aktivní proužek má šířku 30 mm a taktéž mezera. Koberec je vyráběn ve dvou provedeních. Prvním je vnitřní provedení Volmat 500, jehož konstrukce je zatavena v plastické fólii, má sníženou mechanickou odolnost a musí být překryt, např. kobercem. Konstrukce tohoto provedení není vodotěsná. Konstrukce vnějšího provedení - Volmat 500G je zalepena do gumové fólie OPTIFOL o tl. 1.5 mm. Provedení má zvýšenou mechanickou odolnost a je

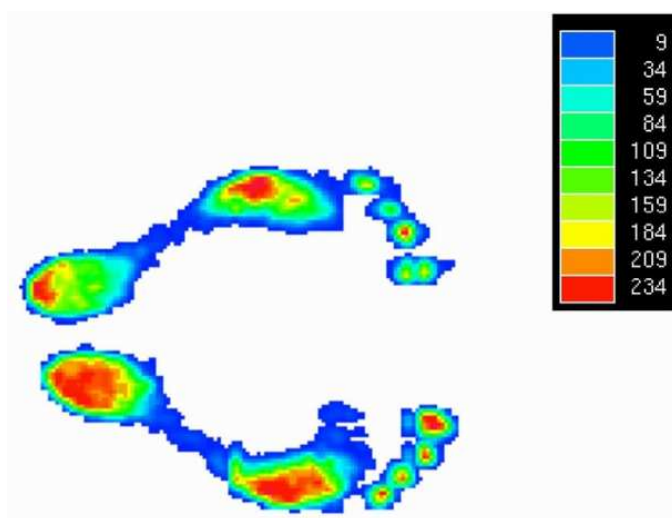
vodotěsné. Může být vystaveno přímým povětrnostním vlivům i přímému mechanickému namáhání.

### Elektronický člen Volin

Elektronický člen Volin slouží k připojení libovolného počtu nášlapných koberců Volmat 500 nebo nášlapných a tísňových podušek Volmat 100 k ústřednám, které vyžadují vstupní signál z rozpínacích kontaktů. Je vybaven dvěma sabotážními smyčkami. Jedna je řazena v sérii s pracovní smyčkou, druhá v sérii se sabotážním kontaktem víčka. Jejich volba se provádí zkratovacími spojkami.

### 3.2.3 Plantograf

Systém slouží pro biomechanické vyšetřování stavu tlaku mezi ploskou nohy a maticově uspořádanými miniaturními snímači tlaku. Jedná se o kompaktní přenosný přístroj, který spolu s připojeným PC zpracovává v reálném čase signály o průběhu tlaků ve statickém a dynamickém režimu zatěžování. Snímač je řízen elektronickými obvody původní konstrukce, které zajišťují správnou funkci snímače a přenos získaných dat do PC k dalšímu zpracování. Snímač na aktivní ploše 400 x 300 mm obsahuje 7500 čidel a je schopen poskytnout 300 snímků/s, což ho řadí ke špičkovým světovým výrobkům. [17]



Obr. 18 - Ukázka vizualizace dat v PC [17]

Tlak na ploše detekují snímače s vodivým elastomerem, které jsou rozloženy do matice. Jednotlivé body matice pak tvoří takovou síť bodů, které dokáží hodnotu tlaku mezi body interpelovat bez významné ztráty informace. Snímače uspořádané v matici, které tvoří nášlapovou plochu, pak dokáží vyšetřovat jak statické, tak i dynamické případy.

Informace se z matice přenáší do PC k dalšímu zpracování. V PC je pak uložen program, který dokáže vizualizaci dat a může se tak provádět např. diagnostika pacienta.

Tab. 2 - Technická data Plantografu [17]

V07	Rozměr	Hodnota	Poznámky
Hmotnost pacienta	kg	120	
Rozsah měření	kPa	5 až 80	
Maximální přetížení	MPa	1,4	trvale
Rozměr pole senzorů	mm	400×300	
Celkové rozměry snímače	mm	750×650	
Počet senzorů snímače	ks	7500	
Napájecí napětí	V	5 a 12	
Analogový výstup	V	1	max.
Digitální výstup	bit	256	
Snímková frekvence	Hz	300	

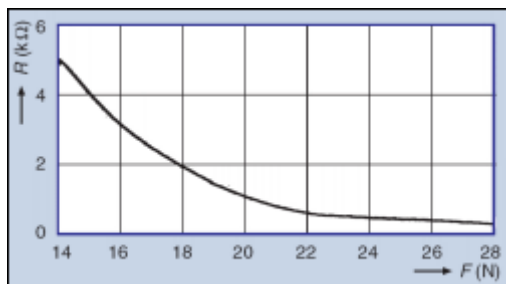
### 3.3 Elastomer

Hlavní prvek v mém systému, který vykonává důležitou funkci, a to změnu odporu senzorů při zatížení, je elastomer. V této kapitole vysvětlím jeho funkci a možnosti zapojení.

Elastomer je makromolekulární látka, která se po podstatné deformaci malým napětím a uvolněním tohoto napětí při pokojové teplotě rychle vrací k přibližně původním rozměrům a tvaru. Běžné elastomery např. přírodní kaučuk, je možné změnit na piezorezistivní materiál disperzí vodivých částic (např. uhlíkových nebo stříbrných) do základní hmoty ještě před vulkanizací. Výsledný piezorezistivní elastomer se používá jako základní materiál na výrobu malých taktilních snímačů již poměrně dlouho. Vážným nedostatkem takového materiálu je velká hystereze zatěžovací charakteristiky (síla - odpor), která do značné míry omezuje jeho použití. Přesto lze konstatovat, že v současné praxi jde o nejrozšířenější typ snímače. Příčinou obliby tohoto principu je jeho výjimečná přizpůsobivost co do rozměru jednotlivých prvků snímače. Jako u jediného z principů zde lze také bez problémů docílit velmi jemné struktury matice s prvky o rozměrech řádově desetin milimetru, což se odrazí na zlepšení spojitosti získaného taktilního obrazu.

Základem tohoto materiálu je u snímačů zpravidla silikonová pryž nebo kaučuk s vydatnou příměsí vodivých částic. Jejich průměrný podíl se pohybuje v rozsahu 15 až 20 %. Závislost vodivosti takto vzniklého materiálu na jeho napjatosti je obvykle

nelineární, ale v omezené oblasti použití ji lze dostatečně linearizovat. Při nulovém zatížení je elektrický odpor téměř nekonečný (tj. vodivost nulová). Při zatížení se vodivé částice k sobě přibližují až k vzájemnému dotyku a tím odpor klesá. Změna elektrického odporu tak dociluje řádově několik dekád. Obvykle se ale neměří odpor přímo, ale prostřednictvím změn napětí, nebo proudu.

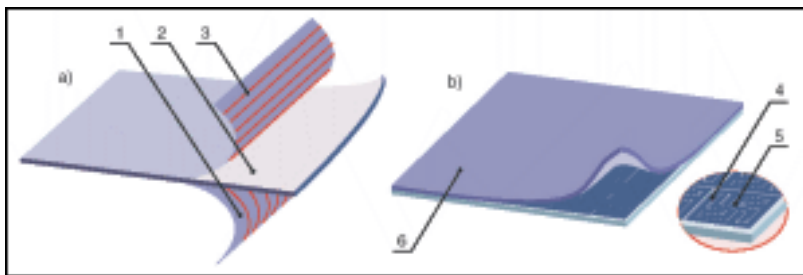


Obr. 19 - Závislost výstupního odporu  $R$  na zátěžné síle  $F$  [14]

Z popsaného fyzikálního principu vycházejí všechny piezorezistivní maticové snímače, lišící se zpravidla konstrukčním řešením a vyhodnocovací elektronikou. Z metrologického hlediska má většina použitých materiálů mnoho nedostatků, jako je např. poměrně rychlé stárnutí spojené především se ztrátou pružnosti, nelineární závislost elektrického odporu na zatížení, poměrně velká hystereze, malá citlivost, výrazný drift v čase, špatné dynamické vlastnosti, elektrický šum a malá odolnost proti přetížení. Naopak k výhodám patří velmi dobře zvládnutá technologie výroby, poměrně dobré mechanické vlastnosti a stálost charakteristiky i po absolvování relativně velkého počtu zatěžovacích cyklů.

V praxi se vyskytují v zásadě dva základní typy uspořádání piezorezistivních maticových taktálních senzorů. Při oboustranném uspořádání mají vodivé elektrody tvar rovnoběžných a vzájemně izolovaných proužků. Sady elektrod jsou dvě, navzájem kolmé, každá po jedné straně vrstvy piezorezistivního materiálu (obr. 20a). Změna odporu deformované sycené pryže se tak snímá na průsečících obou sad elektrod, které vytvářejí základní síť matice prvků. Vnější mechanické zatížení zdeformuje piezorezistivní vrstvu 2 a ta spojí s jistou vodivostí elektrodu ze spodní sady elektrod 1 s příslušnou elektrodou horní sady 3.



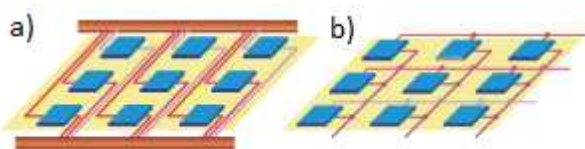


Obr. 20 - Uspořádání elektrod u piezorezistivních maticových taktilních senzorů systémů: a) oboustranně, b) jednostranně [14]

Při jednostranném uspořádání se elektrody nacházejí jen na jedné straně aktivní pryže (obr. 20b). Samotný taktilní prvek nyní tvoří vnější elektroda 4 a vnitřní elektroda 5, které překrývá vrstva piezorezistivního materiálu 6. Odpor je snímán jen na jedné straně mezi vnější a vnitřní elektrodou a obdobného maticového uspořádání jako v předchozím případě je dosaženo tím, že např. vnější elektroda je zapojena do sloupců a vnitřní do řádků, popř. naopak.

