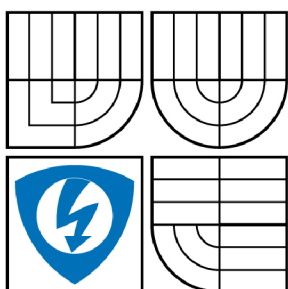


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC
TECHNOLOGY

ADJUSTACE DIFRAKTOMETRU D8 - ADVANCE BRUKER AXS

D8 - ADVANCE X-RAY DIFRACTOMETER ADJUSTMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

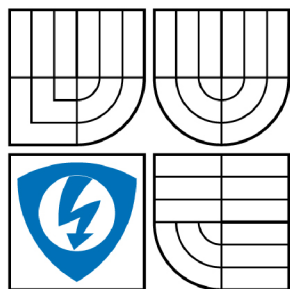
Bc. LUKÁŠ ČERNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ROMAN ŽÁK

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektrotechnická výroba a management

Student: Černý Lukáš Bc.

ID: 89376

Ročník: 2

Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Adjustace difraktometru D8 - ADVANCE BRUKER AXS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V návaznosti na zpracovanou teoretickou část v rámci semestrální práce realizujte přípravek umožňující adjustaci Goebelova zrcadla PGM2 difraktometru D8-Advance.

Technické parametry: možnost reverzace směru otáčení, regulace citlivosti posunu dle ústního upřesnění zadavatelem, minimální točivý moment motoru 0,5 Nm. Vypracování bude obsahovat zpracovanou teoretickou část a kompletní technickou dokumentaci realizovaného přípravku.

Dále v rámci této práce bude provedena zkouška funkčnosti tohoto přípravku ve firmě Bruker-Siemens.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 11.2.2008

Termín odevzdání: 30.5.2008

Vedoucí práce: Ing. Roman Žák

prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Lukáš Černý

Bytem:

Narozen/a (datum a místo): 3.10.1983, Zlín

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Marie Sedlaříková, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Adjustace difraktometru D8 - ADVANCE BRUKER AXS

Vedoucí/školicel VŠKP: Ing. Roman Žák

Ústav: Ústav elektrotechnologie

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě - počet exemplářů 1
- elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Abstrakt:

Předložená diplomová práce se zabývá adjustací difraktometru D8 Advance firmy Bruker AXS. Cílem práce je návrh a konstrukce přípravku, který bude aplikovatelný na stávající zařízení. Účelem navrhovaného zařízení je adjustace Göbelova zrcadla, jehož přesné nastavení je součástí základních servisních operací.

Ve svém úvodu se práce zabývá teoretickými principy, na jejichž základě zařízení difraktometru pracuje. Následuje návrh možného řešení zadaného problému, doplněný o konkrétní praktickou realizaci. Tuto realizaci tvoří volba vhodného elektrického pohonu, návrh a výroba ovládací elektroniky a konstrukce mechanického adaptéru, jež umožní kompatibilní a flexibilní spojení navrženého systému se stávajícím zařízením D8 Advance. Všechny výše popsané bloky zařízení jsou doplněny o podrobný popis a technickou dokumentaci, která je součástí příloh.

Abstract:

This graduation thesis deals with Bruker AXS D8 Advance adjustment. Target of this thesis is design and realization of equipment which is going to be applicable on existing D8 advance machine and works with Göbel mirror adjustment. Mentioned adjustment is basic part of service operations necessary for D8.

Introduction deals with theory of diffraction and basics of X-ray. Following part is presenting design of model which can be applicable and useful for solving of our problem. This design is completed with function device. This device realization is created by driving mechanism, control unit and mechanical adapter which is flexible and compatible with existing D8 Advance machine. All parts of designed device are fully described and complemented for full technical documentation, which is part of attachments.

Klíčová slova:

Adjustace, difraktometr, difrakce, prášková difrakce, Göbelovo zrcadlo, D8, D8 Advance.

Keywords:

Adjustment, diffractometer, diffraction, powder diffraction, Göbel mirror, D8, D8 Advance.

