

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Ověření funkčnosti konstrukcí metodami NDT

Verifying the Functionality of Constructions by NDT Methods



Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Jan Tomeček
Ing. Jan Blata Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Tomeček**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Ověření funkčnosti konstrukcí metodami NDT**
Verifying the Functionality of Constructions by NDT Methods

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce se zabývejte možnostmi použití metod nedestruktivní diagnostiky na ocelové konstrukce. Zvolte vhodné metody pro určení technického stavu ocelových konstrukcí. Mezi metody můžete použít metody NDT, např. metodu magnetické paměti metalu, ultrazvukové měření apod.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te konkrétní provozní vyhodnocení.

Další podrobnější specifikace provede vedoucí bakalářské práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

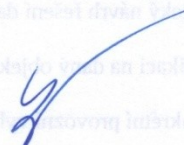
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

Tomeš

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

20.5.2013



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Tomeček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Veselí 33

Mohelnice 789 85

Okres Šumperk

Anotace bakalářské práce

Tomeček, J. Ověření funkčnosti konstrukcí metodami NDT. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2013, 55 s. Bakalářská práce, vedoucí práce: Ing. Blata Jan Ph.D.

V bakalářské práci se zabývám tématem nedestruktivní diagnostiky a její aplikací na konkrétní konstrukci. Konstrukce je navrhnutý nůžkový zvedák zaveden do výroby ve firmě Jewa s.r.o. Na zvedáku jsem aplikoval metodu nedestruktivní diagnostiky, a to magnetické paměti kovů se zaměřením zejména na kvalitu a celistvost svarového spoje uchycení pístu. Tato metoda a její použití je popsána v teoretické části práce. V praktické části bakalářské práce je proveden výpočet maximálního zatížení zvedáku, jeho potřebné konstrukční úpravy a vyhodnocení provedeného měření. Dále jsem provedl simulaci zatížení v 3D programu.

Anotation of bachelor thesis

Tomeček, J. Verifying the Functionality of Constructions by NDT Methods. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Construction, 2013, 55 p. Bachelor thesis, Thesis head: Ing. Blata Jan Ph.D.

In this bachelor work I'm focusing on non-destructive diagnostics and its application to a particular design. The structure is a scissor jack installed in production hall in Jewa Ltd. On the jack I have applied the method of non-destructive diagnostics concretely method of magnetic memories of metal with a particular focus on the quality and integrity of welded joints attaching the piston. This method and its application is described in the theoretical part. In practical part of the work is calculation of maximum load lifting, the necessary structural adjustments and evaluation of measurement. Furthermore, I simulated load in a 3D program.

Poděkování

Děkuji panu Ing. Janu Blatovi, Ph.D. za pomoc a rady při zpracování práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Radku Heczkovi za poskytnuté informace a materiály. Za pomoc při výpočtech děkuji paní Mgr. Ing. Aleně Bilošové, Ph.D.

Seznam použitých značek a symbolů

MMM	“Metal magnetic memory“ (Magnetická paměť kovu)
SCZ	Stress Concetration Zones (Zóny koncentrace napětí)
Hp	Intenzita magnetického pole (A/m)
s. r. o	Společnost s ručením omezením
ČSN EN	Norma
μ_r	Relativní permeabilita
dHp/dx	Gradient magnetického pole ((A/m)/mm)
MKP	Metoda konečných prvků

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
Obsah	8
Úvod.....	10
1 Firma Jewa s. r. o.....	11
2 Nůžkový zvedák	12
3 Metody nedestruktivní diagnostiky	13
3.1 Vizuální kontrola.....	13
3.2 Kapilární defektoskopie	14
3.3 Magnetická defektoskopie	17
3.4 Průmyslová radiologie	20
3.5 Ultrazvuková defektoskopie.....	22
3.6 Metoda MMM.....	24
4 Praktické řešení problému	26
4.1 Schéma zvedáku.....	27
4.2 Rozměry pro původní provedení konstrukce	30
4.3 Konstrukční úprava zvedáku.....	34
4.4 Rozměry pro upravenou verzi konstrukce	35
5 Kontrola pevnosti pomocí MKP.....	37
6 Provedené měření metodou MMM	40
6.1 Měření základního uchycení	41
6.1.1 Grafické výsledky měření	42
6.2 Měření vyztužení.....	43
6.2.1 Grafické výsledky měření	44
6.3 Měření spodního uchycení	45
6.3.1 Grafické výsledky měření	45

7	Závěr.....	47
8	Seznam použité literatury	48
9	Seznam příloh.....	50

Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřena na konstrukci navrženou pro firmu Jewa s. r. o., která sídlí v Bystřici nad Olší a zaměřuje se na výrobu a zpracování dřeva. Konstrukcí je nůžkový zvedák. Pro zvedák jsem provedl výpočet povoleného zatížení a jeho potřebné konstrukční úpravy. Jeho návrh nespĺňuje funkčnost a je potřeba konstrukční úprava umístění polohy pístu. V programu Inventor 2012 je provedena simulace na zvedáku, a tím je také zajištěna kontrola bezpečnosti.

Dále jsem provedl aplikaci metody nedestruktivní diagnostiky. Nedestruktivní diagnostika má v průmyslu své pevné místo a pomáhá zjišťovat příčiny poruch dřívě, než k nim vůbec může dojít. Tímto se řadí k prevenci ve výrobě a následné možnosti využití maximální životnosti strojů nebo k jejímu podstatnému prodloužení. Zvolenou metodou pro měření je metoda MMM neboli magnetické paměti kovů. Cílem bakalářské práce je dosažení funkčnosti zvedáku provedením konstrukčních úprav a kontrola provedení svarového spoje u problémového místa uchycení pístu, kde dochází k silovému namáhání a je potřeba jeho neoptimálnější pozice.

1 Firma Jewa s. r. o.¹

Na trhu působící firma zaměřená na zpracování dřevěného materiálu sídlí v Bystřici nad Olší. Její vznik se datuje k roku 1994. Její hlavní výrobní činnost je výroba lamel pro lepení eurohranolů, ale také zpracování kompletních vazeb na střechy, výroba palubek, produkce sbíjených vazníků a prokladů ze dřeva a návrh a realizace obalových materiálu ze dřeva. Na obr. 1 jsou vyobrazeny kanceláře firmy a prostory pro výrobu.



Obr. 1 Prostory firmy Jewa s. r. o [9]

¹ Kapitola zpracována dle literatury [9]

2 Nůžkový zvedák²

Nůžkový zvedák je zvedací plošina, která využívá nůžkového mechanismu. Skládá se ze dvou kloubově uložených rámů, které jsou spojeny čepy. Pohyb je realizován pomocí ložisek na horním i dolním díle rámu. Při stahování nůžkového mechanismu se ložiska pohybují ve vodících kolejnicích a dochází ke zdvihu. Plošiny jsou nejčastěji vyráběny s jednonásobným, dvojnásobným a trojnásobným nůžkovým mechanismem, ale není výjimkou ani vícenásobný mechanismus. Jako pohon zvedacího mechanismu se využívá hydraulika. Nejčastěji se nůžkový zvedák používá v autoservisech, k realizaci bezbariérových přístupů, jako plošina pro osoby pracující ve výškách, v průmyslu pro zvedání těžkých břemen a pro jejich manipulaci. Na obr. 2 je nůžkový zvedák ve zvednuté a složené pozici.



Obr. 2 Nůžkový zvedák ve zvednutém a složeném stavu [10]

² Kapitola zpracována dle literatury [5], [10]

3 Metody nedestruktivní diagnostiky³

Nedestruktivní diagnostika je obor, který pomocí bezdemontážních a nedestruktivních metod stanovuje technický stav zkoumaného objektu.

3.1 Vizuální kontrola⁴

Tato kontrola se řadí mezi nejstarší metody diagnostiky, která posuzuje technický stav stroje nebo součásti. Provádí se pouhým okem nebo za pomoci lupy. Je časově a finančně nenáročná.

Pro diagnostiku těžko přístupných míst se využívají endoskopy s použitím kamer malých rozměrů a umístěných na pružném kabelu o délce asi 1m. Obraz je přenášen na obrazovku, kde můžeme pomocí digitálních metod přiblížit detaily, které by nebylo možné pouhým okem pozorovat. Výkonnější a lépe vybavené endoskopy také obsahují ovládání, které umožňuje natáčet kameru do různých poloh. Endoskop je opatřen i osvětlením, které je dostatečně výkonné a nezbytné pro použití v tmavých prostorách a v jednotlivých částech stroje bez přístupu světla. Používá se například při kontrole vnitřních částí trubek, převodovek, nádrží a jiných. Použití endoskopu je na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Využití endoskopu v praxi [12]

³ Kapitola zpracována dle literatury [2]

⁴ Kapitola zpracována dle literatury [6], [12]

3.2 Kapilární defektoskopie⁵

Tato nedestruktivní metoda se používá pro detekci povrchových trhlin a necelistvostí, které mohou být různých tvarů a velikostí. Její využití je u kovových, ale i nekovových materiálů (sklo, měď, keramika, hliník). Princip této metody je založen na kapilární elevaci, která je způsobena povrchovým napětím kapaliny způsobené kohezní silou u stěn nádoby. Využitím tohoto principu a ponořením úzké trubice (kapiláry) do kapaliny, která smočí stěny trubice, vystoupá kapalina v kapiláře výše, než je hladina okolní kapaliny a zaujímá tvar vydutého vrchlíku. Při použití tzv. penetrantu se trhlina na diagnostikovaném objektu chová jako kapilára. Penetrační zkoušky se provádí v penetračních kabinách nebo na linkách k tomuto účelu určených. U velkosériové výroby mají penetrační linky recyklaci oplachové vody a jejich provoz je ekologický. Řízení linky je automatické nebo poloautomatické. Penetrační linka je na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Penetrační linka [11]

⁵ Kapitola zpracována dle literatury [1], [6], [8], [11]

Penetrant musí mít dobrou smáčivost a povrchové napětí. Díky těmto vlastnostem vniká po nanesení na povrch testované součásti do trhlin. Penetrant se na povrch součásti nanáší smáčením, nátěrem pomocí štětce nebo za použití sprejů v aerosolové formě, které jsou velmi používané. Na plochu musí být nanesen rovnoměrně v tenké vrstvě. Po uplynutí penetračního času, který je různý a záleží také na detekovaných trhlínách, kde u větších trhlín činí asi 5-30 minut, ale u nejmenších může být i několik hodin, se přebytečný penetrant odstraní. Penetrant nesmí zaschnout.

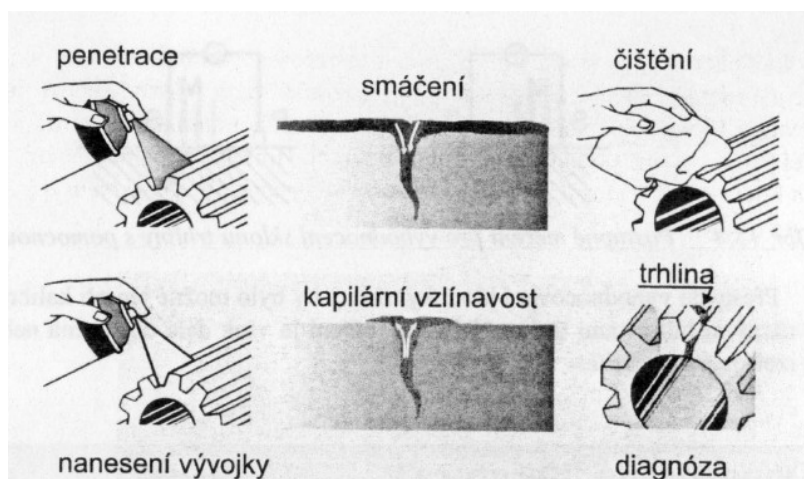
V závislosti na chemickém složení penetrantu se volí prostředek, kterým bude přebytečný penetrant odstraněn. Nesmí však dojít k odstranění penetrantu z trhlin. Znehodnotila by se tak prováděná zkouška. Nejprve se přebytečný penetrant odstraní setřením hadrem a poté se použije případně speciální prostředek nebo se provede opláchnutí vodou. Po důkladném odstranění přebytečného penetrantu a osušení součásti se aplikuje na povrch vývojka. Její aplikace se provádí většinou stejným postupem jako aplikace penetrantu. Po aplikaci vývojky dojde k detekování trhlin. Vývojka má při odhalení trhlin bílou barvu. Výsledné vyhodnocení se provádí pouhým okem, kdy je pozorování povrchových vad a necelistvostí o velikosti 0,09 mm asi na 30 cm od vzdálenosti zkoumaného povrchu. U menších trhlín se používá lupa. Penetrant ve spreji je na obr. 3.3.



Obr. 3.3 Přípravky pro penetrační zkoušku [8]

Postup zkoušky

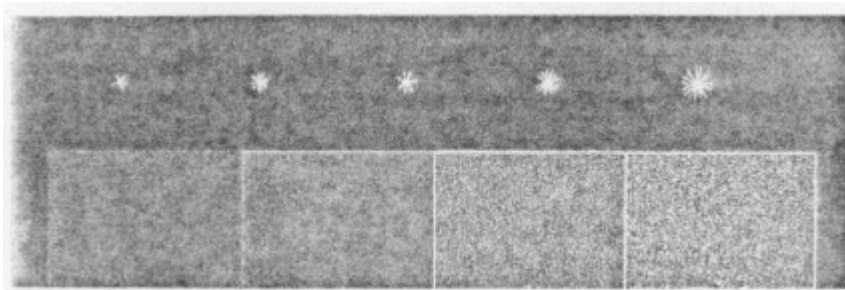
- 1) Povrch musí být řádně očištěn a zbaven okují, rzi, barvy aj.
- 2) Prove se nanesení penetrantu.
- 3) Po zaschnutí odstraníme přebytečný penetrant a osušíme součásti.
- 4) Aplikace vývojky.
- 5) Vyhodnocení.
- 6) Konečné očištění součásti.