Elektronika používaná k získání napěťového signálu z jednotlivých taktilních prvků musí splňovat některé požadavky a omezení. Citlivý povrch taktilního snímače musí zůstat volný, aby mohl být ve styku se sledovaným objektem. Proto je třeba volit zvláštní způsob připojení vodičů, které je navíc zpravidla třeba minimalizovat z důvodů prostorových montážních omezení. S výhodou se zde využívá „skenování“ a přepínání (multiplexovaný režim). Opět existují dva základní přístupy.

Prvním je použití sběrnice s adresací každého prvku matice snímače (obr. 21a). Zvolený taktilní prvek posílá údaje na společnou datovou sběrnici. Hlavní nevýhodou tohoto řešení je složitost jednotlivých buněk, kdy je třeba každou připojit přes příslušné vstupní a výstupní rozhraní.



Obr. 21 - Způsoby připojení matice taktilních prvků: a) sběrnice, b) koncepce řádků a sloupců [14]

Druhý způsob, jak získat potřebné informace z jednotlivých buněk matice je založen na principu řádků a sloupců (obr. 21b). V tomto případě počet vodičů oproti sběrnicevému řešení sice vzroste, ale připojení se tím současně velmi zjednoduší.

Problémem je připojení celé řady nebo sloupce ke společnému vodiči, což vede k možnosti zkratů mezi prvky a k většímu vzájemnému ovlivňování sousedních prvků a často také k nežádoucím přeslechům. [14]

## 4 Návrh kontaktního plošného inteligentního systému

Před samotným návrhem systému bylo nutné určit jeho rozměry, dále stanovit na jakém principu bude fungovat a jakým způsobem bude komunikovat s okolím. Při jeho navrhování jsem se inspiroval technologiemi komerčních produktů, které pracují na principu snímání tlaku. Systém jsem vypracoval na obdobném principu, na jehož základě pracuje vybraný produkt [12], který měří rozložení tlaku v obuvi u pacientů po operaci dolní části končetiny.

Při konzultaci s vedoucím práce jsme se domluvili na použití maticového rozložení senzorů, které jsou pokryty vodivým elastomerem. Při změně tlaku působícího na senzory dochází ke změnám hodnot jejich odporu. Informace z této matice jsou zpracovávány prostřednictvím jednočipového mikroprocesoru a okolními perifériemi. Po zpracování informací jsou data poslána k vizualizaci do PC připojeného pomocí datového kabelu k měřicí části systému.

Před návrhem systému byly stanoveny tyto cíle:

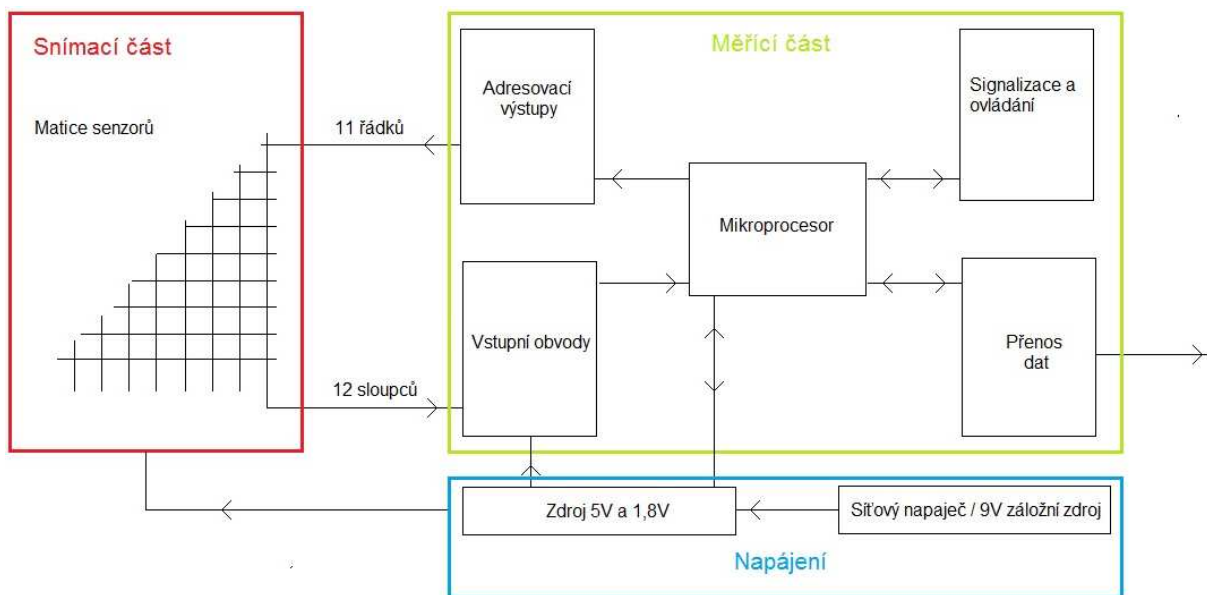
- Systém bude možné vytvořit s použitím klasických elektronických prvků a dostupných technologií, které lze využít v případě budoucí sériové výroby.
- Měřicí část zařízení bude splňovat rozměry, které umožní snadné zacházení a uložení.
- Systém bude primárně určen k hlídání lehčích předmětů a rozměry jeho konstrukce budou omezeny ke střežení např. cenných věcí, sošek, číší apod.

### 4.1 Blokové schéma

Prvotní fází návrhu systému bylo nakreslení blokového schématu, viz obr. 22. Celý systém jsem navrhl a zakreslil do tří částí.

- Snímač je tvořen maticí snímacích bodů, které budou vyleptány na cuprexitovou desku. Pro komunikaci s měřicí částí slouží konektor.
- Měřicí část stahuje data ze senzorů pomocí plochého kabelu, mikroprocesor a ostatní součástky zpracovávají informace pro PC, které jsou do něj zasílány přes sériový port.

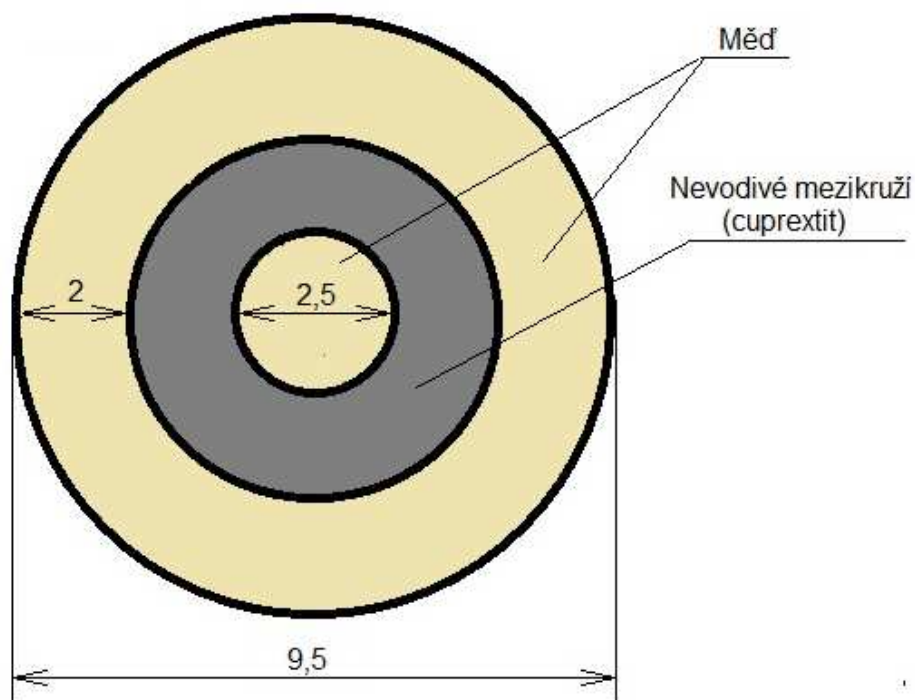
- Zdrojem energie pro již zmíněné části je blok napájení.



Obr. 22 - Blokové schéma systému

## 4.2 Snímač

Senzor tlaku (viz obr. 23) je navržen dvěma kruhovými vodivými elektrodami. Mezi nimi je nevodivé mezikruží. Vnitřní elektroda je vytvořena o průměru 2,5 mm, rozměr celého senzoru činí 9,5 mm a jeho plocha zaujímá  $70,8 \text{ mm}^2$ .