Bibliografická citace díla:

ČERNÝ, L. *Adjustace difraktometru D8 – Advance BRUKER AXS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 68 s. Vedoucí diplomové práce: Ing. Roman Žák.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne: 27.5. 2008

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Romanu Žákovi za metodické a cíleně orientované vedení při zpracování diplomové práce. Dále děkuji firmě BRUKER AXS, která umožnila použití přístroje D8 – Advance.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Jev RTG difrakce a fluorescence.....	10
2.1	Vlastnosti rentgenového záření	10
2.2	Rentgenová spektra.....	10
2.3	Absorpce rentgenového záření	13
2.4	Difrakce rentgenového záření na krystalech	15
3	Základní princip RTG spektrometru	17
3.1	Základní metody rentgenové difrakce	18
4	Zařízení D8 Advance	21
4.1	Princip funkčnosti D8	22
4.2	Uspořádání D8 Advance.....	23
4.3	Funkční bloky přístroje D8 Advance.....	24
5	Návrh adjustace.....	31
5.1	Hnací ústrojí	31
5.2	Návrh řídicí elektroniky.....	38
5.3	Mechanická část zařízení	46
6	Závěr.....	54
7	Seznam použitých zdrojů	55
A	Příloha	55
B	Příloha	60
C	Příloha	68

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1	Schematické uspořádání rentgenky.....	11
Obr. 2.2	Struktura slupky a spektrálních čar.....	13
Obr. 2.3	Absorpční hrany.....	14
Obr. 2.4	Difrakce paprsku.....	16
Obr. 2.5	Schematický obrázek spektrometru.....	17
Obr. 4.1	Schematické uspořádání D8 Advance.....	22
Obr. 4.2a	Funkční uspořádání D8 Advance.....	23
Obr. 4.2b	D8 Advance s ochranným krytem.....	24
Obr. 4.3	Vakuová RTG trubice s Cu anodou.....	25
Obr. 4.4	Scintilační detektor.....	26
Obr. 4.5	Vnější pohled na Göbelovo zrcadlo.....	27
Obr. 4.6	Konfigurace Göbelova zrcadla.....	28
Obr. 4.7	Výchozí nastavení zrcadla – výstupní pulz.....	29
Obr. 4.8	Manuální adjustace Göbelova zrcadla.....	30
Obr. 5.1	Schematický popis umístění ovládacích šroubů.....	31
Obr. 5.2	Magnetický obvod čtyřfázového motoru.....	33
Obr. 5.3	Části servomotoru.....	34
Obr. 5.4	Blokové schéma servomotoru.....	35
Obr. 5.6	Servomotor Hitec HS-475 HB.....	37
Obr. 5.7	Vnitřní zapojení časovače 555.....	39
Obr. 5.8	Časovač 555 jako astabilní klopný obvod.....	41
Obr. 5.9	Schéma zapojení ovládací elektroniky.....	42
Obr. 5.10	Osazená DPS řídicího obvodu.....	43
Obr. 5.11a	Čelní strana řídicího modulu.....	44
Obr. 5.11b	Zadní strana řídicího modulu.....	44
Obr. 5.12	Poloha montážního otvoru.....	46
Obr. 5.13	3D návrh spojovacího čepu.....	47
Obr. 5.14	Návrh provedení nosné desky.....	48
Obr. 5.15	Soustava spojovacího čepu.....	49
Obr. 5.16	Sestava servomotoru a spojovacího čepu.....	50
Obr. 5.17	Provedení nosné desky.....	51
Obr. 5.17	Provedení nosné desky.....	52
Obr. 5.18	Finální výrobek.....	53

1 Úvod

Difraktometr D8 – Advance firmy Bruker AXS je jedním ze zástupců moderní přístrojové techniky, reprezentující oblast materiálové struktury a krystalového inženýrství.

Principiálně se jedná o RTG difraktometr, určený ke zkoumání materiálů, práškové difrakci a difrakci s vysokým rozlišením.

Samotné zkoumání interakce rentgenového záření s krystalem mělo v prvních desetiletích 20. století zásadní význam a to jak pro poznání vlastností tohoto záření, tak i struktury krystalů a dalších látek. Podobně jako v jiných odvětvích moderních věd, i na počátku této vědy stálo několik jmen. Prvními fyziky, kteří se otázkami RTG difrakce systematicky zabývali, byli M. V. Laue a otec a syn W. H. a W. L. Braggové. Výsledky jejich zkoumání a závěry jejich experimentů dali vzniknout dnešní podobě RTG difrakce. Nejširší využití dnes RTG difrakční analýza nalézá v charakterizaci pevných látek, a to jak anorganického, tak i organického původu. RTG prášková difrakce se stala nepostradatelnou metodou ke studiu korozních procesů, syntézy a studia polovodičových a keramických materiálů, katalyzátoru a farmaceutických preparátů.

Je patrné, že drtivá většina výše jmenovaných operací závisí na moderních přístrojích, určených pro přesně vyhraněnou oblast použití. Přístrojů, které svými parametry splňují nejnáročnější požadavky dnešních vědeckých pracovníků není mnoho, a proto jsou na výrobu a následnou údržbu takovýchto výrobků kladeny obrovské nároky. Přístrojem spadajícím do této oblasti je i D8 – Advance, jehož modifikace je cílem této práce. Jak napovídá název práce, cílem je adjustace tohoto zařízení, která souvisí se servisní obsluhou tohoto přístroje.