Obr 3.4 Postup penetrační zkoušky [1]

Kapilární měrky

Pomocí kapilárních měrek se posuzuje vlastnost penetrantu a vývojek, jejich vhodnost pro různé postupy zkoušek a dále jejich fyzikální vlastnosti. Nejpoužívanější měrka dle ČSN EN ISO 3252-3 se používá pro barevné i fluorescenční penetranty. Kapilární měrka je na obr. 3.5.



Obr 3.5 Kapilární měrka [1]

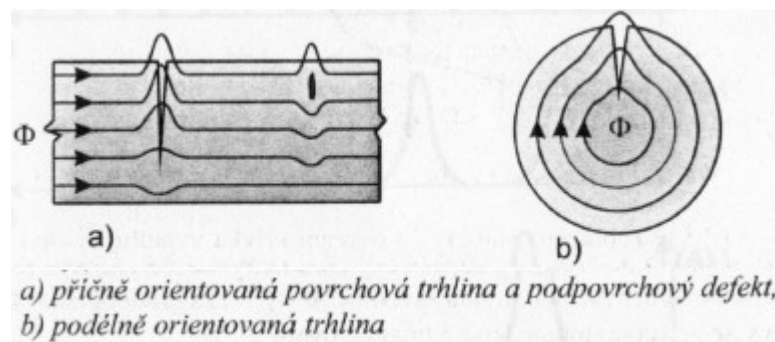
3.3 Magnetická defektoskopie⁶

Princip metody

Základní princip spočívá v zmagnetování objektu a zhodnocení rozptylu magnetického toku v jeho okolí. Z principu fyzikálního spočívá metoda v lokálním zmenšení průřezu feromagnetického materiálu, a tím dochází k navýšení magnetického odporu u povrchové, ale i podpovrchové vady. U materiálů, které nejsou magneticky vodivé v místě vady a mají permeabilitu $\mu > 1$, indukční čáry mění směr. Tím vzniká magnetický rozptyl, při kterém vystupuje magnetický tok do okolního prostoru (vzduchu). Při lokalizaci defektu v materiálu měříme právě magnetický rozptyl. Výhoda metody spočívá v nízké pořizovací ceně, jednoduché obsluze, možnosti zavedení do výrobních linek, téměř neomezené velikosti a tvaru testovaných součástí. Nevýhody spočívají v možnosti použití pouze na feromagnetické materiály s relativní permeabilitou $\mu_r > 100$. Nedají se proto použít na titan, měď, hliník, nerezové oceli a jiné.

Způsoby magnetování

Při magnetování součásti je důležitá orientace indukčních čar ve směru kolmém na směr předpokládané necelistvosti. Při magnetování materiálu podélným směrem detekujeme trhliny, které jsou příčně orientované. U magnetování příčného detekujeme podélně orientované. Oba způsoby jsou vyobrazeny na obr. 3.6.

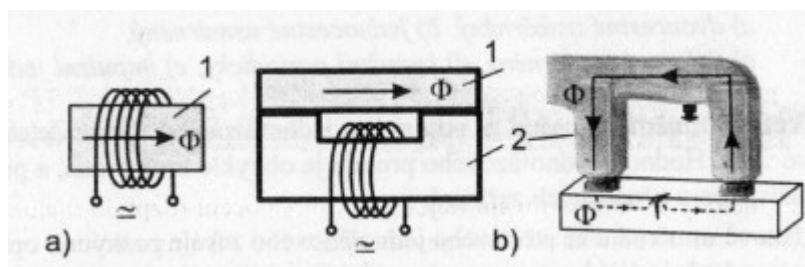


Obr. 3.6 Rozptylové magnetické pole nad defektem [1]

⁶ Kapitola zpracována dle literatury [1], [6]

a) podélné pólové magnetování

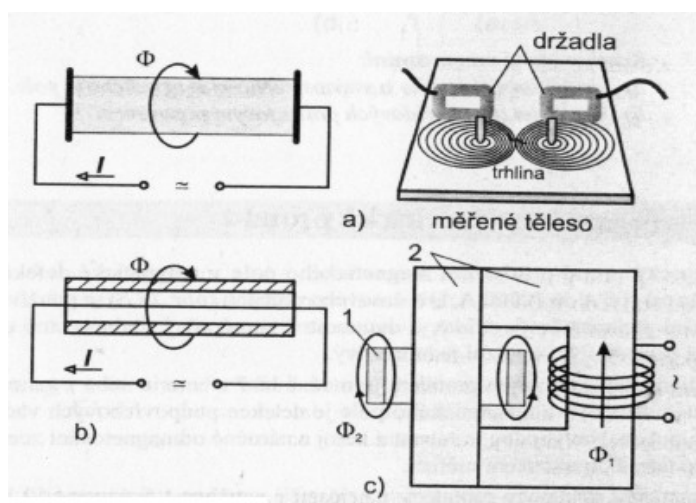
Tuto metody můžeme aplikovat dvěma způsoby. Při prvním způsobu vložíme měřené těleso do cívky napájené elektrickým proudem. U druhého způsobu přiložíme permanentní magnet, nebo také elektromagnet, k povrchu měřené tělesa. Na obr. 6.1 jsou oba způsoby. Nedefinovaný magnetický odpor kontaktu jha s tělesem je však nevýhodou, jelikož může mít vliv na hodnotu magnetické indukce, ale i na deformaci magnetického pole.



Obr. 3.7 a) Cívkové uspořádání b) Uspořádání s elektromagnetem [1]

b) příčné (cirkulární) magnetování

Metodu tvoří 3 základní principy magnetování. Všechny jsou schematicky na obr. 3.8. U první metody se realizuje průchodem elektrického proudu měřeným tělesem. Zásadní nevýhodou je, že v místě dotyku elektrod může dojít k opalu. Druhá metoda je realizována vložení vodiče, kterým prochází elektrický proud, do měřeného objektu, který má prstencový nebo trubkový tvar. Příčné magnetování u třetí metody se docílí zapojením jako sekundární zavít využívaný u transformátoru nakrátko. Docílíme tím indukci proudu v měřené součásti.



1 - měřená součást

2- pomocné jho

a) příčné magnetování za využití průchodu proudem

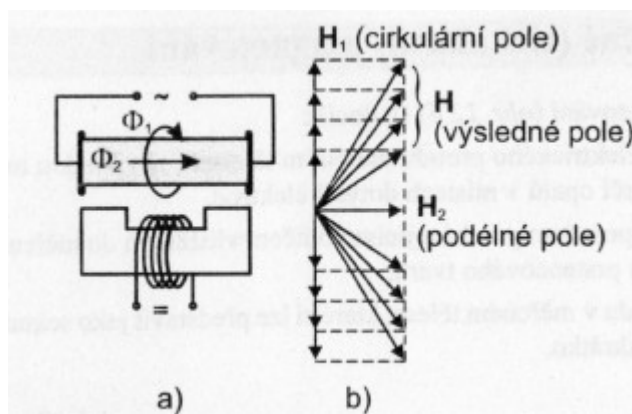
b) magnetování pomocným vodičem

c) pomocí indukci proudu

Obr. 3.8 Tři principy příčného magnetování [1]

c) kombinované magnetování

Principem metody je využití u měření kombinace příčného a podélného magnetování s rozdílným časovým průběhem magnetických polí. Kombinací metod získáme výsledné pole, které je tvořeno vektorovým součtem intenzit polí každé metody. Výsledné pole lze získat dvěma metodami. U první skládáme střídavé a stejnosměrné magnetické pole. U druhé se využívá fázový posun při skládání dvou střídavých polí. Fázový posun v kombinaci dvou polí se používá o 120° a u více polí se volí posun v rozmezí mezi 50° až 130° . Oba způsoby jsou na obr. 3.9.



Obr. 3.9

a) Kombinované magnetování pomocí skládání stejnosměrného a střídavého magnetického pole.

b) Metoda skládání dvou střídavých polí s fázovým posunem. [1]

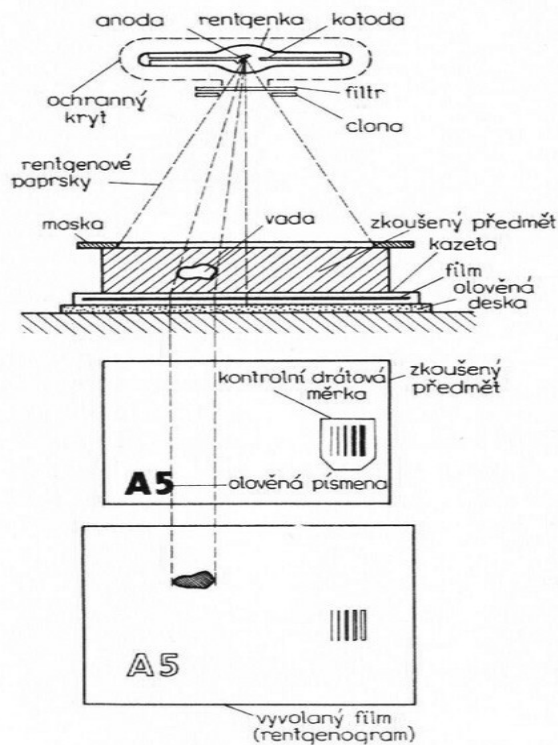
Zviditelnění rozptylových polí

Na povrch tělesa se nanáší barevný nebo fluorescenční feromagnetický prášek. Podle velikosti zrn se volí způsob nanášení na suchou a mokrou metodu. U velikosti zrn od 40 do 400 μm se nanáší prášek ručně naprášením na povrch magnetované součásti. Mokrý metoda je využita u velikosti zrn od 1 do 40 μm a prášek je nanášen například pomocí stříkací pistole, nástřiku sprejem, poléváním. Rozptylové magnetické pole, které se nachází v místě nad vadou, přitahuje prášek do místa s největší koncentrací siločar.

3.4 Průmyslová radiologie⁷

Princip metody

U této metody se využívá ionizujícího záření. Dochází k tzv. ionizaci, při které je záření elektromagnetické nebo korpuskulární a molekula nebo neutrální atom se rozděluje na kladně nabitý ion a jeden nebo více elektronů. Jedná se o zdraví škodlivé radioaktivní záření. Při metodě je využito rentgenové záření neboli záření x, které je v rozmezí vlnových délek 10^{-14} m do 10^{-9} m, gama záření od $5 \cdot 10^{-13}$ m do 10^{-10} m a dále tok neutronů, elektronů a protonů. Tato metoda je založena na principu prozařování materiálu ionizačním zářením a následným vyhodnocením zeslabení v důsledku průchodu materiálem. Dle ČSN EN 1330-3 je zeslabení definováno jako snížení intenzity svazku rentgenového nebo gama záření při průchodu látkou, způsobené absorpcí a rozptylem. Na zeslabení záření mají vliv vnější a vnitřní materiálové defekty (dutiny, směsky, trhliny), ale také např. koroze. Vada se poté projeví na vyvolaném snímku jako tmavá skvrna na světlém pozadí. Vyvolaný snímek se nazývá rentgenogram. Přesný princip je popsán na obr. 3. 10.