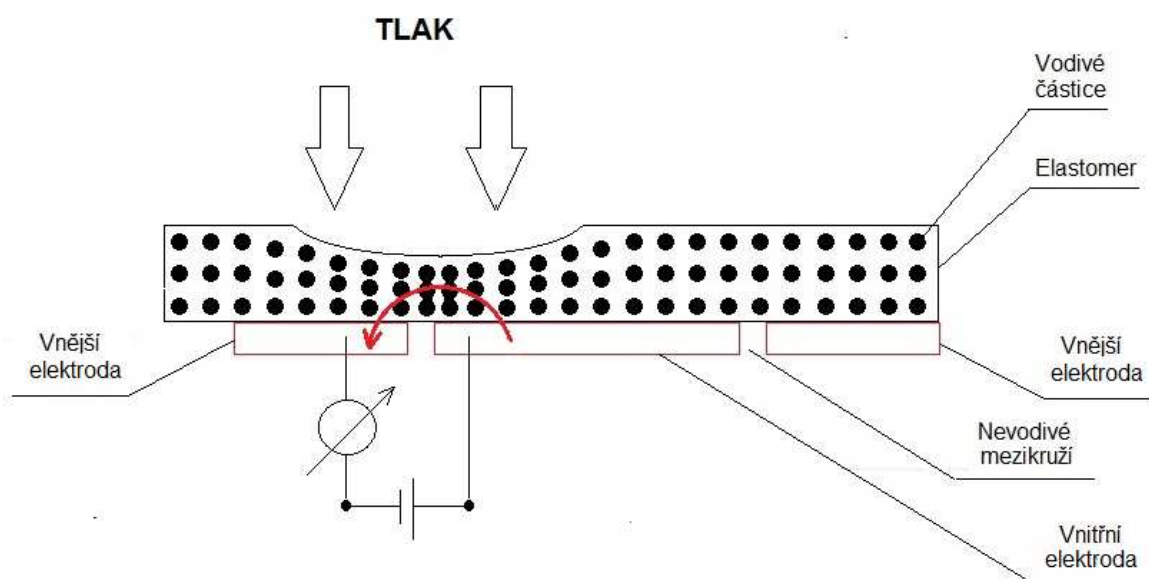


Obr. 23 - Senzor tlaku

Při navrhování jsem zvolil jednostranné rozložení kruhových elektrod a jejich způsob připojení jako soustavu řádků a sloupců. Snímač je složen ze 132 senzorů rozložených do matice o 11 řádcích a 12 sloupcích. V každém průsečíku těchto spojů je umístěn jeden senzor. Snímač je pokryt aktivním elastomerem s piezorezistivními vlastnostmi.

Při položení střeženého předmětu na elastomer, dojde ke zvýšení tlaku působícího na senzory a zároveň k přiblížení vodivých částic, které elastomer obsahuje. Dojde tak k vytvoření vodivé cesty mezi vnitřní a vnější elektrodou, jejíž odpor je omezen nevodivým mezikruží. Měřicí část vyhodnocuje hodnoty odporu mezi elektrodami, které se důsledkem zatížení snižují. Princip měření znázorňuje obr.24, kde je zobrazen průřez části snímače s jedním senzorem.

Vzhledem k tomu, že elastomer není mezi senzory mechanicky rozdělen, je prostor mezi nimi vyplněn mědí s konstantním napětím 1,8 V, která zabraňuje elastomeru přenášení elektrické vazby na další senzory.



Obr. 24 - Princip měření

Jako aktivní materiál byla zvolena tenká fólie vodivé silikonové pryže, vyráběná japonskou firmou Yokohama Rubber Co. s typovým označením CS57-7RSC. Tato fólie je vyrobena na bázi polysiloxanu, tedy silikonové pryže, která zajišťuje fólii elasticitu. Jako vodivé částice slouží práškový grafit a příměsí částic oxidu železitého ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) a oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ).

Základní technické parametry elastomeru jsou (dle výrobce Yokohama Rubber, 2010): [18]

- tloušťka materiálu 0,5 mm,
- barva šedočerná,
- pevnost v tahu 1,86 MPa,
- opakované maximální zatížení pro 107 cyklu 1,5 MPa,
- doporučená pracovní teplota -30 °C až +100 °C,
- prodloužení při přetržení 220%,
- dodávaný rozměr A4 (0,5×209×296 mm),  
nebo 0,5×220×500 mm,
- tvrdost 50 Sh A.



Obr. 25 - Zvětšená struktura elastomeru [18]

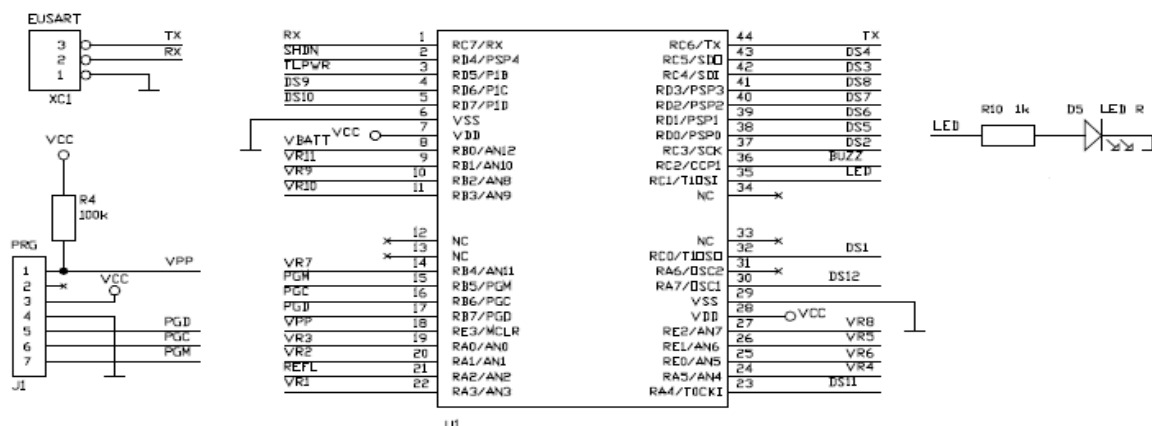
### 4.3 Měřicí část

Z blokového schématu popsaného v kapitole 4.1 je patrné, že hlavním prvkem měřicí části je osmibitový mikroprocesor s označením PIC18F4420, který řídí a vyhodnocuje většinu funkcí systému. Jeho parametry popisuje tab. 3.

Tab. 3 - Funkcionality mikroprocesoru [20]

Funkce	PIC18F4420
Frekvence	DC - 40 MHz
Programová paměť (Byte)	16384
Programová paměť (instrukce)	8192
Datová paměť (Byte)	768
Datová paměť EEPROM (Byte)	256
Počet zdrojů přerušení	20
Počet I/O	36
Počet časovačů	4
Sériová komunikace	Enhanced USART
Paralelní komunikace	Ano
Časovač 8/16-bit	1/3

Popis zapojení mikroprocesoru, včetně vstupních obvodů, je znázorněn na obr. 26. Červená LED dioda D5 umístěná na měřicí části signalizuje zapnutí celého systému. Sériový kanál Eusart slouží ke komunikaci mezi systémem a PC. Protože je mikroprocesor vytvořen technologií SMT je jeho programování možné pouze v PC. Aby bylo možné mikroprocesor naprogramovat bylo vyvedeno další rozhraní na samotný konektor J1, na který je připojeno napájení pro jeho programátor.



Obr. 26 - Mikroprocesor s perifériemi [12]

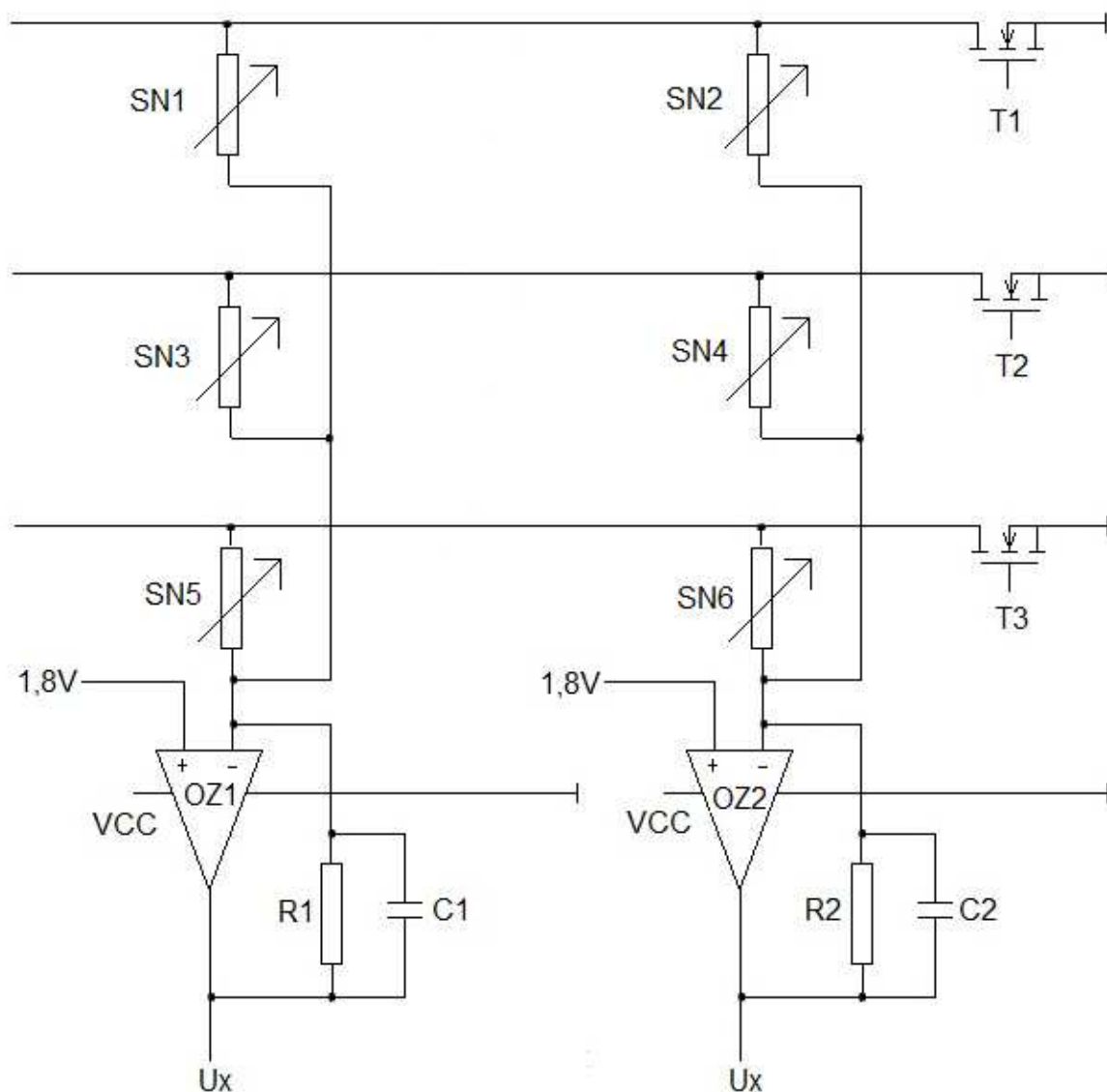
Princip funkce vyhodnocování zatížení senzoru znázorněný na obr. 27, je vysvětlen na průsečíku prvního řádku - spojnicí vnějších elektrod a prvního sloupce - spojnicí vnitřních elektrod. Pro lepší přehlednost jsou senzory zakresleny jako potenciometry. Při položení střeženého předmětu na snímač adresovacích výstupů sepnou tranzistor T1 a přepnou první řádek na nulový potenciál. Tím dochází k připojení operačního zesilovače OZ1, na jehož neinvertujícím vstupu je napětí 1,8 V. Tranzistory T2 a T3 zůstávají rozepnuté. Hodnota výsledného napětí bude zvýšena o 1,8 V dle vztahu:

$$U_x = 1,8V \cdot \left( 1 + \frac{R1}{SN1} \right)$$

Odpor zatíženého senzoru odpovídá hodnotě SN1, odpor R1 je konstantní. Hodnota  $U_x$  se dále přesouvá na multiplexor, který je integrován do mikroprocesoru. Všechny varianty vstupů jsou převedeny multiplexorem do jednoho výstupu. Na všechny zmíněné varianty vstupů jsou připojeny jednotlivé operační zesilovače OZ1 až OZ12. Mikroprocesor řídí přepínání vstupů na výstup. Hodnota  $U_x$  je dále vyslána do A/D převodníku, kde se převede na 8b hodnotu, kterou dokáže mikroprocesor zpracovat.

Po výstupu hodnoty  $U_x$  z OZ1 dochází k připojení OZ2 k multiplexoru, následně k A/D převodníku a celá operace se opakuje. Po načtení hodnot napětí všech senzorů v řádku je tranzistor T1 vypnut a dochází k sepnutí tranzistoru T2. Měření pokračuje na druhém řádku stejným způsobem jako v předchozím případě.

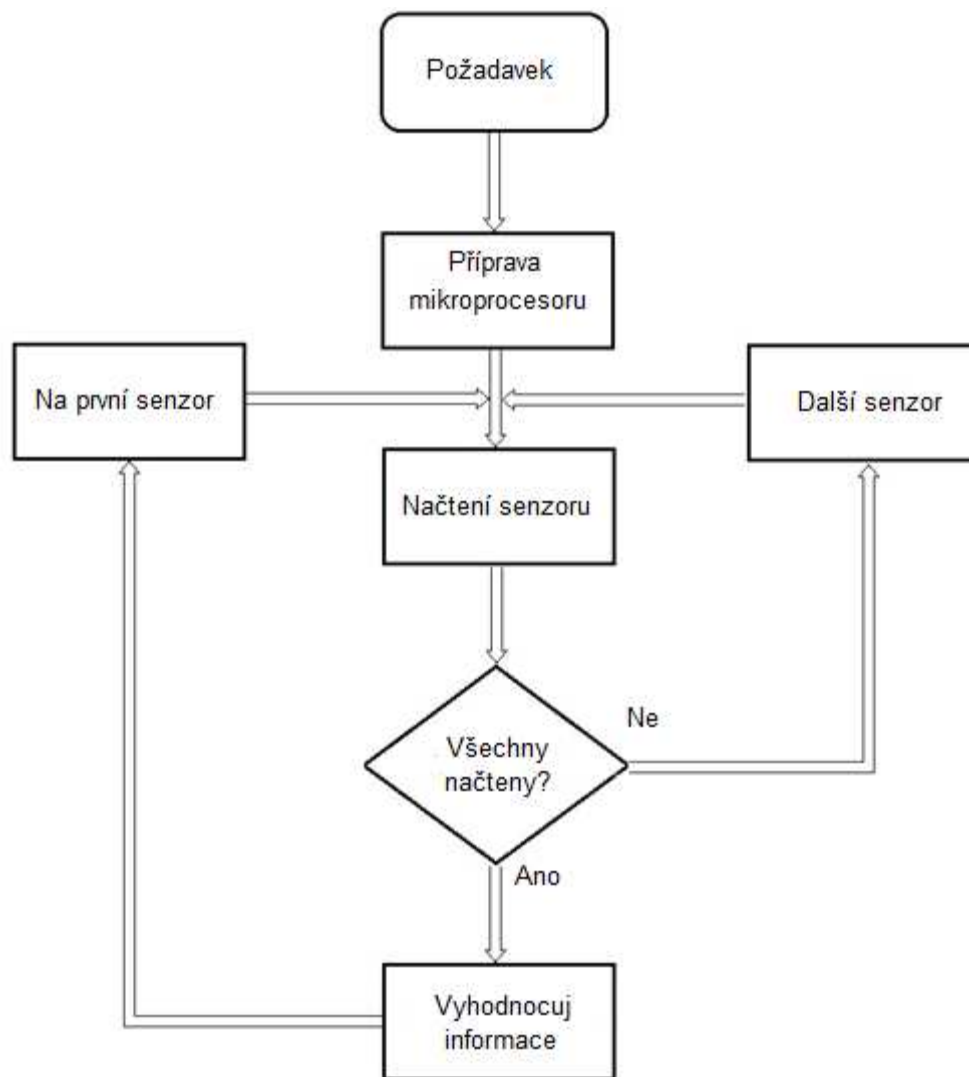




Obr. 27 - Schéma zapojení

Správná funkčnost systému závisí hlavně na řídicím algoritmu mikroprocesoru, který však sám vykonávat požadované funkce nedokáže. Z tohoto důvodu byl naprogramován strojovým kódem.

Je třeba, aby mikroprocesor periodicky načítal informace ze senzorů a vyhodnocoval je. Procesy, které by měl vykonávat, jsou patrné z obr.28 zobrazující jeho algoritmus.



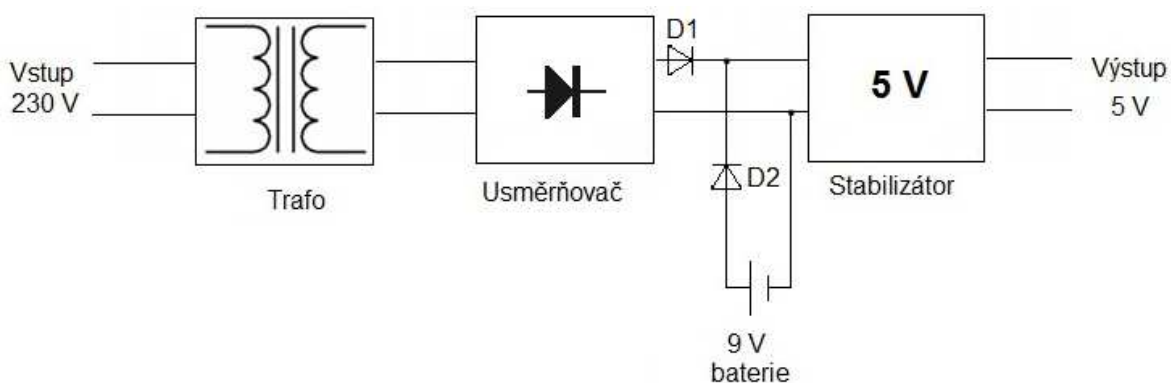
Obr. 28 - Řídící algoritmus mikroprocesoru

Po požadavku na spuštění programu (zapnutí systému) následuje příprava mikroprocesoru, který si nakonfiguruje všechny periférie a to nejen jeho vnitřní, ale hlavně ty vnější, jako je obvod napájení a rozhraní pro komunikaci s PC. Tyto fáze jsou v obr. 28 označeny jako blok příprava mikroprocesoru, ten se vykonává vždy při spuštění systému. Po té následuje hlavní smyčka algoritmu, která se vykonává periodicky do vypnutí systému. V této smyčce se program stará o postupné načítání všech senzorů. Po přípravě mikroprocesoru je adresa nastavena na první řádek prvního sloupce, tedy na první senzor. Mikroprocesor sepne tranzistor pro první řádek a nastaví vstup operačního zesilovače pro příslušný první sloupec (viz popis funkce obr. 27), následuje měření a převedení na hodnoty odpovídající zatížení pomocí A/D převodníku a uložení do paměti na první pozici

paketu dat. Následuje načtení zbývajících sloupců v daném řádku. Tento postup se opakuje pro zbývajících řádky a po něm následuje odeslání výsledného paketu dat do PC.