Účelem této modifikace je navržení vhodného adjustovacího přípravku, který bude jednak 100% kompatibilní s již existujícím zařízením a jehož použití zkrátí a zefektivní servisní zásahy na tomto přístroji.

2 Jev RTG difrakce a fluorescence

2.1 Vlastnosti rentgenového záření

Zářením nazývaném rentgenovým (RTG) se chápe záření s vlnovými délkami, které jsou kratší než záření ultrafialové. Oblast nazvanou RTG lze zpravidla vymežit intervalem vlnových délek 0,001 – 5 nm.

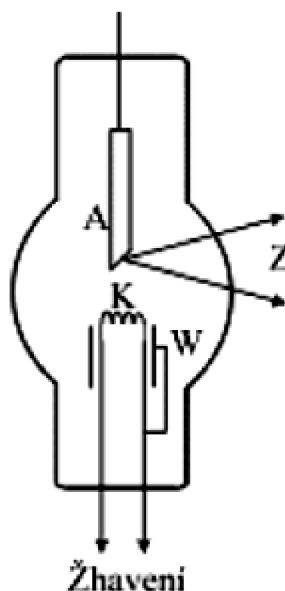
Jedním z typů, kdy vzniká RTG záření je situace, v které nabitá částice mění svoji rychlost. Ke změně této rychlosti však musí dojít dostatečně rychle a prudce. Taková situace nastává při tzv. brzděném záření, kdy urychlená částice prochází hmotným prostředím, čímž dochází ke snižování její energie. Jak vyplývá z dále uvedených souvislostí, základní charakteristikou brzděného záření je spojité spektrum, jež je nezávislé na typu brzdícího prostředí. Tato podmínka však neplatí v situaci, kdy má brzděná částice dostatečnou energii. V tomto případě se ve spektru objevují spektrální čáry, jejichž charakter a poloha jsou charakteristické pro složení brzdícího prostředí. Analýza vlastností diskrétních RTG spekter prvků je významným prostředkem pro studium struktury atomů. Dalším, významným typem RTG záření je situace, kdy dochází ke vzniku záření při pohybu po uzavřené křivce. Příkladem takového pohybu může být kruhový urychlovač. V současnosti nejvíce používanými zdroji monochromatického RTG záření jsou speciální elektronové synchrony, jejichž záření se nazývá synchronové. Mimo tohoto zdroje se velmi často využívá jevu zvaného rentgenová fluorescence, která vzniká při ozařování látky vhodným RTG zářením.

2.2 Rentgenová spektra

Nejčastěji užívaným zdrojem a dalo by se říci dnes už klasickým zdrojem RTG záření je rentgenová trubice – tzv. rentgenka. V tomto zmíněném klasickém provedení rentgenku tvoří evakuovaná baňka, která se skládá ze dvou elektrod (katody **K** a anody **A** - viz. Obr. 2.1). Katoda žhavená elektrickým proudem emituje elektrony, které jsou urychlovány napětí anody **U**. Toto napětí se pohybuje v řádech o velikosti desítek až stovek kV. Samotná katoda se nachází v dutém, Wehneltově válci **W**, s kterým je vodivě spojena. Toto uspořádání tvoří fokusační elektrodu, která soustřeďuje elektronový svazek do malé oblasti, která se nachází na povrchu anody. V tomto místě, kde elektrony dopadají na anodu vzniká RTG záření.

Ve výše popsaném uspořádání lze hovořit o bodovém zdroji spojitěho brzděného záření. [1]

Pokud v tomto uspořádání zvolíme vhodně hodnoty urychlovacího napětí elektronů, dostáváme také zdroj charakteristického záření s diskretním spektrem. Toto spektrum odpovídá materiálu dané anody.



Obr. 2.1 Schematické uspořádání rentgenky

2.2.1 Brzdné záření

Jev zvaný brzdné záření lze sledovat při průchodu urychleného elektronu materiálem anody. Takto urychlený elektron interaguje s místními poli v látkovém prostředí. Vlivem této interakce dochází ke ztrátě jeho kinetické energie a současně k emisi fotonů. Protože konečný stav brzdícího procesu jsou volné elektrony se spojitým spektrem, předpokládá se, že i spektrum brzdného záření je spojitě. Nejvyšší možná energie takto vyzářených fotonů odpovídá stavu, kde jediný foton přenese celou kinetickou energii elektronu $E_k = eU_a$, kde U_a je urychlovací napětí. Z podmínky zachování energie platí vztah pro mezní frekvenci fotonu $\omega = 2\pi\nu_m$. Pro vlnovou délku λ_m potom platí následující vztah:

$$h\nu_m = \frac{hc}{\lambda_m} = eU_a \quad (1)$$

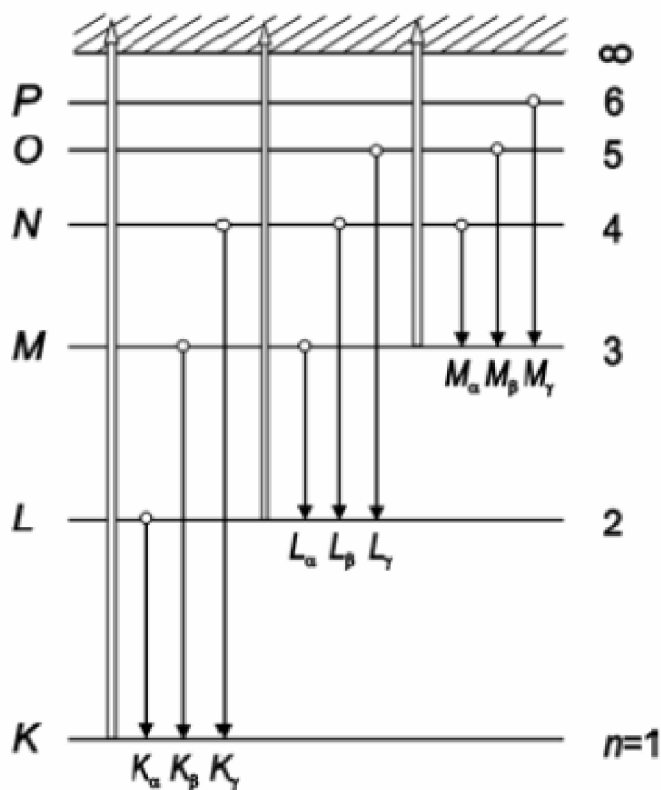
Pokud vlnová délka klesá, intenzita I nejdříve plynule roste. Poté nabývá maxima a jak vyplývá ze vztahu (1), následně strmě klesá k nule.

Pro případ, kdy $\lambda \leq \lambda_m$ by měla být intenzita nulová. Tato vlastnost se týká krátkovlnné hranice spektra brzdného záření a mimo jiné dává dobrou možnost pro měření Planckovy konstanty h . Měřením intenzity při konstantní vlnové délce v závislosti na urychlovacím napětí lze určit mezní vlnovou délku λ_m . Pokud dosadíme změřenou hodnotu λ_m do vztahu (1), lze pak opět stanovit hodnotu konstanty h , přesněji h/e . Tato metoda má ovšem jisté limity, především omezenou rozlišovací schopnost rentgenových spektrometrů. Ta je zapříčiněna neurčitostí energie elektronů, která je zapříčiněna počáteční rychlostí při elektronové emisi z katody. Přesnost, o které by se dalo hovořit je několik desítek ppm.

2.2.2 Charakteristické záření

Pokud nastane situace, kdy máme dostatečně vysokou energii elektronů, dochází k emisi anodového čárově diskrétního spektra. Pokud energie elektronů vzrůstá, vzrůstá i intenzita a počet čar. Ty se stejně, jako atomová spektra, sdružují do sérií. Důležitým aspektem je skutečnost, že poloha jednotlivých čar ve spektru závisí na materiálu anody. Na vzniku těchto rentgenových spekter se podílejí elektrony vnitřních slupek.

Pokud dojde k nepružné srážce atomu s dostatečně rychlým elektronem, může dojít k tzv. vytržení elektronu. K tomuto vytržení může dojít z konkrétní části elektronového obalu, tedy slupky. Pokud dojde například k vytržení elektronu ze slupky K, vzniklé volné místo může být zaplněno elektronem z některé ze slupek L, M, N, Takto vzniká celá série spektrálních čar K, následně L, M, N. Tato situace je znázorněna na Obr. 2.2. Stejně jako u spekter atomů, i tady se lze setkat s jemnou strukturou rentgenových spekter. Ty lze interpretovat za pomoci výběrových pravidel pro přechody mezi jednoelektronovými stavy. Tato výběrová pravidla se nazývají rentgenovské termy a jsou charakterizovány kvantovými čísly n, l, j .



Obr. 2.2 Struktura slupky a spektrálních čar

2.3 Absorpce rentgenového záření

Prochází-li primární rentgenové záření prostředím s látkou, dojde k útlumu tohoto záření. Na tomto útlumu se podílejí dva hlavní mechanismy: rozptyl a fotoefekt. Výsledná velikost útlumu závisí na několika faktorech. Rozhodujícím faktorem je především vlnová délka procházejícího záření, délka dráhy v absorbujícím prostředí a v neposlední řadě hmotnost absorbující látky. Z kvantitativní stránky je velikost útlumu charakterizována součinitelem útlumu. Pokud bychom zkoumali závislost útlumu na vlnové délce záření, byla by řeč o absorpčním spektru rentgenového záření.