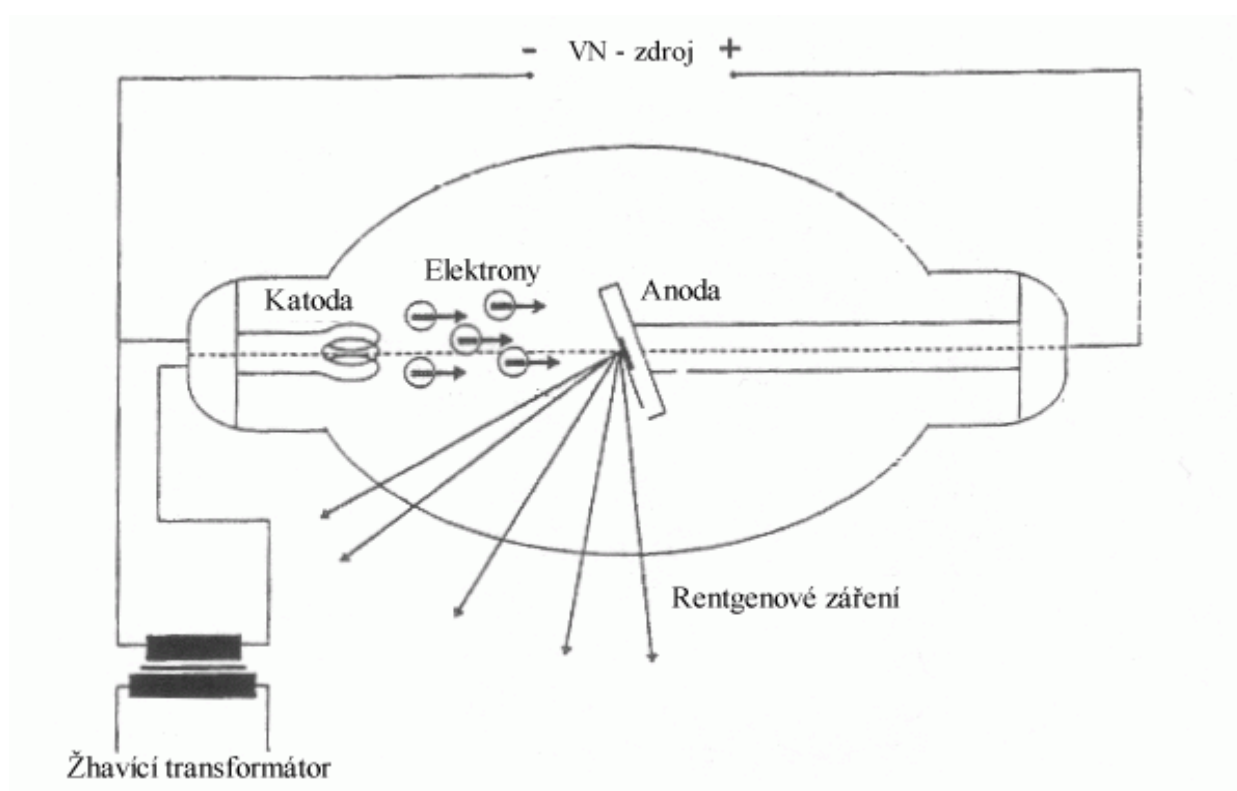


Obr. 3.10 Princip vytvoření snímku při průmyslové radiologii [6]

⁷ Kapitola zpracována dle literatury [1], [6]

Vznik záření

Rentgenové záření vzniká v tzv. rentgence. Obal rentgenky je skleněný, keramický, kovový nebo metalkeramický. Katoda je tvořena většinou wolframovou spirálou. Samotné záření vzniká usměrněním napětí pomocí vysokonapětového zdroje pro průchod katodou, kde dojde po rozžhavení spirály k uvolnění elektronů pomocí tzv. termoemise. Elektrony poté putují ve vakuu a vysokou rychlostí dopadají na terčík anody, kde se 99% kinetické energie mění na tepelnou a 1% na záření. Zahřívání musí být chlazeno nebo se využívá tzv. rotační anody s rozloženým dopadem svazku elektronů. Vznik záření popisuje Obr. 3.11.



Obr. 3.11 Vznik záření při průmyslové radiologii [6]

3.5 Ultrazvuková defektoskopie ⁸

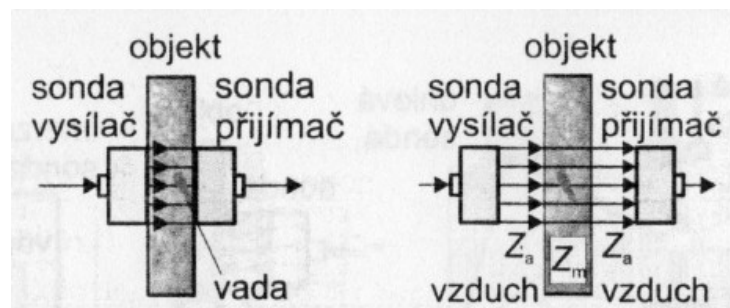
Princip metody

Ultrazvuk je mechanické kmitání částic kolem rovnovážné polohy, které se šíří v pružném prostředí s frekvencí nad 20 kHz. Do testovaného materiálu jsou vysílány ultrazvukové vlny o frekvenci od 100 kHz do 50 MHz. Výjimečně se používá frekvencí až do 200 MHz. Skryté vady v materiálu ovlivňují prostupnost a odrazivost ultrazvukové vlny. Jako zdroj ultrazvukového vlnění se využívá sonda, která se přikládá na zkoušený povrch a přeměňuje elektrickou energii na ultrazvuk. V technické diagnostice jde o hodně využívanou metodu pro svoji jednoduchost a zároveň pro bezpečnost obsluhy při používání ultrazvukových vln, které nepředstavují žádné nebezpečí.

Způsoby měření

a) ultrazvuková metoda průchodová

Při této metodě se využívá vysílací a přijímací sondy, které se umístí na zkoušený materiál proti sobě. Průchodem signálu přes materiál a případné utlumení vinou vnitřních vad a necelistvostí, nám zachytá přijímací sonda signál utlumený nebo vůbec žádný. Nevýhoda metody spočívá v nemožnosti přesné lokalizace vnitřní vady a v nutnosti přístupu na zkoušené ploše na její protější stranu. Například u tlakových nádob je tato metoda nepoužitelná. U kontaktní metody, kde jsou vysílací i přijímací sonda přiloženy na povrch zkoušeného materiálu, se ale neuplatňuje tzv. mrtvá zóna sond, kde nedochází k měření a je proto dobře využitelná k testování tenkých plechů. U bezkontaktní metody se volí menší frekvence v závislosti koeficientu útlumu vzduchu na frekvenci. Schematické znázornění obou metod je na obr. 3.12.

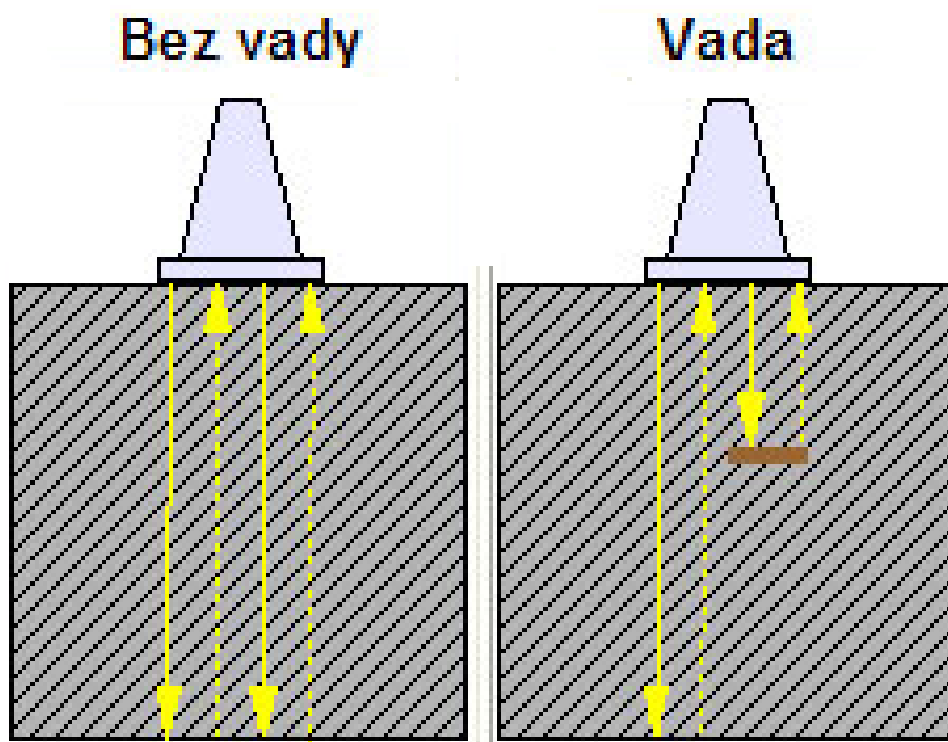


Obr. 3.12 Kontaktní a bezkontaktní aplikace sond u metody průchodové [1]

⁸ Kapitola zpracována dle literatury [1], [6], [13]

b) ultrazuková metoda odrazová

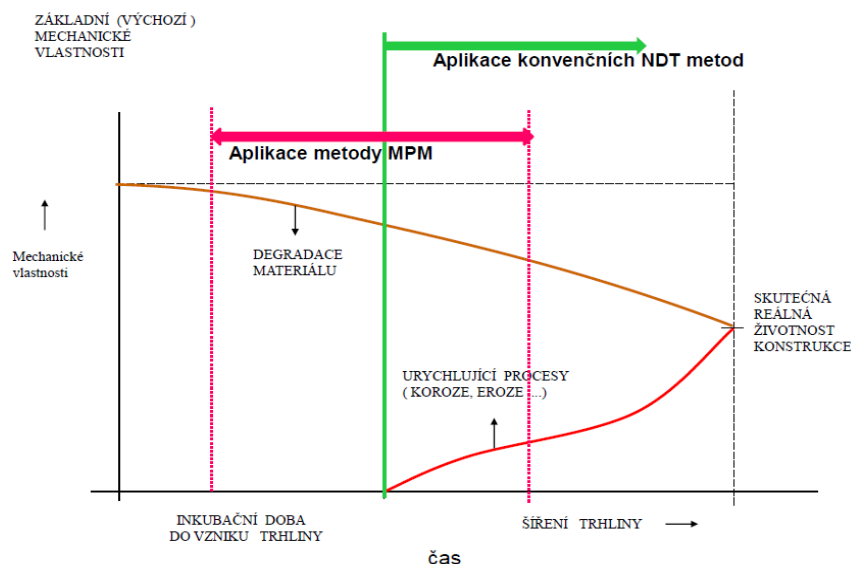
Při této metodě sonda vysílá a zároveň i přijímá signál, který je utlumen částečně nebo úplně vnitřními vadami v zkoušeném materiálu. Ultrazvuk se na rozhraní pevné látky a vzduchu odráží zpět. Metoda nám umožňuje přesnou lokalizaci vnitřní nečelistvosti nebo vady. Je velmi nutný kontakt sondy se zkoušeným materiálem. I při malé mezeře není možné průchod ultrazukového vlnění do materiálu. Tato mezera se vyplňuje polotuhým nebo kapalným mazivem, které se nazývá akustická vazba. Používají se speciální vazební prostředky nebo oleje. V technické diagnostice se jedná o nejpoužívanější metodu za použití ultrazukového vlnění. Na obr. 3.13 je znázorněn průchod signálu a jeho odraz v materiálu s vadou a bez vady.



Obr. 3.13 Průchod signálu u materiálu s vadou a bez vady [13]

3.6 Metoda MMM⁹

U této metody využíváme analýzu zbytkových magnetických polí u kovových materiálů popisující technologickou historii materiálu. Při výrobě se vytváří u kovového materiálu tzv. zbytková magnetizace, na kterou má vliv proces, kterým při výrobě součást procházela. Tyto procesy jsou například ohýbání, svařování, tepelné opracování, ochlazování, lisování, tvarování apod. Další změna zbytkové magnetizace nastává i během provozního zatížení součásti. U součásti určujeme tzv. zóny koncentrace napětí (SCZ- Stress Concentration Zones). Scanováním těsně nad povrchem měřeného materiálu zjišťujeme intenzitu magnetického pole H_p . Scanovací zařízení je vozíček s kolečky, který nám od součásti udržuje vzdálenost L_x . Na něm jsou namontované sondy a příslušná elektronika, která nám umožňuje zesílení a digitalizaci signálu. Pro různé typy měření máme jiné typy scanovacích zařízení s různým počtem sond a jejich umístěním. Pro inspekci potrubí, která se provádí v hloubce 1-2m pod povrchem, je určeno zařízení s vysokou citlivostí. Výhoda metody spočívá v rychlosti a možnosti měření i za provozu stroje, není nutnost úpravy měřeného povrchu před samotným měřením a zjištění únavového poškození dříve, než by bylo jinými metodami nedestruktivní diagnostiky vůbec možné odhalit. Nelze však použít na materiály, které jsou uměle zmagnetizovány a provádět měření v blízkosti jiných magnetických materiálů a zdrojů magnetického pole. Na Obr. 3.14 je porovnání použití metody MMM a jiných metod nedestruktivní diagnostiky.



Obr. 3.14 Porovnání metody MMM a jiných metod NDT. [7]

⁹ Kapitola zpracována dle literatury [4], [3], [7]

Kalibrace přístroje

Před samotným měřením je nutné provést kalibraci v magnetickém poli země. Podle typu použité sondy se provádí kalibrace ve dvou, nebo třech osách kartézského souřadného systému. U tříosé sondy se provádí kalibrace tak, že zvolíme příslušnou osu a pomocí natočení polohy sondy vůči zemskému povrchu provedeme kalibraci. Osa x je rovnoběžná se zemským povrchem stejně jako osa z avšak se vzájemným natočením o 90°. Osa y je kolmá na zemský povrch. Při kalibraci nejprve kalibrujeme kladné hodnoty. U osy y jsou kladné hodnoty směrem od zemského povrchu a záporné směrem k povrchu. Obdobně se provede kalibrace i u os x a z. Provedení kalibrace se musí uložit do systému a následně se provede kontrola, zda byla provedena správně. Sonda se umístí do volného prostoru, kde na ni nebude působit žádné nežádoucí magnetické pole a hodnoty A/m se musí pohybovat maximálně v řádu desítek. Na Obr. 3.15 je přístroj na provádění metody MMM.