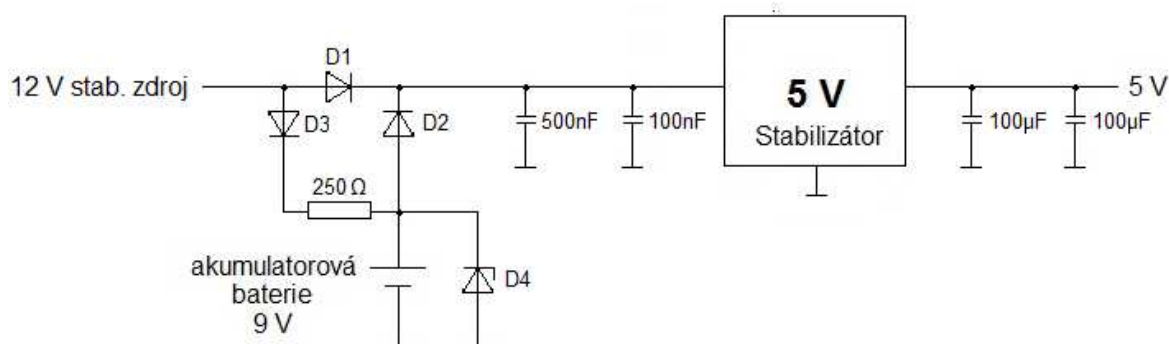
#### 4.4 Napájení

Napájení systému je prováděno přes stabilizovaný zdroj 5 V a 1,8 V. Pro případ výpadku tohoto zdroje je systém vybaven baterií o nominální hodnotě 9 V, která slouží jako záložní zdroj. Celý systém napájení je rozdělen na dvě větve. Větev s 1,8 V slouží pro vstupní obvody, 5 V pro ostatní elektroniku. Schéma zapojení zobrazuje obr. 29.



Obr. 29 - Schéma zapojení napájení

Napájecí zdroj je možné do budoucna vylepšit nahrazením současného záložního zdroje akumulací baterií, viz obr. 30.



Obr. 30 - Schéma zapojení s akumulátorovou baterií

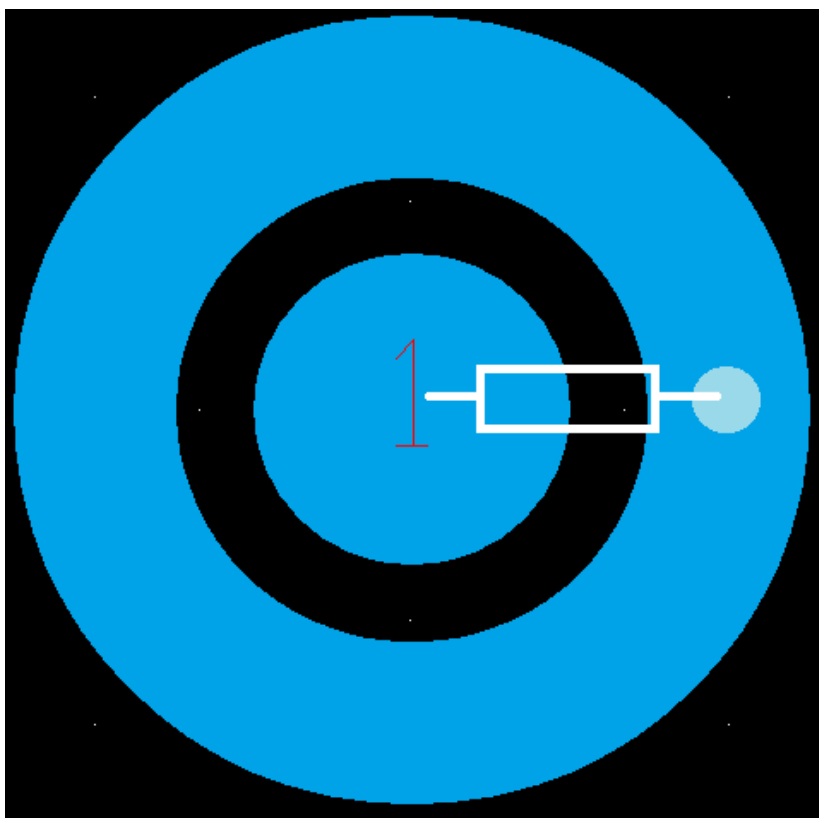
## 5 Realizace

Realizace systému byla prováděna na základě tří fází. První fází bylo samotné navržení snímače, následovala jeho výroba a poté bylo provedeno osazení snímače a měřící části elektronickými součástkami.

### 5.1 Návrh desek plošných spojů

K návrhu a výrobě desky plošných spojů pro měřící část, byla využita již vytvořená předloha neosazené měřící části [12], viz příloha 2.

K vytvoření vizualizace návrhu desky plošných spojů pro snímač byly využity dva editory softwaru Orcad. Pro vizualizaci senzorů bylo třeba navrhnout specifické pouzdro, které knihovna Orcadu neobsahuje, viz obr. 31. Výsledný návrh zapojení senzorů je znázorněn v příloze 3.



Obr. 31 - Realizace snímače v programu Orcad

## 5.2 Výroba desek plošných spojů

Pro výrobu desek bylo požadováno dodržení těchto výrobních postupů:

- zlacení všech snímacích bodů - zlato nereaguje s okolním prostředím a nevzniká tak vrstva oxidace,
- rozlévaná měď mezi senzory - při napětí 1,8 V nám zamezuje vzájemné ovlivňování jednotlivých senzorů,
- spojovací cesty budou pokryty nepájivou maskou.

Při výrobě desky firma, které byla zakázka zadána, tyto postupy nedodržela a desku snímače místo zlacení galvanicky pocínovala. Tato deska byla podrobena měření, při kterém bylo zjištěno, že pocínování je silně nevyhovující kvůli vznikající oxidaci, a tím i špatné citlivosti snímačů. Zatížení 4 N odpovídala hodnota 2,2 MΩ, 5 N hodnota 1 MΩ a 10 N hodnota 0,4 MΩ. Výsledná podoba správně vyrobené desky je zobrazena v příloze 4.

## 5.3 Osazení elektronických součástek na desky plošných spojů

Většina elektronických součástek pro osazení měřicí části byly dostupné z prodejen v České republice, pouze stabilizátor napětí MAX1837EUT50 byl objednan a zaslán přímo od výrobce z USA.

Tab. 4 - Seznam použitých součástek pro výrobu systému

Položka	Počet kusů	Reference	Hodnota (typ)	Poznámka
1.	6	C1, C2, C5, C6, C10, C13	10u	0805
2.	8	C3, C7, C8, C9, C12, C14, C15, C16	1n	0805
3.	11	C17 - C27	100p	0805
4.	2	D1, D2	BAT 54S/SOT	
5.	1	D3	TGL 34 - 6,8A	
6.	1	D4	MURS120	
7.	1	D5	LED červená	0805
8.	1	F1	SMDC 014	pojistka
9.	1	J2	PWR 9V	
10.	2	J3, J4	MLW 26	konektor
11.	2	L1, L2	SD25 101	
12.	2	R1, R6	100R	0805
13.	4	R2, R5, R7, R9	10k	0805
14.	3	R3, R4, R8	100k	0805
15.	12	R10, R12 - R22	1k	0805
16.	1	R11	47k	0805
17.	1	SW1	P-DT2112	spínač
18.	12	T1 - T12	TSM2302	SOT23
19.	1	U1	PIC18F4420	mikroprocesor
20.	1	U2	TC1015-1.8V	stabilizátor
21.	1	U3	MAX1837EUT50	stabilizátor
22.	11	U4 - U14	MCP6001T	SOT23

Osazení součástek na jednotlivé desky bylo provedeno mikropájkou. Na desku byly pájeny součástky s pouzdry typu SMD a součástky s klasickými pouzdry - konektory a spínač.

Použití jednotlivých součástek je znázorněno v příloze 5, kde je zároveň zobrazeno zapojení celého systému.

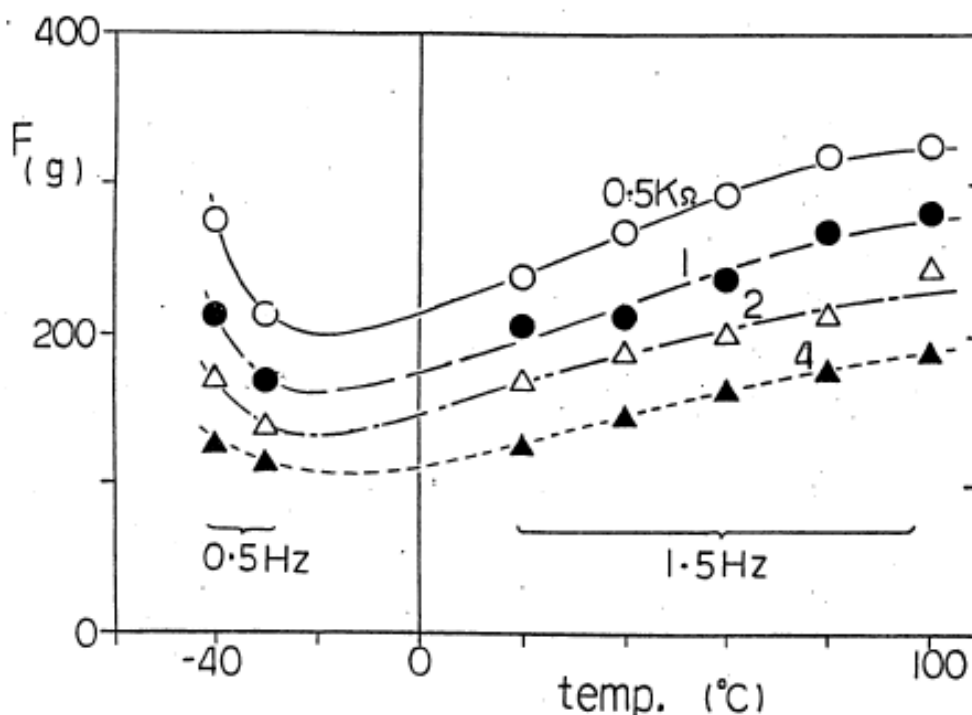
## 6 Ověření

Funkčnost systému byla ověřena na základě měření odporu senzoru v závislosti na zatížení a otestování správné komunikace s PC.