2.3.1 Součinitel útlumu

Uvažujeme li případ, kde RTG záření intenzity I_0 vstupuje do vrstvy hmotného prostředí o tloušťce l , potom lze stanovit vztah pro intenzitu záření v daném směru za touto vrstvou.

$$I = I_0 e^{-\mu l} \quad (2)$$

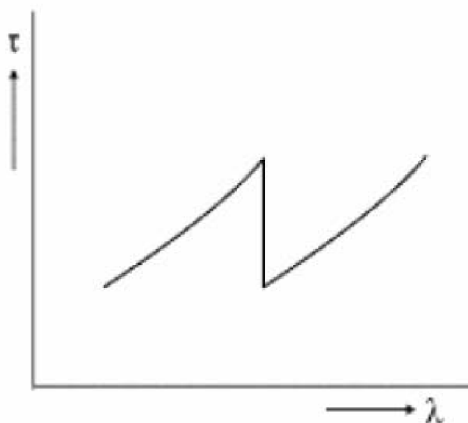
Veličina μ , s rozměrem $[\text{m}^{-1}]$ se nazývá součinitel útlumu. Z obecného hlediska závisí na vlnové délce primárního záření. Mimo to je také závislý na atomových číslech prvků, které tvoří absorbující vrstvu. Vzhledem k tomu, že útlum záření je úměrný hmotnosti prostředí, zavádí se tzv. měrný součinitel útlumu, který je dán poměrem μ / ρ , kde ρ je hustota daného prostředí. Součinitel μ je v obecném případě složen ze dvou komponent,

$$\mu = \tau + \sigma \quad (3)$$

kde veličina τ udává útlum daný foto-elektrickou excitací a σ útlum daný rozptylem. Pokud bychom však pro obě veličiny uvažovali vlnovou délku, lze veličinu σ zpravidla zanedbat.

2.3.2 Absorpční spektrum

Z obecného hlediska lze říci, že velikost koeficient τ s rostoucí energií fotonů klesá, z čehož zároveň vyplývá, že se vzrůstající vlnovou délkou vzrůstá. Tato podmínka však není platná pro celou šířku pásma, a jak ukazuje obrázek Obr. 2.3, při určitých vlnových délkách λ_k , jimž odpovídají příslušné frekvence ω_k , dochází k náhlým změnám.



Obr. 2.3 Absorpční hrany

Takto vzniklé oblasti se nazývají absorpční hrany. Za pomoci experimentů se zjistilo, že polohy jednotlivých absorpčních hran v emisních spektrech korelují s polohami spektrálních čar. Jelikož je frekvence všech emisních čar dané série nižší než frekvence určité absorpční hrany, jednotlivé absorpční hrany lze tedy přiřadit jednotlivým sériím emisních spekter. Při podrobnějším rozboru dospějeme k tomu, že je lze ztotožnit s hranami jednotlivých emisních sérií. Jednotlivé frekvence lze tedy považovat za reprezentanty ionizační energie elektronů pro příslušné slupky. Počet takovýchto složek dané absorpční hrany odpovídá počtu čar v emisním spektru série.

Z výše uvedených předpokladů vyplývá, že polohy absorpčních hran rentgenových spekter pro různé prvky musí vyhovovat Moseleyovu zákonu.

2.4 Difrakce rentgenového záření na krystalech

Jak sem již uvedl v úvodu práce, studium interakce rentgenového záření s krystalem slavilo své první úspěchy v prvních desetiletích 20. století. Vědecký pracovník Laue navrhnul pro účely studia spekter nahradit optickou mřížku spektrometru krystalem. Při tomto návrhu vycházel z poznání, že atomy v krystalu jsou pravidelně uspořádány. Dal tak vzniknout Laueho modelu difrakčního procesu. Tento děj předpokládá, že RTG záření, které prochází krystalem, rozkmitá již zmíněné elektronové obaly, které se tak stanou zdroji sekundárně koherentního záření RTG. Takto rozptýlené záření vycházející z krystalu se v některých směrech interferencí zesiluje, v jiných se zase vyruší.