Obr. 3.15 Přístroj na měření metodou MMM [7]

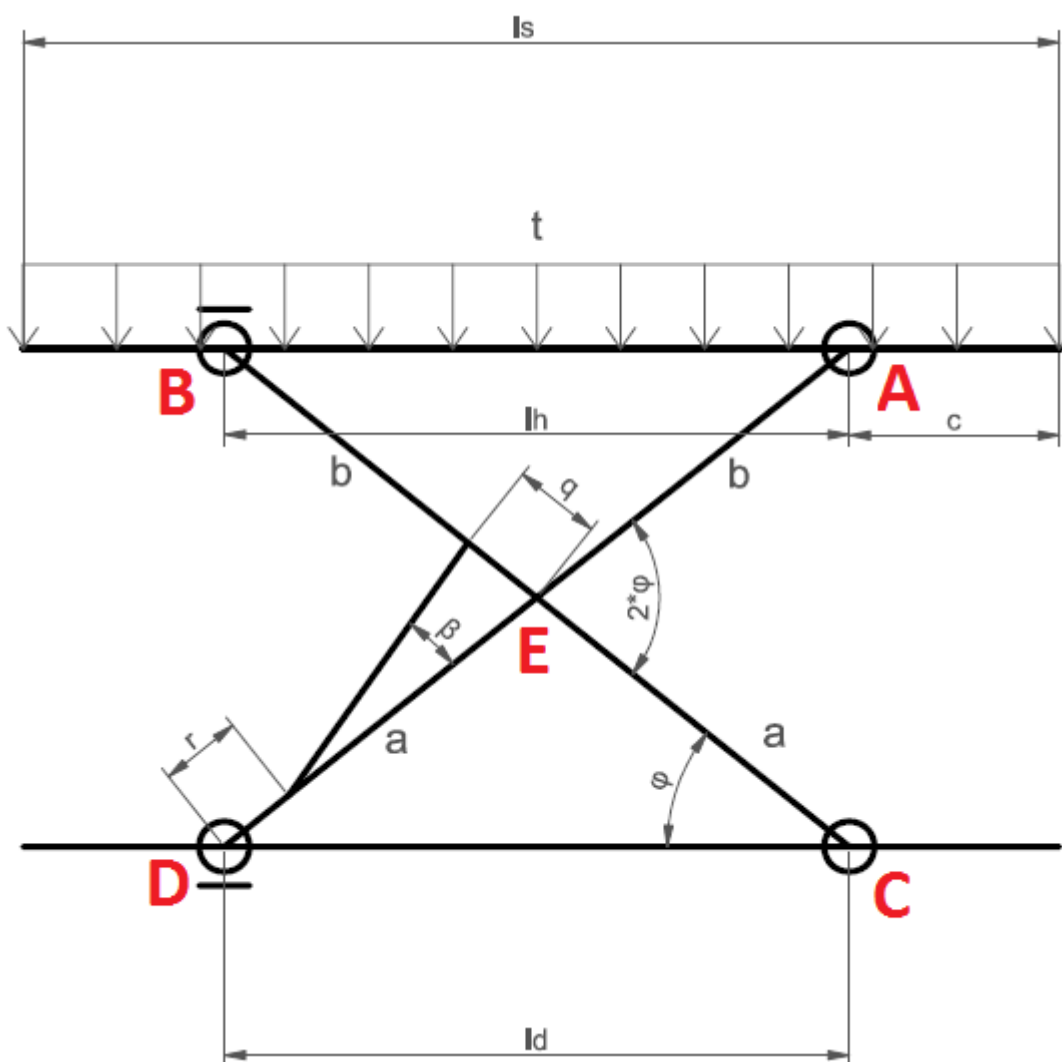
4 Praktické řešení problému

Nůžkový zvedák byl navrhnout pracovníkem firmy zabývající se konstrukcí. Aplikací do výroby byl zjištěn problém u provádění zdvihu při zatížení. Zvedák při nezatíženém stavu neměl problém se zdvihem a fungoval bez problému. Při nejnižší poloze zvedáku, ze které měl být prováděn zdvih, píst zaujímal přílišnou horizontální polohu. Následné zatížení konstrukce a pokus o zvednutí vedlo k deformaci středového úchyty, ke kterému byl píst připevněn. Na obr. 4 je spodní uchycení pístu s poškozením a jeho tvarová deformace.



Obr 4 deformace po oddělení držáku pístu

4.1 Schéma zvedáku



Obr. 4.1 Schematické zobrazení zvedáku

• **Popis použitých značení na Obr. 4.1**

l_s – délka horní ložné plochy zvedáku

l_h – rozměr posuvného ramena od otočného pevného uložení ramena u horní ložné plochy

l_d – rozměr posuvného ramena od otočného pevného uložení ramena u spodní podstavě

a – délka ramene

b – délka ramene

c – délka od horního otočného pevného uložení ke konci plochy stolu

r – vzdálenost spodního uchycení pístu na rameni od spodního ložiskového posuvu

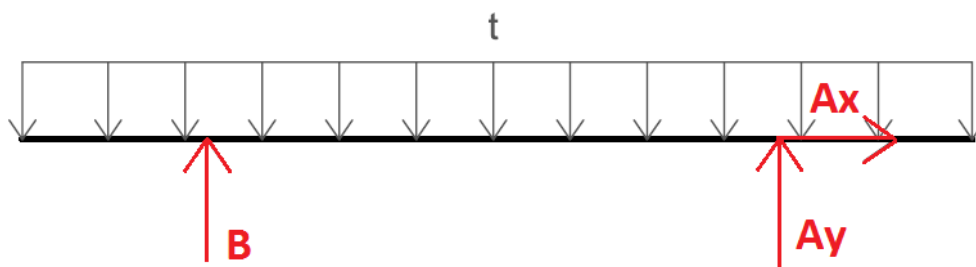
q – vzdálenost horního uchycení pístu od středového čepu

φ – úhel mezi ramenem a základní plochou zvedáku

β – úhel svírající píst a rameno zvedáku

A, B, C, D, E – místa pro výpočet reakcí

t – zatížení zvedáku



Obr. 4.2 Schematické vyobrazení horního stolu zvedáku

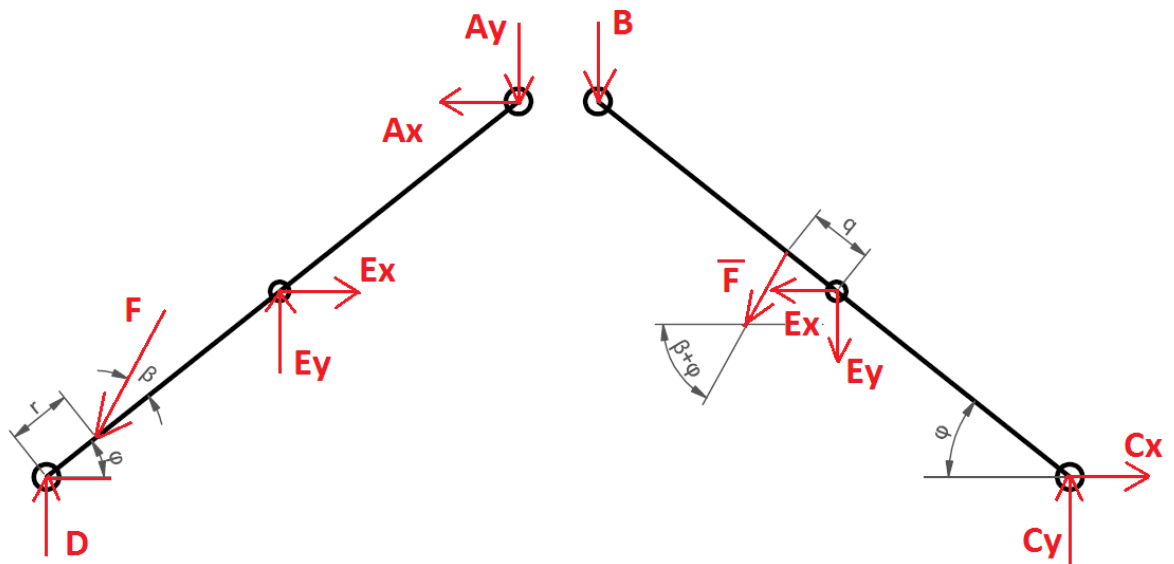
• **Popis použitých značení na Obr. 4.2**

A_y – reakce v místě A a ose y

A_x – reakce v místě A a ose x

t – zatížení zvedáku

B – reakce



Obr. 4.3 Levé a pravé rameno zvedáku

• **Popis použitých značení na Obr. 4.3**

A_y, A_x – reakce v místě A působící v ose y, x

B – reakce v místě B

C_y, C_x – reakce v místě C působící v ose y, x

D – reakce v místě D

E_y, E_x - reakce v místě E působící v ose y, x

φ – úhel mezi ramenem a základní plochou zvedáku

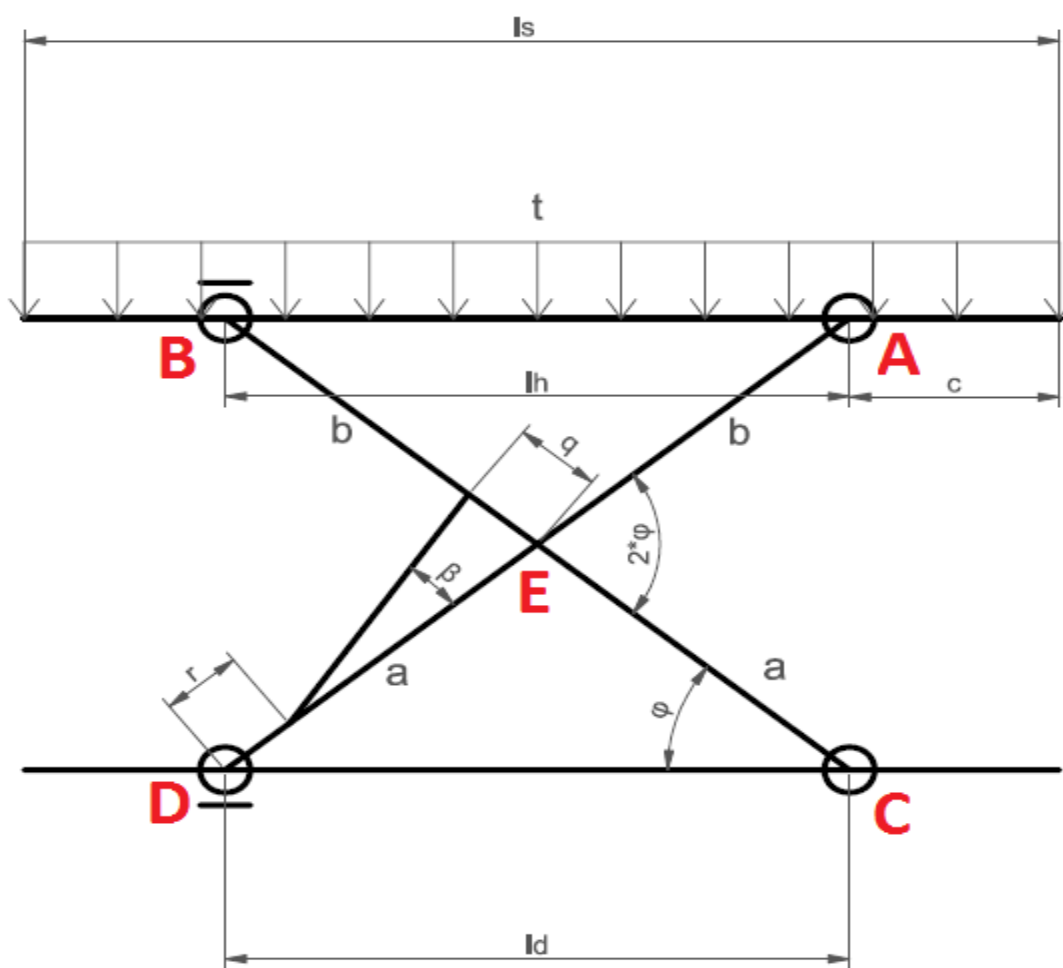
β – úhel svírající píst a rameno zvedáku