### 6.1 Chyby měření systému elastomeru

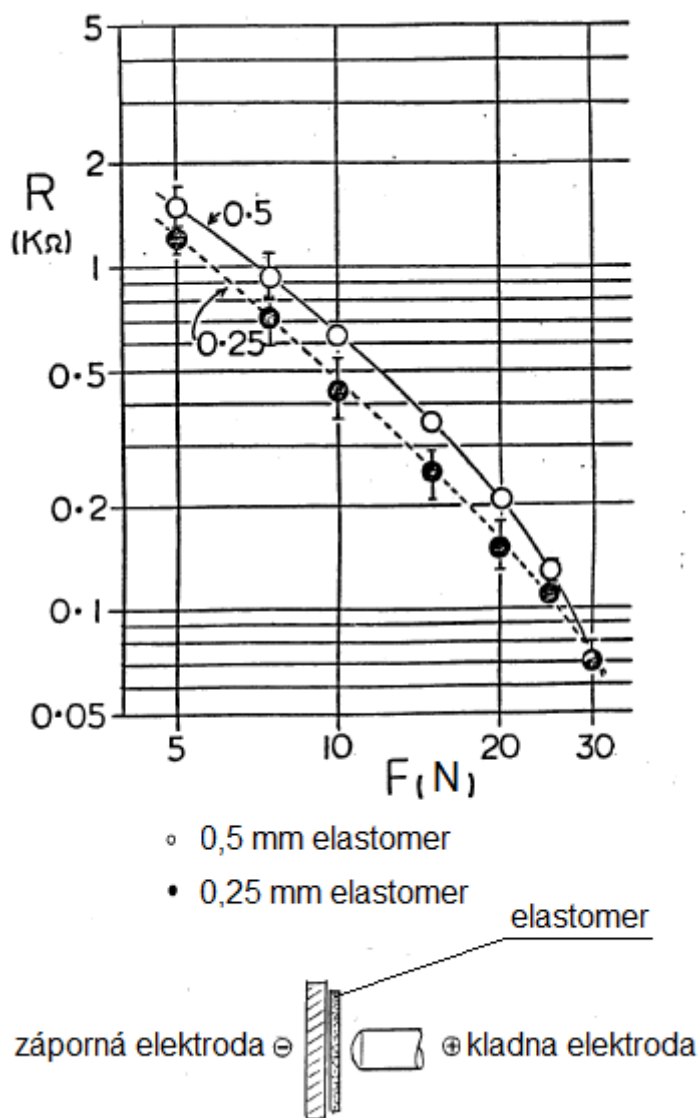
Chyby měření byly zjištěny dle technické dokumentace od výrobce elastomeru [13]. Chyby měření jsou způsobovány především hysterezí, dále hodnotami odporu při odlehčování hlídaného předmětu a dlouhou dobou ustálení hodnoty odporu při položení předmětu na snímač.

Výrobce žádné konkrétní číselné údaje o chybách hystereze elektrických parametrů při změně smyslu zatížení senzoru neuvádí. Na hysterezi má podle výrobce hlavní vliv teplota (viz obr. 32), důvodem je změna vlastností elastomeru. V muzeích a prodejnách, kde je ve většině případů pokojová teplota, se není třeba vlivem teploty na funkčnost systému zabývat. Další vliv na hysterezi může mít rychlost zatěžování a konstrukce elektrod.



Obr. 32 - Vliv závislosti teploty [13]

Chybu způsobuje i tloušťka elastomeru a to při její výměně za tenčí. Při menší tloušťce dochází při zatížení elastomeru k většímu zhuštění vodivých částic k sobě, a tím vytvoření lepší vodivostní cesty. Jednotlivé průběhy odporu v závislosti na zatížení pro obě výrobce vyráběné tloušťky elastomerů ukazuje obr. 33.



Obr. 33 - Vliv tloušťky elastomeru [13]

Při lehkém zatížení může být další chyba způsobena špatnou přilnavostí elastomeru na elektrodu. Z tohoto důvodu je nutné dbát na to, aby byl elastomer dobře přichycen a zabránilo se tak možnému výskytu nečistot mezi ním a elektrodou.



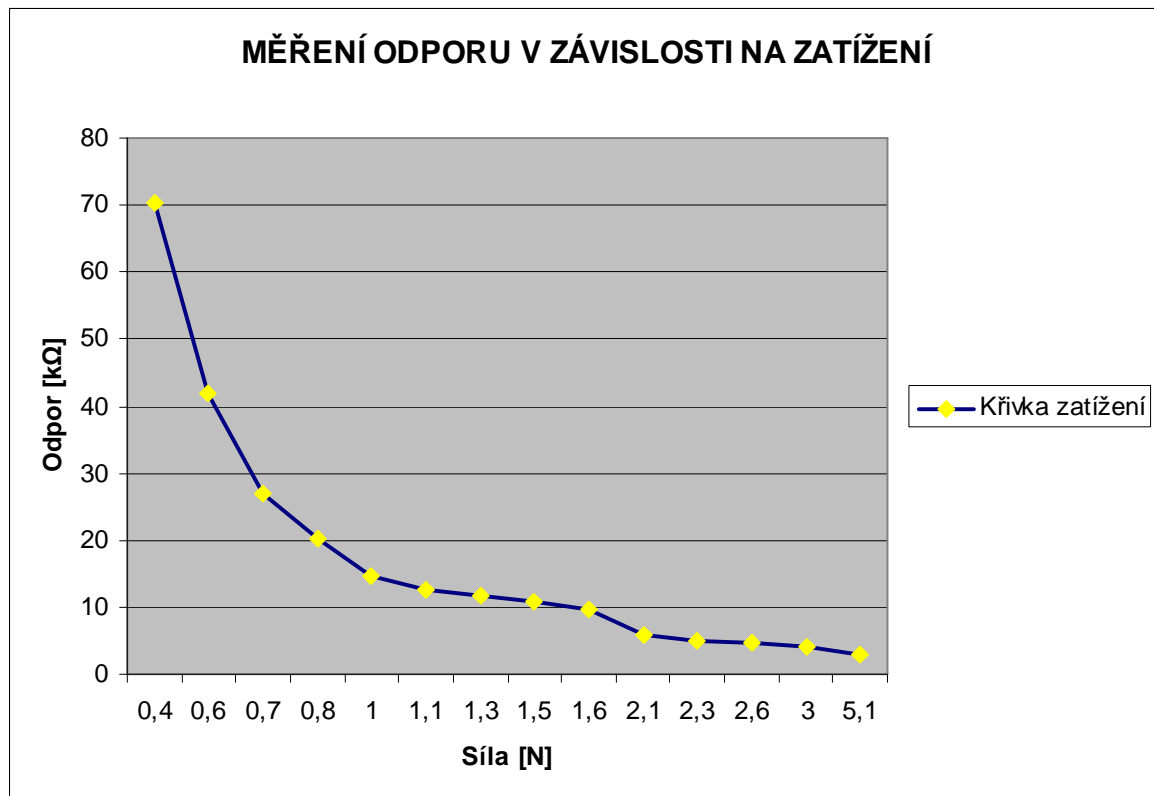
## 6.2 Měření odporu senzoru v závislosti na zatížení

Po sestavení systému bylo třeba zjistit, zda senzory mají správnou hodnotu odporu v závislosti na zatížení. Bylo žádoucí, aby naměřené hodnoty odporu byly maximálně v řádech kilo Ohmů.

Měření bylo provedeno ohmetrem, jehož jedna strana byla připojena na vnitřní a druhá strana na vnější kruhovou elektrodu. Následně byl senzor překryt elastomerem a docházelo k postupnému zatěžování, odpovídající hodnotám uvedených v tab. 5. Výsledný průběh je znázorněn v grafu, viz obr. 34.

Tab. 5 - Výsledky měření

Síla [N]	Odpor [kΩ]
0,4	70,2
0,6	42
0,7	27,1
0,8	20,3
1	14,7
1,1	12,5
1,3	11,7
1,5	10,9
1,6	9,7
2,1	5,8
2,3	5,1
2,6	4,6
3	4,1
5,1	2,8



Obr. 34 - Měření odporu v závislosti na zatížení

### 6.3 Rozhraní

Pro komunikaci s PC bylo zvoleno starší sériové rozhraní, aby si potenciální zákazník mohl zvolit takovou komunikaci, která mu bude nejlépe vyhovovat. Sériové rozhraní je také možné použít do starších systémů a počítačů a lze z něj snadno převádět na rozhraní USB nebo Bluetooth, které jsou v dnešní době nejpoužívanější.

Pro navrhovaný systém by zvolen převodník ze sériové komunikace na rozhraní USB. Tento převod byl nejdříve vyzkoušen přes kabel NOKIA CA-42 obsahující v konektoru převodník. Tento kabel nebyl nakonec využit z důvodu nemožnosti navázání komunikace se systémem v počítači, kde se připojené zařízení hlásilo jako modem.

Nakonec byl zvolen klasický převodník RS232/USB, který vede z měřicí části přes devíti-pinový konektor CANON do PC.

### 6.4 Komunikace s PC

Ověření komunikace systému s PC bylo provedeno pomocí sériového rozhraní. Bylo potvrzeno, že mikroprocesor načítá hodnoty ze senzorů dle požadavků a převádí

hodnoty napětí do hodnot zakódovaných v šestnáctkové soustavě, které pak přes komunikační rozhraní přenáší na plochu monitoru.

Na monitoru tak bylo zobrazeno 132 hodnot v šestnáctkovém kódování, které odpovídaly zatížení všech 132 senzorů. Hodnoty se periodicky načítaly po jedné sekundě. Hodnoty se měnily podle síly zatížení senzorů a byla tak potvrzena správná funkčnost systému a naprogramování mikroprocesoru.