Ve zvolené rovině tak vzniká difrakční obrazec, jenž je možno zaznamenat. Kvantitativně lze vzniklé difrakční maxima určit z Laueových rovnic. Za předpokladu, že RTG záření o vlnové délce λ , které se šíří ve směru s_0 a dopadá na krystal s prostorovou krystalovou mřížkou, která je popsána vektory a_1 , a_2 a a_3 , vznikají difrakční maxima ve směru jednotkového vektoru s , který vyhovuje následujícím rovnicím.

$$\begin{aligned}a_1(s - s_0) &= (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_{10}) = k_1 \lambda \\a_2(s - s_0) &= (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_{20}) = k_2 \lambda \\a_3(s - s_0) &= (\cos \alpha_3 - \cos \alpha_{30}) = k_3 \lambda\end{aligned}\tag{4}$$

Symboly k_1 , k_2 , a k_3 jsou celá čísla, α jsou úhly dopadajícím svazkem a vektory a_1 , a_2 a a_3 .

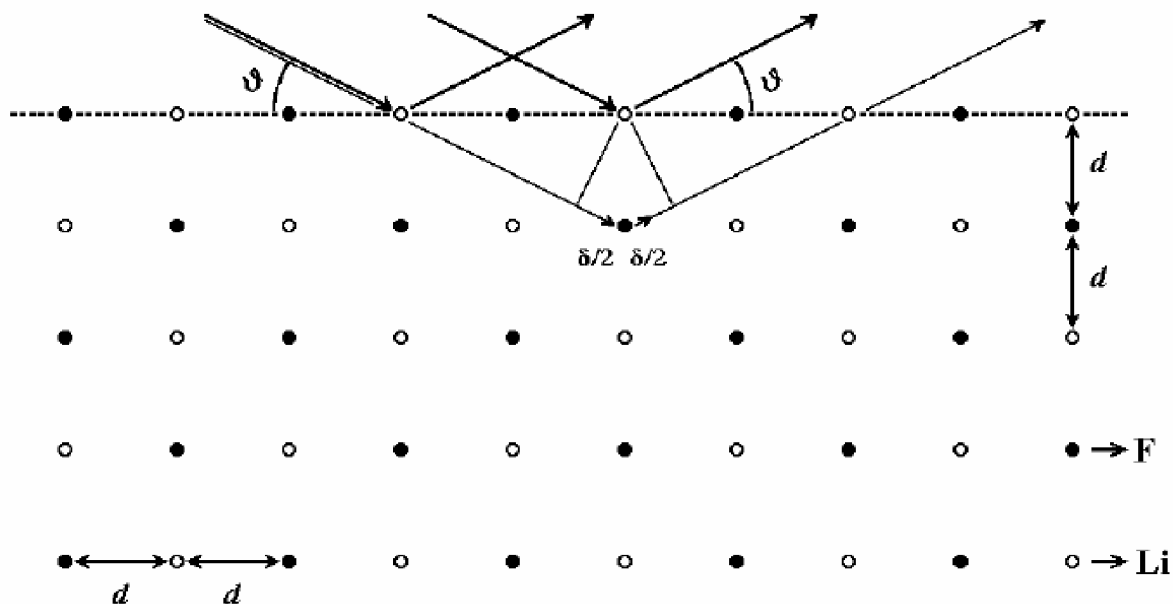
Celý tento jev popsal vědec jménem Bragg. Braggův popis difrakce vychází z představy, při které difraktovaný paprsek vzniká odražením se od určité soustavy rovnoběžných rovin, v kterých se krystaly atomu nacházejí.

Dopadající i difraktovaný paprsek svírají s uvažovanou soustavou rovin stejný úhel θ , který odpovídá zákonu odrazu. Tato situace je znázorněna na obrázku Obr. 2.4, z kterého je patrné, že záření difraktované různými atomy dané roviny se superponuje se stejnou fází, podobně jako je tomu při obyčejném odrazu na rovinném rozhraní. Naproti tomu je situace, kdy záření difraktované různými atomy ze sousední roviny ve vzdálenosti d má dráhový rozdíl $2d\sin\theta$. Za předpokladu, že je splněna podmínka (5) se záření difraktované různými rovinami superponuje se stejnými fázemi.

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (5)$$

Tato podmínka se nazývá Braggova rovnice. Znak n v této rovnici je celé číslo, které označuje řád difrakce, λ je vlnová délka záření.