r – vzdálenost spodního uchycení pístu na rameni od spodního ložiska

q – vzdálenost horního uchycení pístu od středového čepu

F – síla působící na píst

4.2 Rozměry pro původní provedení konstrukce



Obr. 4.4 Schéma pro výpočet

$$l_s = 2008 \text{ mm}$$

$$r = 182 \text{ mm}$$

$$l_d = 1582 \text{ mm}$$

$$q = 140 \text{ mm}$$

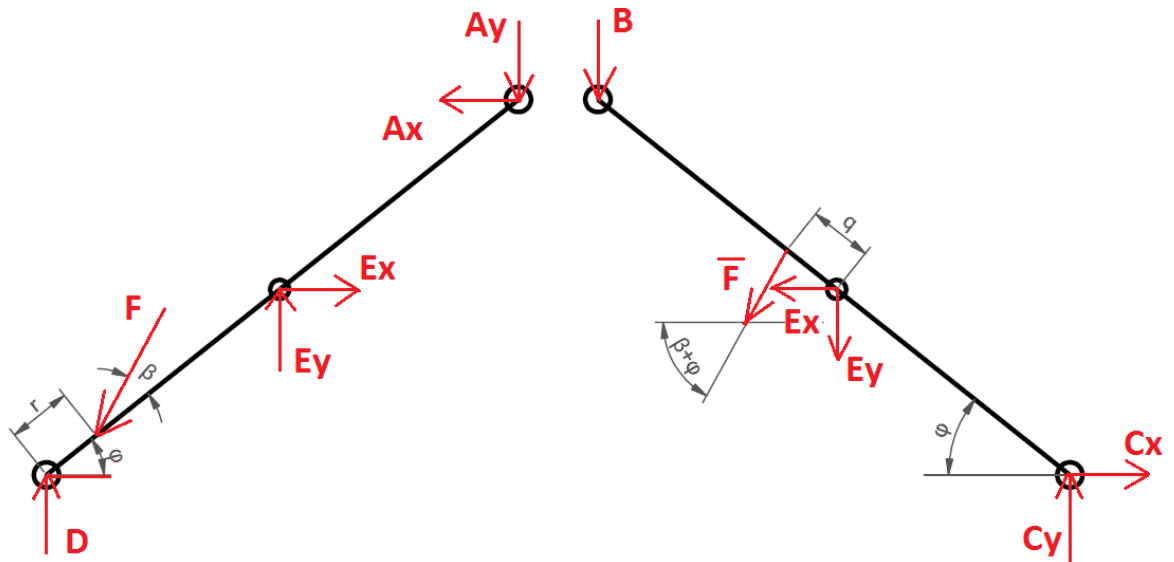
$$l_h = 1548 \text{ mm}$$

$$\varphi = 8,16^\circ$$

$$a = 799 \text{ mm}$$

$$c = 200 \text{ mm}$$

$$b = 784 \text{ mm}$$



Obr. 4.4 Levé a pravé rameno zvedáku

Rovnice rovnováhy pro levé rameno

$$E_x - A_x - F \cdot \cos(\varphi + \beta) = 0 \text{ N} \quad (1)$$

$$D + E_y - A_y - F \cdot \sin(\varphi + \beta) = 0 \text{ N} \quad (2)$$

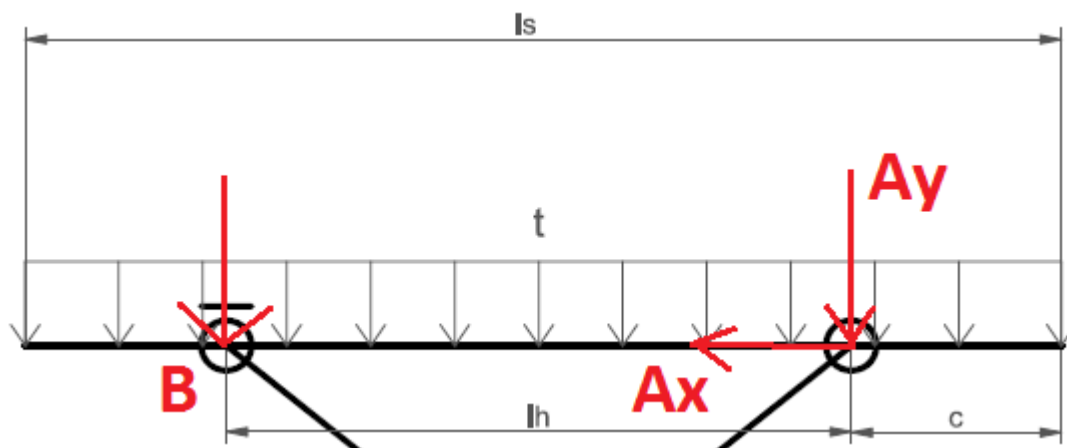
$$-F \cdot \sin(\beta) \cdot r - E_x \cdot a \cdot \sin(\varphi) + E_y \cdot a \cdot \cos(\varphi) + A_x \cdot (a + b) \cdot \sin(\varphi) - A_y \cdot (a + b) \cdot \cos(\varphi) = 0 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (3)$$

Rovnice rovnováhy pro pravé rameno

$$C_x - E_x + F \cdot \cos(\varphi + \beta) = 0 \text{ N} \quad (4)$$

$$-B + C_y - E_y + F \cdot \sin(\varphi + \beta) = 0 \text{ N} \quad (5)$$

$$B \cdot (a+b) \cdot \cos(\varphi) + E_x \cdot a \cdot \sin(\varphi) + E_y \cdot a \cdot \cos(\varphi) - F \cdot \cos(\varphi + \beta) \cdot (a + q) \cdot \sin(\varphi) - F \cdot \sin(\varphi + \beta) \cdot (a + q) \cdot \cos(\varphi) = 0 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (6)$$



Obr. 4.5 Horní stůl zvedáku

Rovnice rovnováhy pro horní stůl

$$A_y + B - t \cdot l_s = 0 \text{ N} \quad (7)$$

$$A_x = 0 \text{ N} \quad (8)$$

$$t \cdot \frac{l_s}{2} - B \cdot l_h = 0 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (9)$$

Rovnice pro dopočítání ostatních hodnot

$$l_d = 2 \cdot a \cdot \cos(\varphi) \quad (10)$$

$$h = a \cdot \sin(\varphi) \quad (11)$$

$$l_h = 2 \cdot b \cdot \cos(\varphi) \quad (12)$$

$$p = \frac{\dots}{\dots} - \quad (13)$$

$$\beta = \arcsin(\dots) \quad (14)$$

Výpočet síly pístu

$$p = 12\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$s = 0,007088218 \text{ m}^2$$

$$F = p * s \tag{15}$$

$$F = 12\,000\,000 * 0,007088218 = \underline{85\,058 \text{ N}}$$

p – tlak hydraulických čerpadel [Pa]

s – plocha pístu [m²]

Pomocí programu Mathcad jsem postupně dosazoval hodnoty zatížení t, abych se přiblížil hodnotě 85 058 N, která odpovídala maximální síle, kterou píst působí při zdvihu. Vypočítaná výsledná hodnota zatížení je 2710 N*m⁻¹. Tato hodnota odpovídá možnému zatížení 271 kg. Při zkoušce funkčnosti tedy muselo dojít k překročení této hodnoty a následné deformaci konstrukce a uchycení pístu zvedáku. Protokol z výpočtu v Mathcadu je součástí přílohy č. 1 bakalářské práce.

4.3 Konstrukční úprava zvedáku

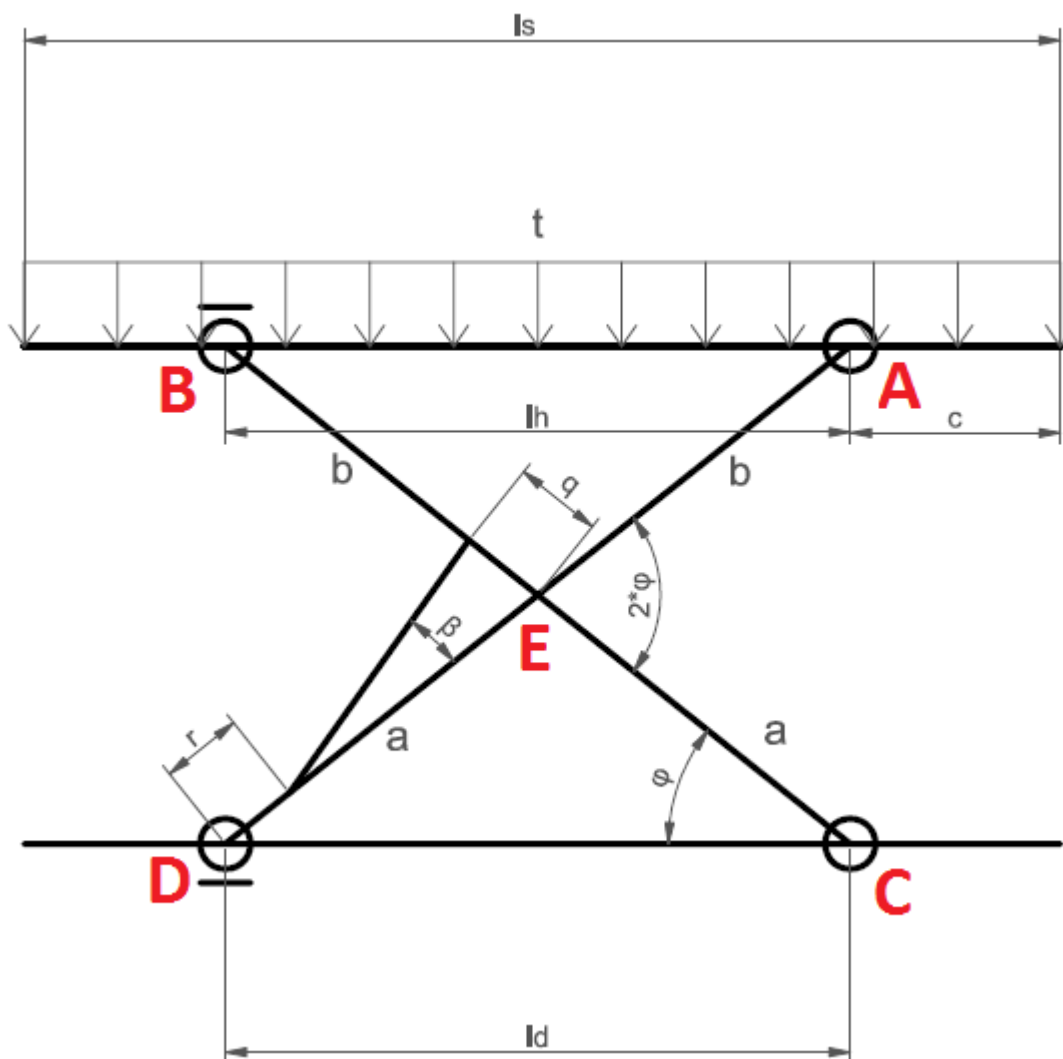
Při ustavení zvedáku ve firmě bylo patrné od začátku používání, že nefunguje správně. Při větším zatížení a zvednutí břemene došlo k problému. Píst kvůli své přílišné horizontální poloze v nejnižší výšce zvedáku 397 mm působil na konstrukci silou, která ji deformovala. Při opakovaných pokusech došlo k vytržení uchycení pístu.

Pro vyřešení problému se pod horní uchycení pístu navařil L profil pro vyztužení místa, které je namáháno silou pístu při zdvihu. Dále se změnila výška uchycení pístu z původních 140 mm na 252 mm. Tímto bylo docíleno lepšího postavení pístu i při nejnižší poloze zvedáku. Na obr. 4.6 je fotka zvedáku v nejnižší poloze s novým provedením uchycení pístu.



Obr. 4.6 Nůžkový zvedák s novým provedením uchycení pístu

4.4 Rozměry pro upravenou verzi konstrukce



Obr 4.7 Schéma pro výpočet

$$l_s = 2008 \text{ mm}$$

$$r = 182 \text{ mm}$$

$$l_d = 1582 \text{ mm}$$

$$q = 252 \text{ mm}$$

$$l_h = 1548 \text{ mm}$$

$$\varphi = 8,16^\circ$$

$$a = 799 \text{ mm}$$

$$c = 200 \text{ mm}$$

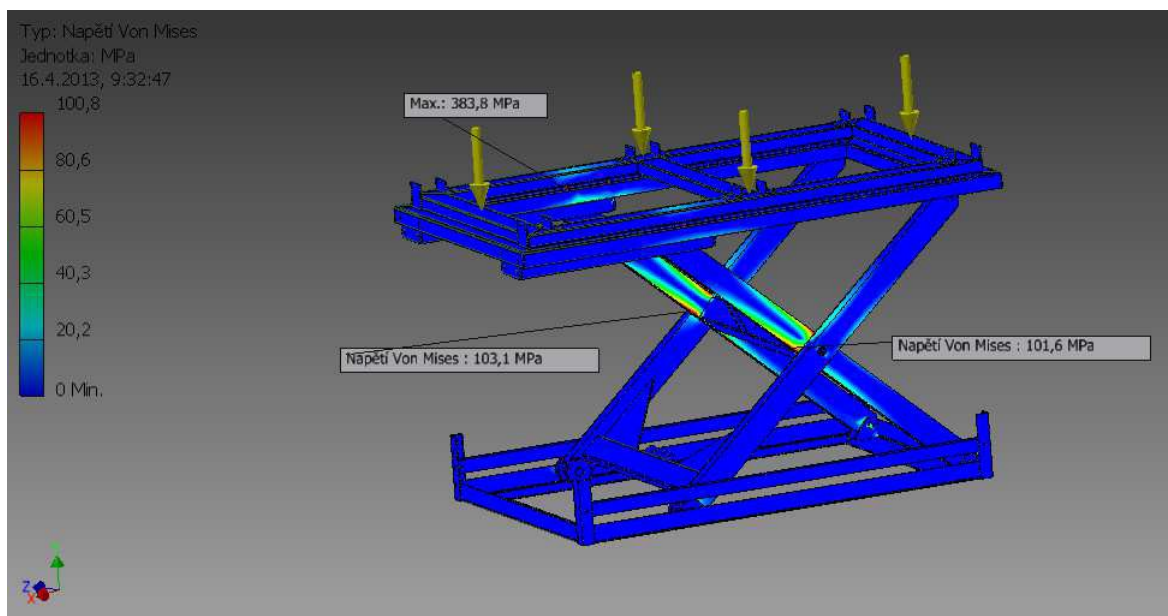
$$b = 784 \text{ mm}$$

Provedení výpočtu jsem provedl opět v programu Mathcad. Pro konstrukci se změnil pouze rozměr q uchycení pístu z původní hodnoty 140 mm na 252 mm. Dosazením hodnoty t jsem zjistil maximální možné zatížení $6230 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ při maximální síle pístu 85 058 N. Hmotnost kterou zvedák unese je tedy 623 kg při využití maximální zvedací síly pístu. Protokol z výpočtu v Mathcadu je součástí přílohy č. 2 bakalářské práce.