## **6.5 Vizualizace**

Program pro vizualizaci vychází z již vytvořeného softwaru pro systém Plantograf, ze kterého byla použita pouze část kódu. Tento kód byl napsán v programu Visual Studio C# 2010 Express a je součástí přílohy na CD.

Program slouží k vizualizaci míry zatížení senzorů na monitoru PC. Intenzita zatížení je znázorňována prostřednictvím palety barev. Dolní hranice palety (v tomto případě šedá barva) odpovídá nízkým naměřeným hodnotám a horní hranice palety (v tomto případě červená barva) odpovídá vysokým naměřeným hodnotám viz obr. 35.

Jednotlivé čtverce představují senzory a zobrazená čísla vyjadřují jejich míru zatížení, která je vyjádřena hodnotami 0-255.

Program načítá hodnoty zatížení a ukládá si je do paměti. Uložené hodnoty mezi sebou porovnává každou sekundu a v případě zaznamenání změny u jedné z nich se automaticky spouští upozornění na monitoru PC v podobě zvýrazněné notifikace. Po úpravě programu lze vyvolat rovněž zvukový alarm.

90	50	70	214	89	118	104	26	23	87	115	148
103	252	66	243	166	0	22	159	246	158	187	150
77	145	83	18	191	192	177	186	211	237	88	248
100	247	22	27	213	143	54	111	48	152	51	110
139	17	42	99	215	169	57	174	21	201	76	40
79	240	75	107	94	23	60	157	213	66	213	112
197	200	229	213	51	20	233	129	51	243	68	65
75	148	174	41	236	55	118	123	129	136	81	128
195	163	151	216	216	58	147	60	111	156	222	32
18	10	140	52	102	64	164	201	75	154	12	98
240	75	107	83	18	191	100	247	22	60	157	213

Obr. 35 - Zobrazení zatížení senzorů

## 6.6 Technické parametry

Napájení:	ze sítě, 9V
Počet snímacích bodů:	132
Rozhraní:	sériové s možností převodu na jiné
Rozměry:	
Měřicí část:	43 x 60 x 11 mm
Snímací část:	23 x 22 x 11 mm
Hmotnost:	
Měřicí část:	18g
Snímací část:	164g

## 7 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a vytvořit systém pro zabezpečovací techniku určený pro hlídání cenných předmětů v muzeích, např. vázy, sošky apod. Při vytváření návrhu jsem vycházel z předlohy zařízení, které je určeno pro zkoumání rozložení tlaku na plošce nohy, tzv. Plantografem, další inspirací byl snímač pro měření rozložení tlaků v obuvi.

Výsledkem mé práce je snímač vyrobený dle mého návrhu a deska s měřicí částí. Nový systém funguje na principu přeměny odporu při působící síle na snímací část desky se 132 senzory pokryté elastomerem. V případě nepatrného pohybu střeženého objektu na desce dochází ke změně odporu, a tím je automaticky spouštěn alarm.

Funkčnost systému byla ověřena připojením k PC přes sériové rozhraní a sledováním hodnot, které senzory vykazovaly při různém stupni zatížení. Změny hodnot ověřily správnou funkčnost tohoto systému. Dále bylo provedeno měření odporu v závislosti na zatížení, jehož hodnoty byly vykazovány v požadovaných jednotkách -  $k\Omega$ . Systém dokáže reagovat na zatížení již o síle 0,4 N na jeden senzor.

Při vhodné úpravě softwaru je možné tento systém využít také pro měření v oblasti fyziky, konkrétně pro měření tlaku nebo také jako tísňový systém s funkcí tichého alarmu, např. v peněžních ústavech.

## 8 Literatura

### Použitá literatura:

1. MAŘÍK, V. - ŠTĚPÁNKOVÁ, O. - LAŽANSKÝ, J. *Umělá inteligence 5*. Praha: Academia, 2007. 544 s. ISBN 978-80-200-1470-2.
2. UHLÁŘ, J. *Technická ochrana objektů 2.díl*. Praha: PČR, 2009. 229 s. ISBN 978-80-7251-313-0
3. VOLF, J. Taktilní senzory. *Automa*, 2008, 7, s. 16-19.
4. VOLF, J. *Tactile sensors and their Using in Robotics and Biomechanics*. Praha: ČVUT, 2008. 40s. ISBN 978-80-01-04082-9
5. VOLF, J. *Taktilní senzory a snímače*. Nepublikovaná práce
6. Sensors. Puchheim: Sensortechnics, 2005. 36 s.
7. Forse Sensing Resistors Integration Guide and Evaluation Parts Catalog. Camrillo: Interlink electronics, 2006. 26 s.
8. LIU, H. - MEUSEL, P. - HIRZINGER, G. *A Tactile sensing for the DLR Three-Finger Robot Hand*. In.: ISMCR 2004. Houston, USA 2004
9. JOCKUSH, J. - WALTER, J. - RITTER, H. *Tactile Sensor System for a Three-Fingered Robot manipulator. Department of Computer Science*. University of Bielefeld, 1997
10. MATSUMIYA, T. - NAKAYAMA, S. - MIURA, Y., etc.: *Intelligent control method for robot hand based on tactile information by double-octagon tactile sensor*. 1999 IEEE International Conference on Systems, man, and Cybernetics ( Cat. No. 99CH37028 ), vol. 2. IEEE, Piscataway, USA, 2001
11. EMGE, S. - CHEN, Ch.: *Two dimensional contour imaging with a fiber optic microbend tactile sensor array*, West Lafayette, USA, 1989. 11 s.
12. KODER, P. *Snímač pro měření rozložení tlaků v obuvi*. Praha, 2010. 78 s.  
Diplomová práce na Technické fakultě české zemědělské univerzity

13. *The pressure sensitive electric conductive elastomer CS57-7RSC*, Technical bulletin. Japonsko: Yokohama Rubber, 1980. 13 s.

**Dostupné z internetu:**

14. *ODBORNÉ ČASOPISY*, [online]. [cit. 2011-03-03]. Dostupné z:  
[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=28605](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28605)
15. *CONTRA*, [online]. [cit. 2011-03-06]. Dostupné z:  
<http://www.contra-brno.cz/html/Download/matte.pdf>
16. *COPSERVIS*, [online]. [cit. 2011-03-15]. Dostupné z:  
<http://www.copservis.cz/?p=41>
17. *FAKULTA STROJNÍ, ČVUT*, [online]. [cit. 2011-03-15]. Dostupné z:  
<http://www.fs.cvut.cz/prt/plantograf/>
18. *YOKOHAMA RUBBER*, [online]. [cit. 2011-02-20]. Dostupné z:  
<http://www.yrc.co.jp/english/index.html>
19. *INTERLINKELEC*, [online]. [cit. 2006-09-11]. Dostupné z:  
<http://www.interlinkelec.com>
20. *FARNELL*, [online]. [cit. 2011-04-05]. Dostupné z:  
<http://www.farnell.com/datasheets/26289.pdf>

## 9 Přílohy

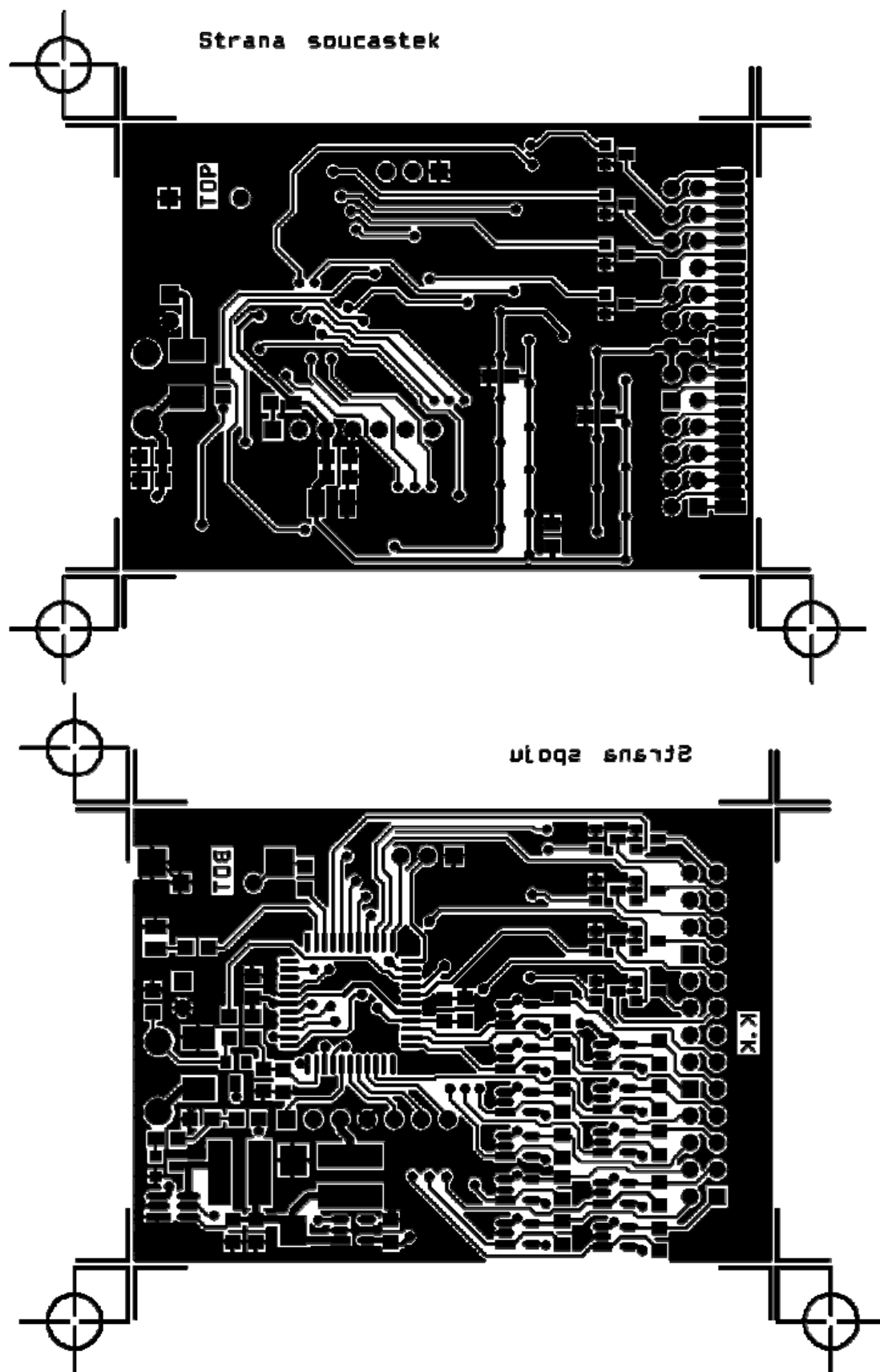
### Příloha1: Technická data nášlapné rohože