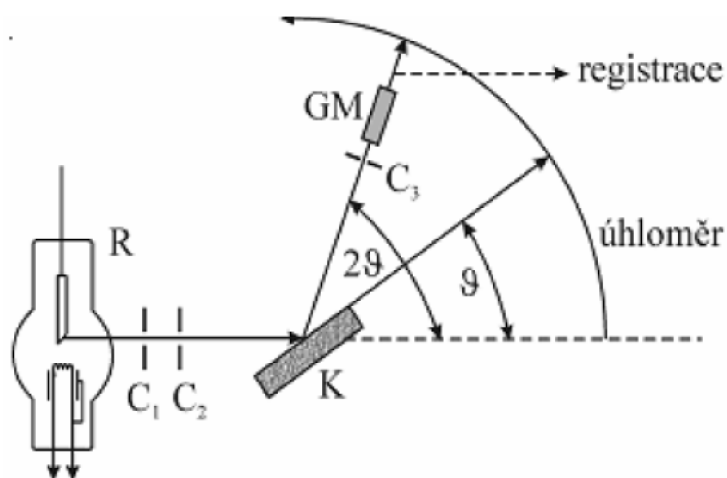
Pokud však podmínka (5) splněna není, dochází k poklesu výsledné intenzity záření, stejně jako je tomu v případě interference mnoha svazků v optice. Oba výše popsané přístupy, tedy popis Laueův i Braggův lze z fyzikálního hlediska chápat jako ekvivalentní.



Obr. 2.4 Difrakce paprsku

3 Základní princip RTG spektrometru

Zařízení zvané RTG spektrometr, určené pro oblast rentgenového záření musí obsahovat stejné funkční celky jako spektrometr optický. Mezi hlavní prvky takového spektrometru patří kolimátor vstupujícího záření, dispersní soustava a registrační část zařízení, která zabezpečuje registraci spekter. Při konkrétní realizaci je však nutno takto obecně popsanou soustavu přizpůsobit konkrétnímu typu záření. Pro oblast RTG se jako kolimátor, jehož hlavní funkcí je vymezení rovnoběžného paprsku, využívá soustava štěrbin. Pro dispersní typ soustavy se využívá vhodný krystal, na němž se předpokládá difrakce požadovaného záření. Konkrétní spektra se poté registrují buď na fotografický materiál, nebo se využívá různých typů detektorů. Při konkrétní realizaci je nutné mít na paměti skutečnost, že výsledná činnost systému je ovlivněna hned několika okolnostmi. Vliv má jednak obor studovaných vlnových délek, požadovaná citlivost detektoru a např. rozlišovací schopnost. Je nutné mít také na paměti, že spektrometry pracující v běžném prostředí na vzduchu jsou schopny pracovat v krátkovlnné oblasti spektra, tedy s vlnovou délkou menší než 0,2 nm. Taktéž je dobré mít na paměti, že jen u spektrometrů použitelných pro tuto oblast záření může být dispersní soustava tvořena krystalem. U průmyslově profesionálních spektrometrů se pro krystal používají destičky krystalů, které jsou vybrušovány do tvaru válcových ploch. Toto uspořádání zároveň umožňuje, že tyto desky slouží jako fokusace svazku. Na následujícím obrázku Obr. 2.5 je uvedeno funkční schéma RTG spektrometru, který využívá rovinný krystal. [2]



Obr. 2.5

Schematický obrázek spektrometru

Jak je z obrázku patrné, svazek záření vystupuje z rentgenky R, odkud je vymezen soustavou kovových clon C1 a C2. Za těmito clonami následuje krystal K, který je umístěn v otočném držáku. Spektrum záření je pak vymezeno poslední clonou C3, z které putuje na detektor, v tomto případě Geiger-Müllerův detektor (GM). Výstupní signál tohoto detektoru je zpracován a registrován. Úhel natočení obou prvků soustavy, tedy úhel natočení krystalu i úhel natočení detektoru lze měnit, avšak pouze za předpokladu, že bude splněna výše popsaná Braggova podmínka. Úhlová disperze rentgenového spektrometru, která je definována jako $\frac{\delta v}{\delta \lambda}$, se dá vypočíst z Braggovy rovnice (5) a platí pro ni

$$\frac{\delta v}{\delta \lambda} = \frac{n}{2d \cos \theta} \quad (6)$$

Z takto vypočteného výsledku je zřejmá především lineární závislost řádu difrakce n .

Vzhledem ke skutečnosti, že s hodnotou n silně klesá i intenzita difraktovaného záření, pracujeme obvykle se spektrem prvního řádu $n = 1$.

Ve výjimečných případech, kde je nutné rozlišovat detaily v konkrétní části spektra se uchylujeme k použití vyššího řádu a to většinou za cenu delší expozice. Výsledné, mezní rozlišení, jehož jsme schopni dosáhnout, je však dáno rozlišovací schopností přístroje celého.