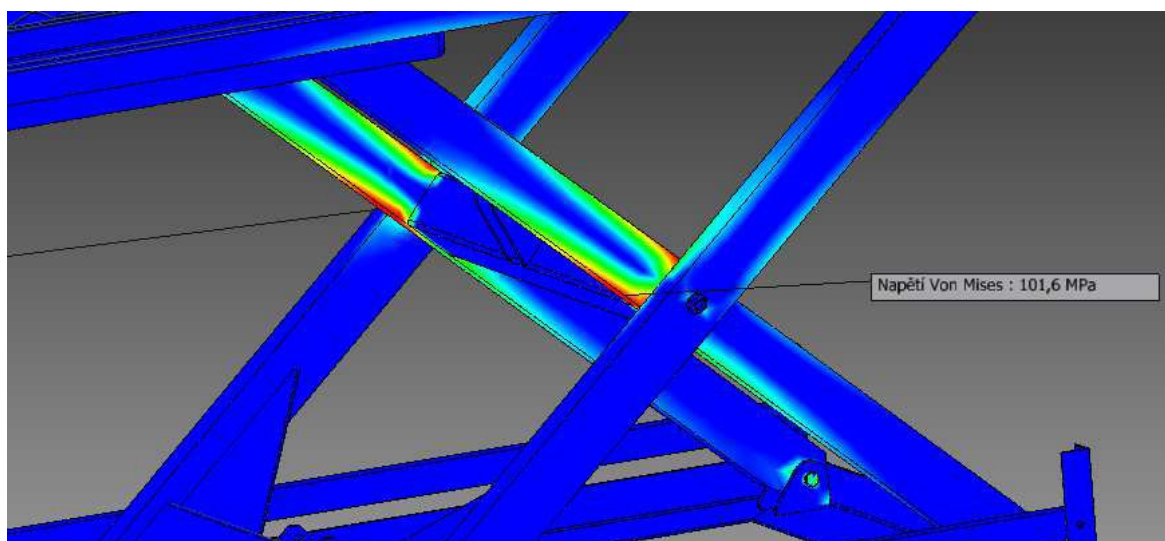
Pro zvednutí většího zatížení by muselo dojít k zvýšení výkonu čerpadla z 12 Mpa na hodnoty vyšší. Další možnosti jsou například změna polohy pístu nebo jeho výměna za výkonnější a větší.

5 Kontrola pevnosti pomocí MKP

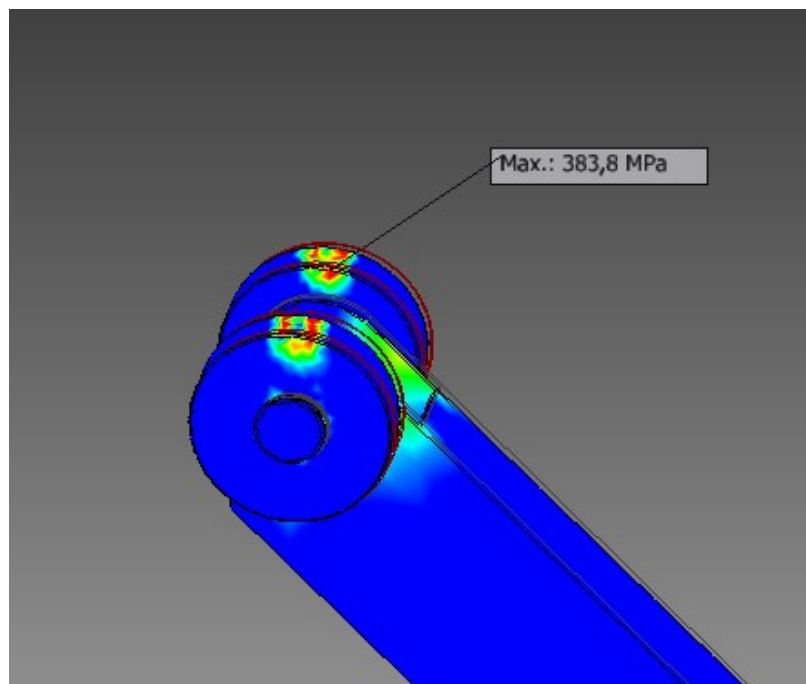
Jako kontrola pevnosti konstrukce a dodržení bezpečnosti je zvolena metoda konečných prvků. V programu Inventor 2012 je konstrukce zatížena hmotností 1500 kg a jsou nastaveny vhodné okrajové podmínky, dotyky a vazby pro co nejlepší simulaci chování v reálném provozu. Na obr. 5 je zobrazení zatížení a chování konstrukce. Na dalších obrázcích kapitoly jsou detaily konkrétních míst a nastavená hustota sítě.



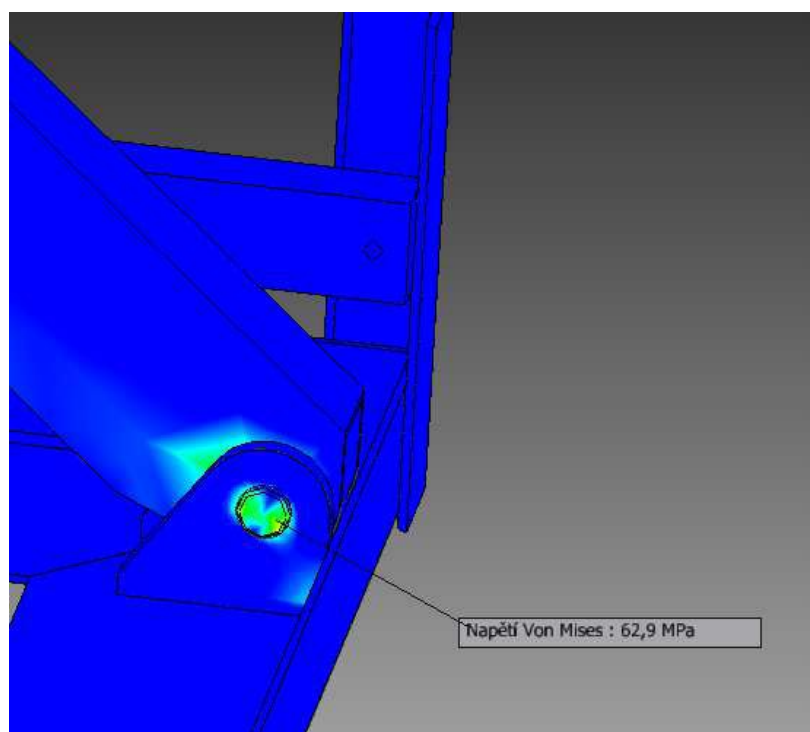
Obr. 5 Konstrukce a její chování po zatížení



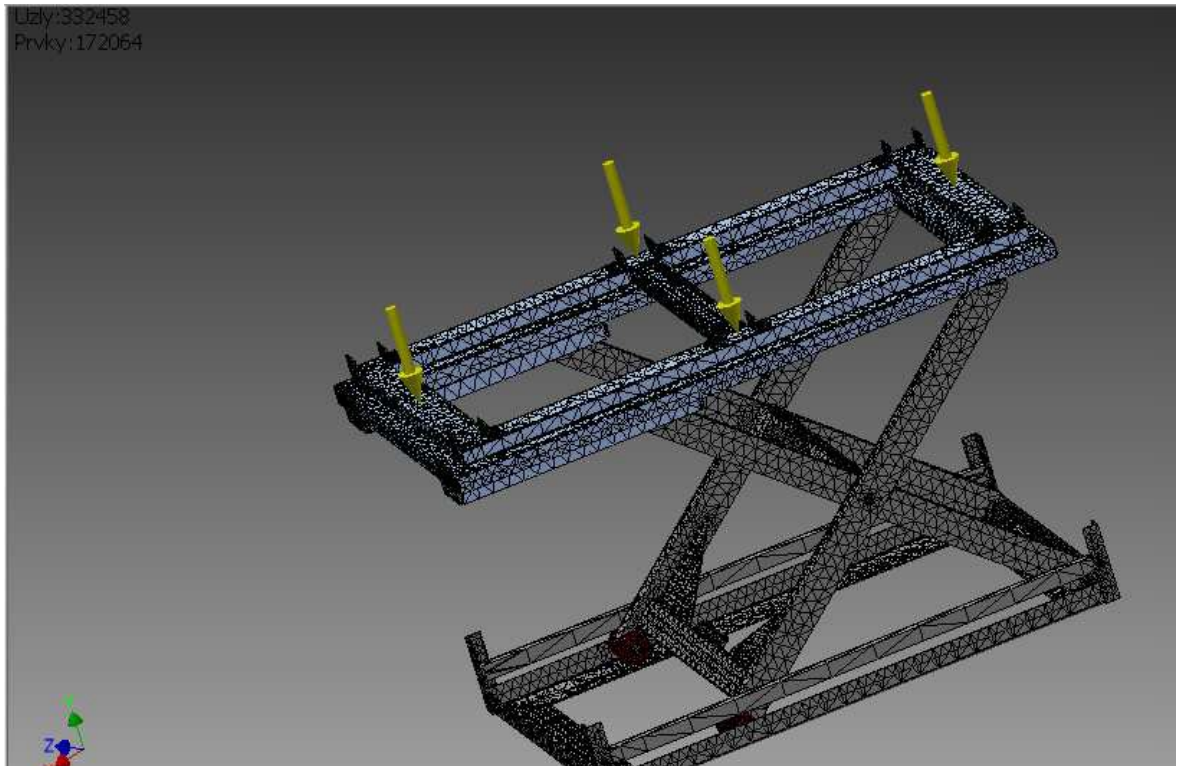
Obr. 5.1 Detail středového čepu



Obr. 5.2 Detail horního ložiskového posuvu



Obr. 5.3 detail spodního čepu

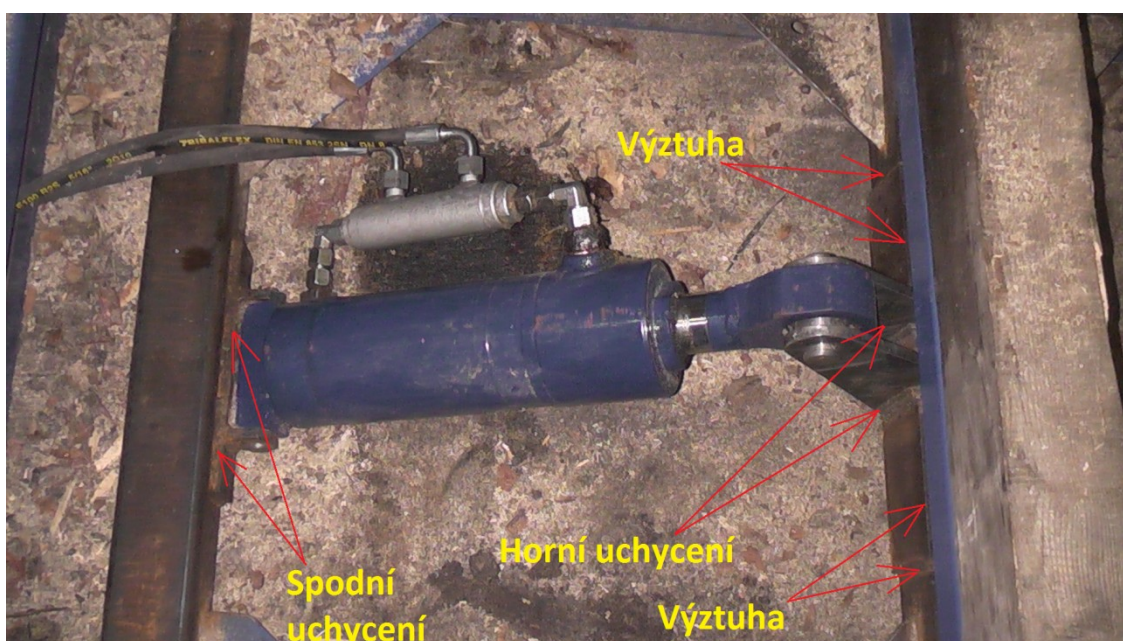


Obr. 5.4 Hustota sítě pro výpočet

Pro zvedák této konstrukce by měla být bezpečnost $k > 2$. Zvedák zatížený 1500 kg při simulaci pevnostně neměl problém s touto hmotností. Výpočtem v Mathcadu byla hodnota maximálního zatížení, kterou zvedák uzvedne z nejnižší polohy 623 kg. Bezpečnost je tedy $k = 2,4$.

6 Provedené měření metodou MMM

Jako použitá metoda nedestruktivní diagnostiky byla zvolena magnetická paměť kovů. Měření bylo provedeno pro kontrolu kvality a celistvosti svarových spojů. Celkem byl vybrán počet tří na pevnost a kvalitu důležitých svarových spojů a to u uchycení pístu zvedáku. Pro měření byl zvolen časový záznam měření. Na obr. 6 je uchycení pístu a znázornění místa pro měření.