#### Bezpečnostní nášlapné rohože ASK – technická data

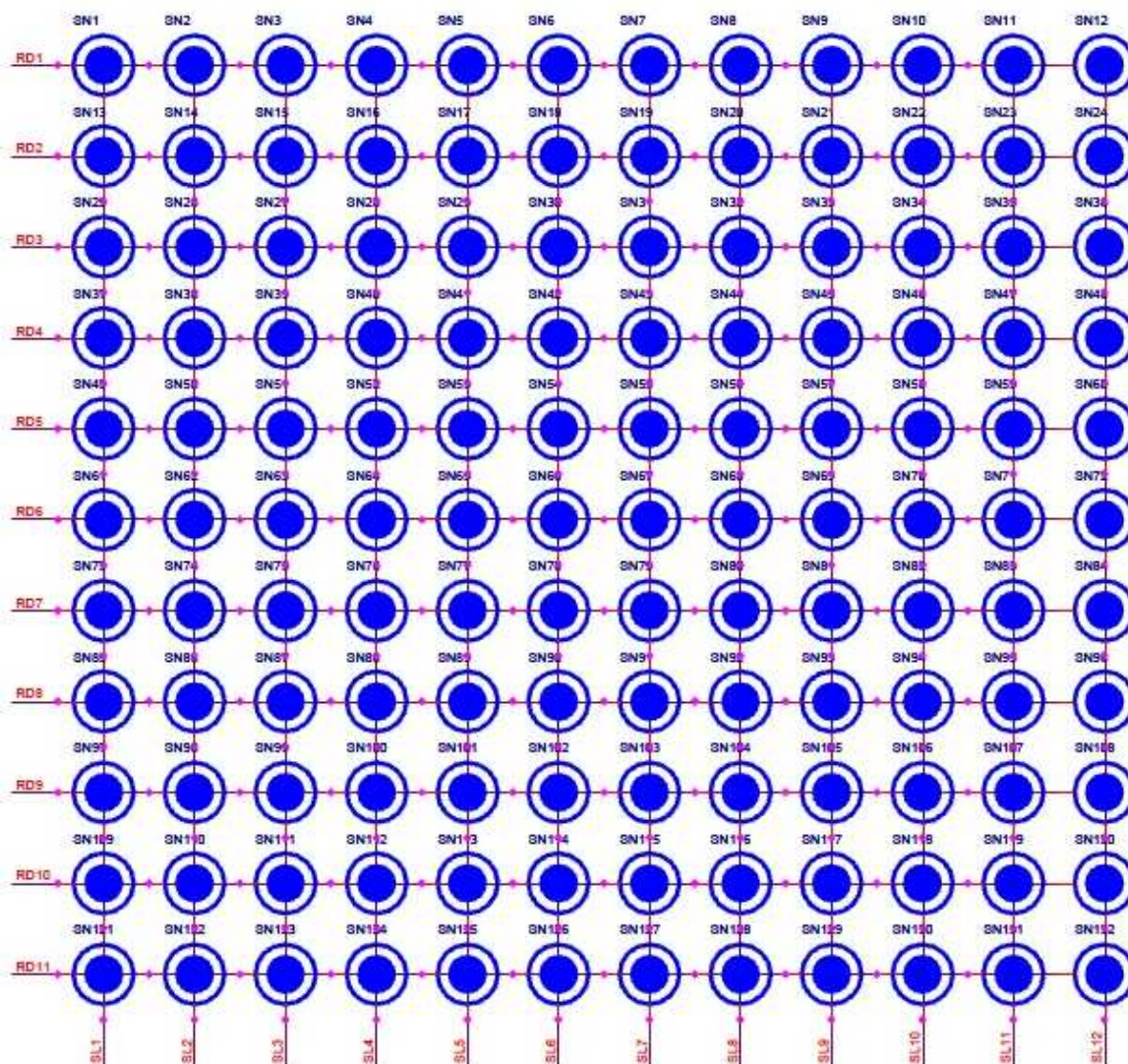
Max možný rozměr ( na přání):	2500 x 1400 mm
Standardní rohož č1 ( skladové zboží)	1000 x 750 mm
Standardní rohož č2	1000 x 1000 mm
Standardní rohož č3	1000 x 1500 mm
Výška rohože:	10 mm ( bez potahu) 14,5 mm ( s potahem resp. plechem)
Váha:	ca 15 kg/ m <sup>2</sup> (bez potahu)
Neaktivní okraj:	max 10 mm kolem dokola
Spínací tlak:	ca 150 N pro kulaté těleso 80 mm průměr
Statické zatížení:	max 2000 N pro kulaté těleso 80 mm průměr
Reakční doba:	max 25 ms ( zkoušeno dle ČSN EN 1760-1)
Životnost:	nejméně 1,5 milionu cyklů
Materiál zálivky:	žlutě barvený polyuretan
Krytí:	IP 65
Teploty:	0 až +60 °C
Chemická odolnost:	tuky, oleje - dobrá 10% kyseliny- odolná 10% louhy - odolná
údržba:	bezúdržbové provedení
přívody:	1x ročně předepsané přezkoušení funkce standardně : volné zakončení vodičů kabelu



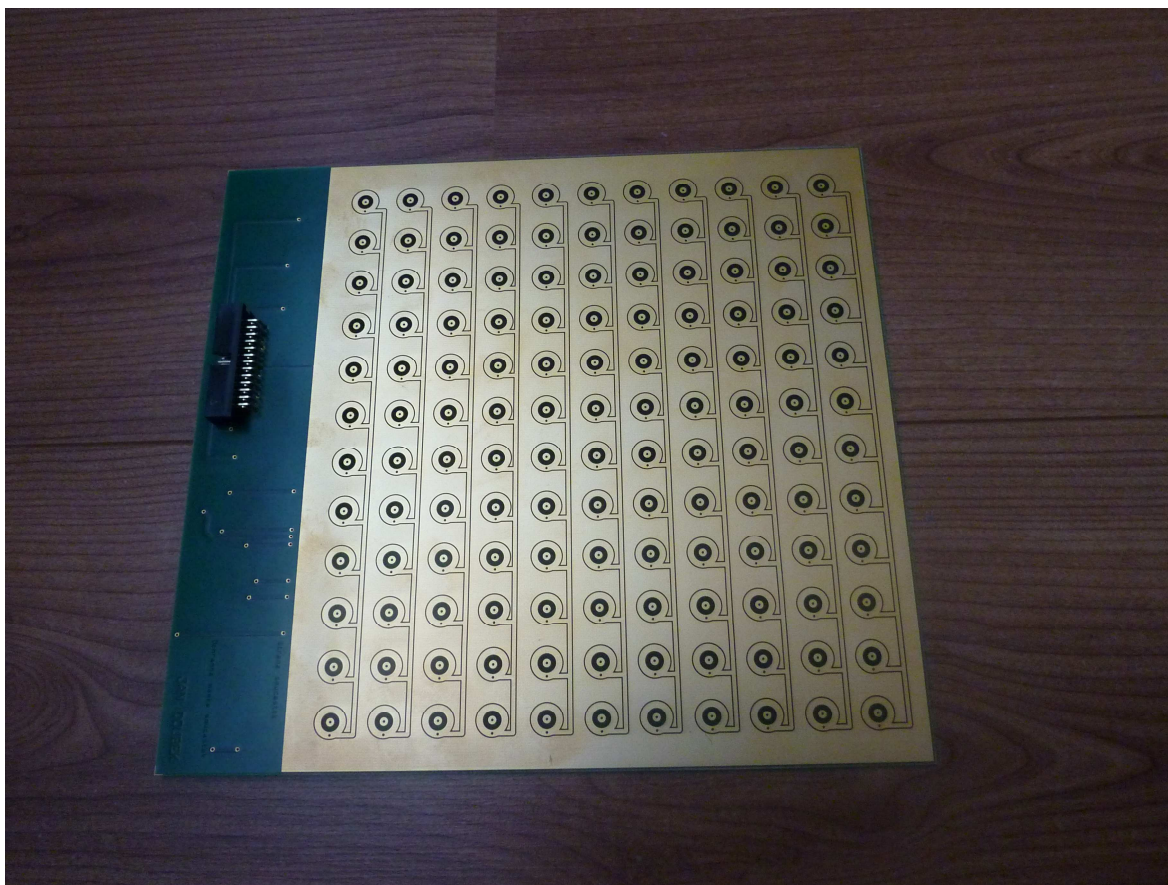
Příloha2: Náhled desky měřicí části v měřítku 2:1



### Příloha3: Schéma zapojení snímací části



#### Příloha4:Deska vytvořeného snímače



# Priloha5:Schéma zapojení systému