Obr. 6 Znázornění míst pro provedení měření

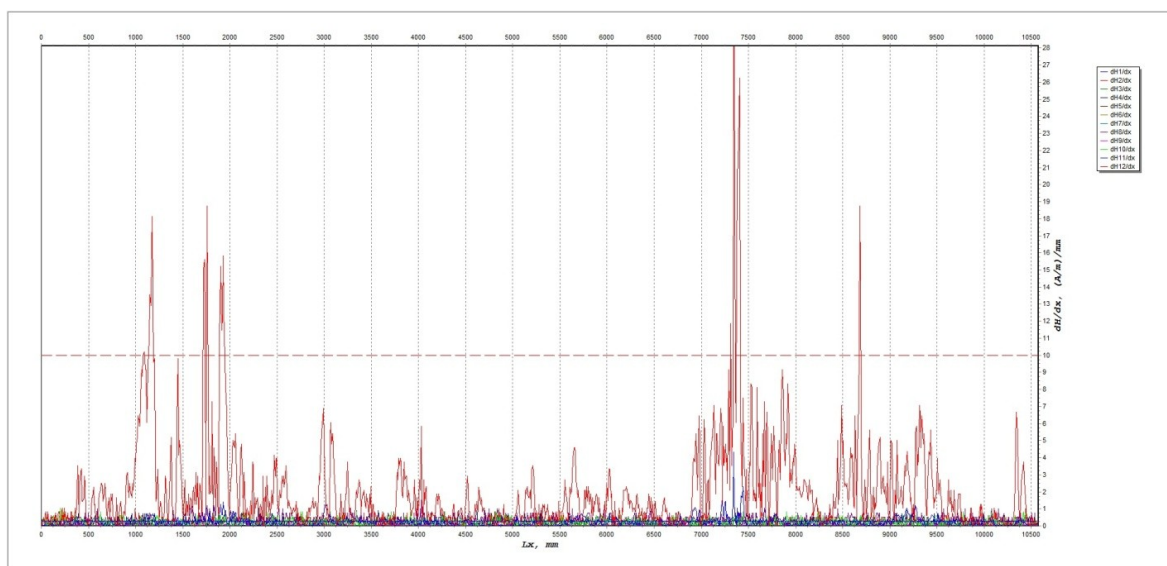
6.1 Měření základního uchycení

První měření, které bylo provedeno, bylo u horního uchycení pístu. Jedná se o dvě samostatně přivařené ploché profily, které mezi sebou mají prostor pro vsunutí a následné uchycení pístu pomocí čepu. Pod úchyty je navařen L profil, na který jsou následně přivařeny oba ploché profily. Profil L je umístěn z důvodu větší výztuhy tohoto namáhaného místa. Držáky a provedené svary jsou na obr. 6.1.

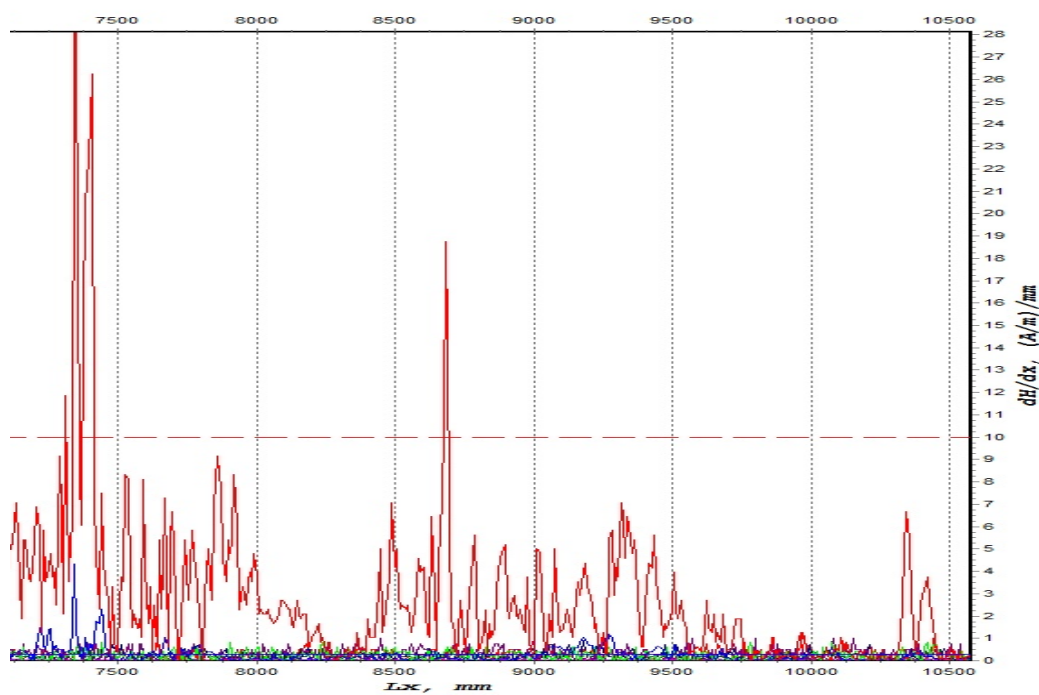


Obr. 6.1 Přivařené držáky pro horní uchycení pístu

6.1.1 Grafické výsledky měření



Obr. 6.2 Magnetogram měření

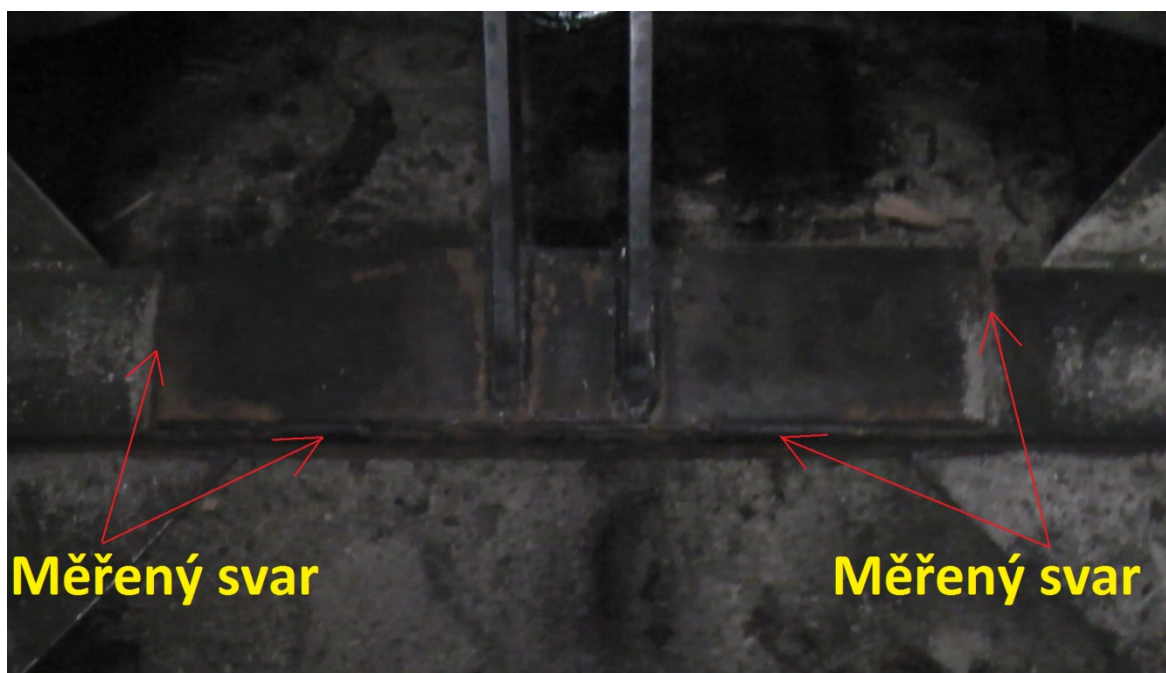


Obr. 6.3 detail magnetogramu s největší koncentrací napětí

Na detailu obr. 6.3 je koncentrace zvýšeného napětí. Ani zvýšené hodnoty koncentrace napětí nemají žádný vliv na konstrukci této velikosti. Tento svar má dostatečnou kvalitu.

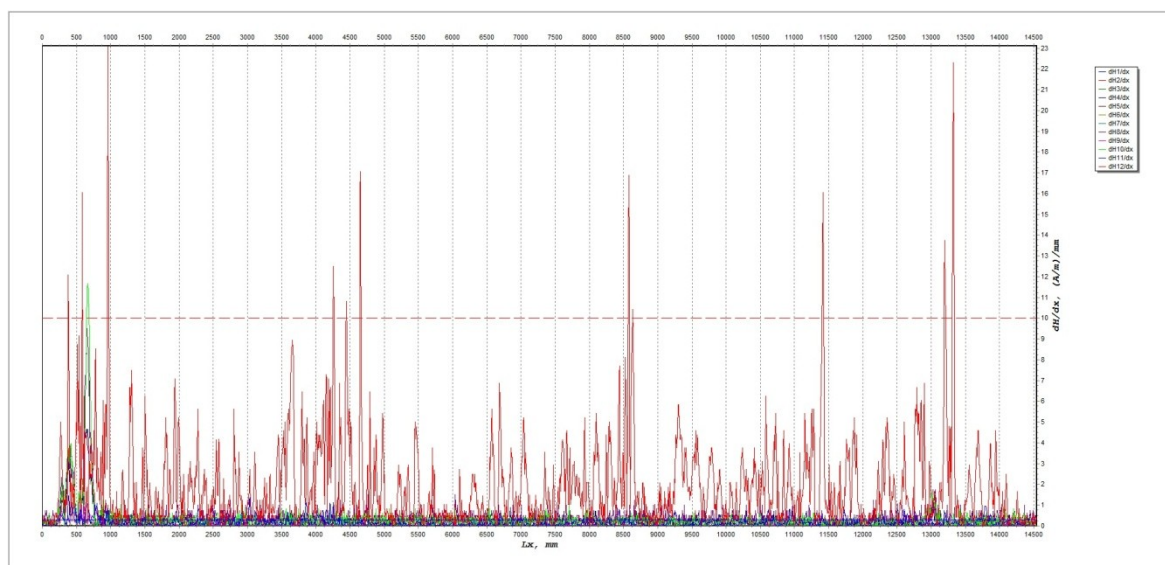
6.2 Měření vyztužení

Jako druhé měření je provedena kontrola svaru vyztužení umístěné pod držáky základního uchycení. Vyztuha je materiál L profilu navařená pod uchycením pístu předešlého měření. Na obr. 6.4 jsou vyznačeny svary pro provedení měření.



Obr. 6.4 Zobrazení svarů pro měření

6.2.1 Grafické výsledky měření



Obr. 6.5 Magnetogram výsledku měření výtuhy

Na obr. 6.5 magnetogram z měření a oblasti zvýšené koncentrace napětí. Žádná ze špičkových hodnot nepřekračuje výrazně hodnotu $dh/dx = 30 \text{ (A/m)/mm}$. Kvalita a celistvost svaru na velikost této konstrukce je kvalitní.

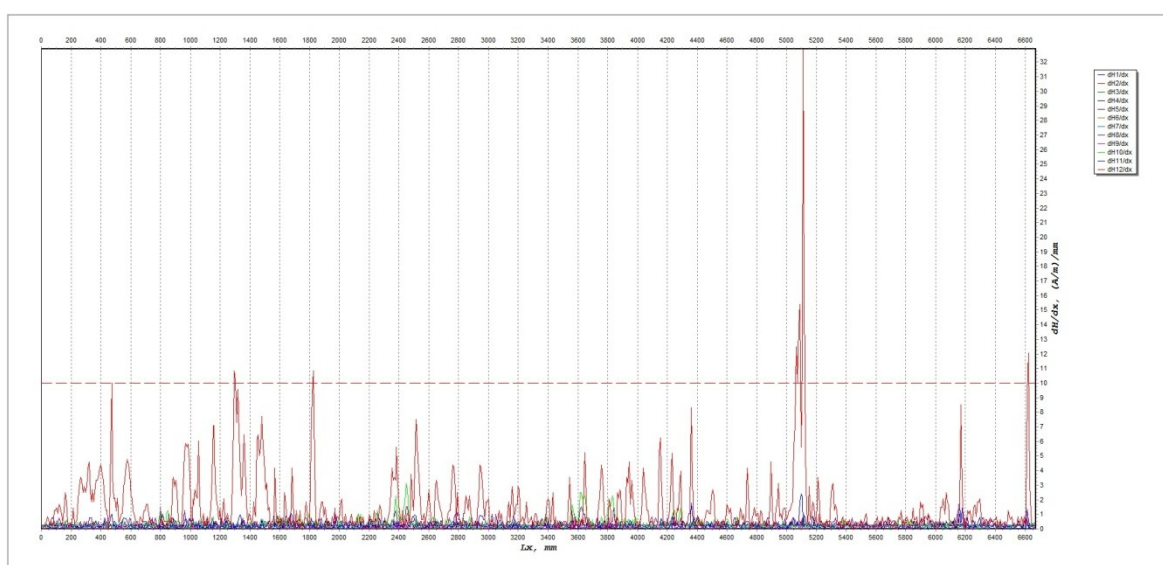
6.3 Měření spodního uchycení

Třetí měření je provedeno pro spodní uchycení pístu na pojízdňé části konstrukce. Na obr. 6.6 je fotka spodního uchycení a graficky zobrazená místa pro provedení měření.

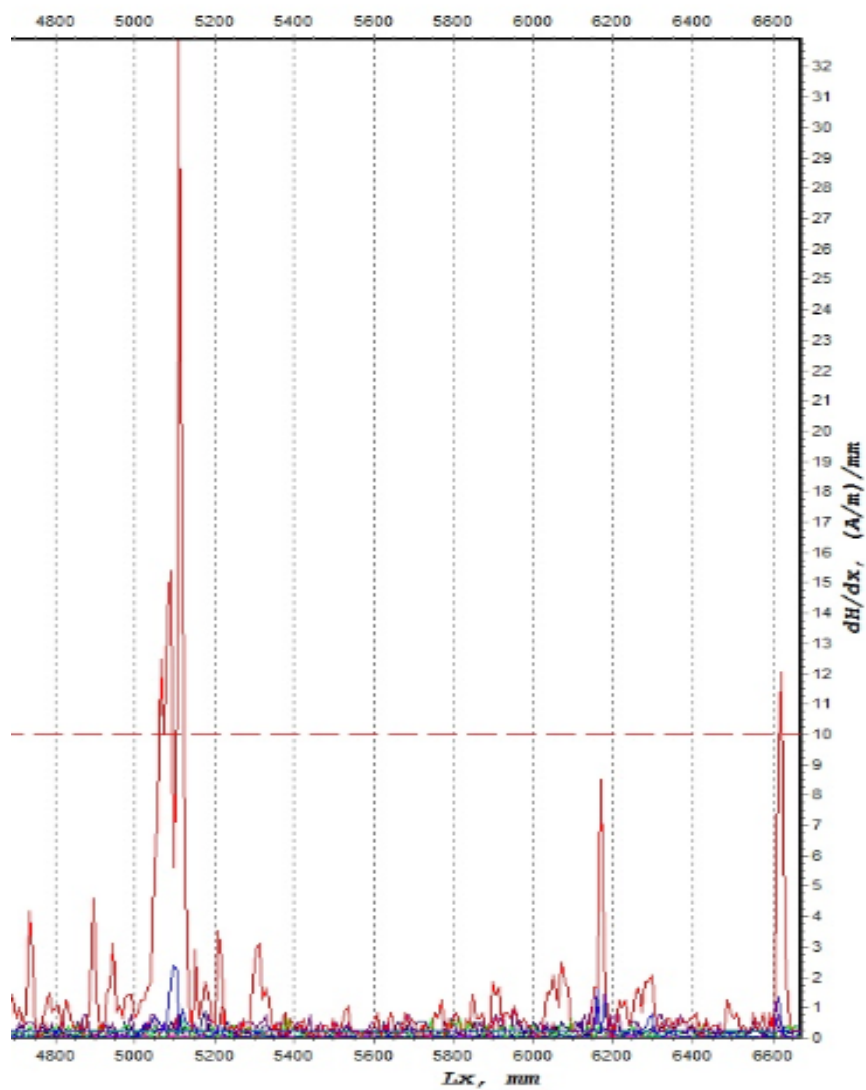


Obr. 6.6 Místo pro měření spodního uchycení

6.3.1 Grafické výsledky měření



Obr. 6.7 Magnetogram měření pro spodní uchycení



Obr. 6.7 Detail koncentrace zvýšeného napětí

Na detailu magnetogramu je vyobrazena zóna vyšší koncentrace napětí. V závislosti na velikosti svaru a konstrukce a zvolenou metodu svařování, nemá tato zóna na pevnost a celistvost svaru žádný zásadní vliv.

7 Závěr

V bakalářské práci řeším problém s navrhnutým nůžkovým zvedákem ve firmě Jewa s. r. o. Prvotní návržení vedlo k deformaci konstrukce a poškození uchycení pístu. Právě jeho poloha byla zjištěna jako špatná. V nejnižší poloze zaujímal přílišnou horizontální polohu. Po změně velikosti uchycení a vyztužení se zvedák choval bez problémů. Přepočít pomocí programu Mathcad zjistil, že možné využití zvedáku při napojení na čerpadla a hydraulický okruh, jako byl doposud a síle zvedání pístu 85 000 N, je konstrukce schopna uzvednout asi 623 kg po provedené konstrukční úpravě. Pro původní provedení uchycení pístu bylo možné uzvednout pouze 271 kg. Je ale nutné dodat, že se jedná o teoretický přepočít za ideálních podmínek. Pro kontrolu bezpečnosti a k dimenzování zvedáku jsem použil program Inventor 2012. Pomocí simulace a nastavení zatížení, vhodných dotyků a vazeb jsem zjistil chování konstrukce. Pro zvedání hmotnosti, kterou zvedák zdvihne, je konstrukce ideální.

Kontrolu celistvosti a pevnost svarů jsem využil metody nedestruktivní diagnostiky. Zvolená metoda magnetické paměti kovů neodhalila problém v celistvosti ani vady ve svarových spojích. Občasné zvýšené zóny koncentrace napětí nemají na tuto velikost konstrukce téměř žádný zásadní vliv.

8 Seznam použité literatury

- [1] KREIDL, Marcel; ŠMÍD, Radislav; *Technická diagnostika*, 1. vydání, Praha: Ben 2006, 406s., ISBN 80-7300-158-6
- [2] HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II*
- [3] *Vibrodiagnostika*. VŠB – TU, Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248-0650-9
- [4] MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. CVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01- 02417-2
- [5] GRYGAŘÍK, Václav. *Nížkový mechanismus zdvihací plošiny* [online]. Brno, 2012 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52984.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.~
- [6] Nedestruktivní kontrola [online]. 2008 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.ndt.cz/>
- [7] Metoda MMM – pdf. dokument, dostupné z WWW: <http://www.preditest.cz/?i=351/ke-stazeni>
- [8] Sourca. In: *PT & MT* [online]. 2005 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.sourca.com/products.php>
- [9] Jewa s.r.o. *Jewa s.r.o* [online]. 2010 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.jewa.cz/jewa/cz/>
- [10] Zvedací plošiny s.r.o. *Nabídka plošin* [online]. 2003 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.zvedaci-plosiny.cz/>
- [11] Jihlavan joint - stock company. *Penetrační linka* [online]. 2005 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.jihlavan.cz/penetracni-linka.html>
- [12] Proxis optické přístroje a systémy. *Technické / průmyslové endoskopy* [online]. 1998 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.proxis.cz/?i=237/technicke-endoskopy>

- [13] Strojírenství - vše k maturitě. 3.3.4.2 *ZKOUŠKA ULTRAZVUKEM* [online]. 2008 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011_03_01_archive.html

9 Seznam příloh

Příloha č. 1 – Výpočet původního provedení konstrukce zvedáku

Příloha č. 2 – Výpočet pro konstrukčně upravenou verzi zvedáku

Příloha č. 1 – Výpočet původního konstrukčního zvedáku

Původní verze zvedáku

$$N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-2}$$

$$a := 0.79903 \cdot \text{m} \quad b := 0.78403 \cdot \text{m} \quad \varphi := 8.16 \cdot \text{deg} \quad q := 0.14 \cdot \text{m} \quad r := 0.182 \cdot \text{m} \quad c := 0.2 \cdot \text{m}$$

$$l_d := 2 \cdot a \cdot \cos(\varphi) \quad l_d = 1.582 \cdot \text{m}$$

$$l_s := 2.008 \cdot \text{m} \quad t := 2710 \cdot \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$h := a \cdot \sin(\varphi) \quad h = 0.113 \cdot \text{m}$$

$$p := \sqrt{(a-r)^2 + q^2 - 2 \cdot (a-r) \cdot q \cdot \cos\left(2 \cdot \varphi - \frac{\pi}{6}\right)}$$

$$\beta := \text{asin}\left(\frac{q \cdot \sin(2 \cdot \varphi)}{p}\right)$$

$$\beta = 4.68 \cdot \text{deg}$$

$$p = 0.482 \cdot \text{m}$$

$$l_h := 2 \cdot b \cdot \cos(\varphi) \quad l_h = 1.552 \cdot \text{m}$$

stůl:

$$A_y + B - t \cdot l_s = 0 \cdot \text{N}$$

$$t \cdot \frac{(l_s - c)^2}{2} - t \cdot \frac{c^2}{2} - B \cdot l_h = 0 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$A_x := 0 \cdot \text{N}$$

$$B := \frac{t \cdot \frac{(l_s - c)^2}{2} - t \cdot \frac{c^2}{2}}{l_h}$$

$$B = 2.819 \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$A_y := t \cdot l_s - B$$

$$A_y = 2.623 \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$C_x := 1 \cdot \text{N}$$

$$C_y := 1 \cdot \text{N}$$

$$D := 1 \cdot \text{N}$$

$$E_x := 1 \cdot \text{N}$$

$$E_y := 1 \cdot \text{N}$$

$$F := 1 \cdot \text{N}$$

Given

levá noha:

$$E_x - A_x - F \cdot \cos(\varphi + \beta) = 0 \cdot \text{N}$$

$$D + E_y - A_y - F \cdot \sin(\varphi + \beta) = 0 \cdot \text{N}$$

$$-F \cdot \sin(\beta) \cdot r - E_x \cdot a \cdot \sin(\varphi) + E_y \cdot a \cdot \cos(\varphi) + A_x \cdot (a + b) \cdot \sin(\varphi) - A_y \cdot (a + b) \cdot \cos(\varphi) = 0 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

pravá noha:

$$C_x - E_x + F \cdot \cos(\varphi + \beta) = 0 \cdot \text{N}$$

$$-B + C_y - E_y + F \cdot \sin(\varphi + \beta) = 0 \cdot \text{N}$$

$$B \cdot (a + b) \cdot \cos(\varphi) + E_x \cdot a \cdot \sin(\varphi) + E_y \cdot a \cdot \cos(\varphi) - F \cdot \cos(\varphi + \beta) \cdot (a + q) \cdot \sin(\varphi) - F \cdot \sin(\varphi + \beta) \cdot (a + q) \cdot \cos(\varphi) = 0 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$V := \text{Find}(C_x, C_y, D, E_x, E_y, F)$$

$$V = \begin{bmatrix} 1.044 \cdot 10^{-4} \\ 2.615 \cdot 10^3 \\ 2.826 \cdot 10^3 \\ 8.271 \cdot 10^4 \\ 1.865 \cdot 10^4 \\ 8.483 \cdot 10^4 \end{bmatrix} \cdot \text{N}$$

Příloha č. 2 – Výpočet pro konstrukčně upravenou verzi zvedáku

Upravená verze zvedáku

$$N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-2}$$

$$a := 0.79903 \cdot \text{m} \quad b := 0.78403 \cdot \text{m} \quad \varphi := 8.16 \cdot \text{deg} \quad q := 0.252 \cdot \text{m} \quad r := 0.182 \cdot \text{m} \quad c := 0.2 \cdot \text{m}$$

$$l_d := 2 \cdot a \cdot \cos(\varphi) \quad l_d = 1.582 \cdot \text{m}$$

$$l_s := 2.008 \cdot \text{m} \quad t := 6230 \cdot \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$h := a \cdot \sin(\varphi) \quad h = 0.113 \cdot \text{m}$$

$$p := \sqrt{(a-r)^2 + q^2 - 2 \cdot (a-r) \cdot q \cdot \cos\left(2 \cdot \varphi - \frac{\pi}{6}\right)}$$

$$\beta := \text{asin}\left(\frac{q \cdot \sin(2 \cdot \varphi)}{p}\right)$$

$$\beta = 10.829 \cdot \text{deg}$$

$$p = 0.377 \cdot \text{m}$$

$$l_h := 2 \cdot b \cdot \cos(\varphi) \quad l_h = 1.552 \cdot \text{m}$$

stůl:

$$A_y + B - t \cdot l_s = 0 \cdot \text{N}$$

$$t \cdot \frac{(l_s - c)^2}{2} - t \cdot \frac{c^2}{2} - B \cdot l_h = 0 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$A_x := 0 \cdot \text{N}$$

$$B := \frac{t \cdot \frac{(l_s - c)^2}{2} - t \cdot \frac{c^2}{2}}{l_h}$$

$$B = 6.48 \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$A_y := t \cdot l_s - B$$

$$A_y = 6.03 \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$C_x := 1 \cdot \text{N}$$

$$C_y := 1 \cdot \text{N}$$

$$D := 1 \cdot \text{N}$$

$$E_x := 1 \cdot \text{N}$$

$$E_y := 1 \cdot \text{N}$$

$$F := 1 \cdot \text{N}$$

Given

levá noha:

$$E_x - A_x - F \cdot \cos(\varphi + \beta) = 0 \cdot \text{N}$$

$$D + E_y - A_y - F \cdot \sin(\varphi + \beta) = 0 \cdot \text{N}$$

$$-F \cdot \sin(\beta) \cdot r - E_x \cdot a \cdot \sin(\varphi) + E_y \cdot a \cdot \cos(\varphi) + A_x \cdot (a + b) \cdot \sin(\varphi) - A_y \cdot (a + b) \cdot \cos(\varphi) = 0 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

pravá noha:

$$C_x - E_x + F \cdot \cos(\varphi + \beta) = 0 \cdot N$$

$$-B + C_y - E_y + F \cdot \sin(\varphi + \beta) = 0 \cdot N$$

$$B \cdot (a + b) \cdot \cos(\varphi) + E_x \cdot a \cdot \sin(\varphi) + E_y \cdot a \cdot \cos(\varphi) - F \cdot \cos(\varphi + \beta) \cdot (a + q) \cdot \sin(\varphi) - F \cdot \sin(\varphi + \beta) \cdot (a + q) \cdot \cos(\varphi) = 0 \cdot N \cdot m$$

$$V := \text{Find}(C_x, C_y, D, E_x, E_y, F)$$

$$V = \begin{bmatrix} -1.676 \cdot 10^{-5} \\ 5.984 \cdot 10^3 \\ 6.526 \cdot 10^3 \\ 8.028 \cdot 10^4 \\ 2.713 \cdot 10^4 \\ 8.49 \cdot 10^4 \end{bmatrix} \cdot N$$