3.1 Základní metody rentgenové difrakce

Rentgenové záření, jež prochází látkou je rozptylováno a to vlivem interakce s elektrony jednotlivých atomů. Pokud bychom se zajímali o intenzitu záření rozptýleného na daném atomu, došli bychom k závěru, že závisí na počtu elektronů konkrétního atomu a tedy je úměrná atomovému číslu Z . Na základě těchto předpokladů vznikl tzv. atomový faktor f , který je úměrný právě atomovému číslu Z . Pokud bychom měli opět pravidelně prostorově uspořádanou strukturu krystalu, zjistíme že záření rozptýlené na jednotlivých atomech vzájemně interferuje a ve směrech, které vychází z Braggovy rovnice (5) dochází ke vzniku difrakčních maxim. Intenzita takových maxim je pak závislá na populaci atomů v příslušné difrakční rovině. Tyto roviny jsou charakterizovány tzv. Müllerovými indexy. Intenzita je pak dána čtvercem amplitudy F výsledné vlny.

Ta se dá vyčíslit jako suma amplitud v_n , které jsou rozptýlené na jednotlivých atomech uvažované soustavy difrakčních rovin v elementární buňce krystalu (včetně jejich fází).

Označíme-li souřadnice n -tého atomu u_n, v_n, w_n , lze veličinu $F(h,k,l)$ známou také jako strukturní faktor vyjádřit následujícím vztahem:

$$F(h, k, l) = \sum_n f_n \exp[-2\pi(hu_n + kv_n + lw_n)] \quad (7)$$

v němž h,k,l značí MüllEROVY indexy, které charakterizují danou soustavu difrakčních rovin. Vztah (7) se tak stává základním pro interpretaci výsledků, které získáme za pomoci difrakční metody. Hlavním úkolem je tedy přiřazení MüllEROVÝCH indexů jednotlivých difrakčních maximům a tím i soustavu příslušné difrakční roviny, díky níž pak lze identifikovat krystalovou strukturu zkoumaného vzorku.

3.1.1 Laueova metoda

Z výše uvedených Laueových rovnic (4) je vidět, že nevždy je podmínka platná pro vznik difrakčních maxim v daném krystalu a je splnitelná pro libovolnou vlnovou délku. Kvůli tomuto využívá Laueova metoda polychromatické záření, kterým se zkoumaný krystal ozařuje. Výsledná difrakce se při této metodě zaznamenává převážně na fotografický materiál, přičemž je nutné, aby registrační zařízení bylo kolmé na směr primárního záření. Konkrétní tvar registrovaného obrazce koresponduje přímo s krystalovou mřížkou a vzájemně si odpovídají i symetrie. Závisí však i na orientaci směru dopadajícího záření vůči osám elementární buňky. Laueova metoda se proto hodí především k orientaci krystalů. Naproti tomu se však tato metoda nehodí pro měření mřížkových konstant a to proto, že nejsou známy vlnové délky, při nichž jednotlivá difrakční maxima vznikají. [1]

3.1.2 Metoda Debyeova – Scherrerova

Tato metoda pracuje s monochromatickým zářením a vzorkem polykrystalu. Naproti Laueho metodě je použitelná k měření mřížkových konstant.

Jestliže prochází monochromatické záření polykrystalickým vzorkem s náhodně orientovanými krystalovými zrn, dochází k orientaci některých zrn soustavy tak, že směr primárního svazku a orientace některé soustavy krystalových rovin splňují Braggovu rovnici (5). Z toho lze vyvodit, že všechny příspěvky leží na plášti kužele, který má osu ve směru primárního svazku a jeho vrcholový úhel je roven 4υ .

Rovinný snímač, který je umístěn ve vzdálenosti s od vzorku a je kolmý na směr primárního svazku pak registruje jednotlivá difrakční maxima a to jako soustavu koncentrických kroužků (*Debyeovy-Scherrerovy kroužky*). Vzhledem k tomu, že difraktované záření je od primárního svazku odchýleno o úhel 2υ , lze úhel υ jednoduše určit z poloměru příslušného difrakčního kroužku D a to podle vztahu

$$\upsilon = \frac{1}{2} \arctg \frac{D}{2s} \quad (8)$$

Z uvedené Braggovy rovnice (5) je pak možné určit vzdálenost příslušných krystalových rovin a po přiřazení Müllerových indexů jednotlivým kroužkům se dají určit parametry krystalové mřížky. Pro konkrétní aplikaci výše popsané Debyeovy-Scherrerovy metody se používají válcové komůrky.[2]

4 Zařízení D8 Advance

Zařízení D8 firmy Bruker AXS patří do kategorie RTG difraktometrů navržených tak, aby vyhovovali všem aplikacím RTG difraktometrie. Základní název přístroje je D8, přičemž tento základní název bývá zpravidla doplňován o konkrétní přívlastek. V našem případě pracujeme s přístrojem D8 Advance. Mimo označení Advance se lze setkat s označeními D8 - Discover for MR a D8 Discover with GADDS. První jmenovaný je určený pro výzkum materiálu (MR = Material Research). Označení Discover with GADDS znamená, že se jedná o modifikaci s dvojitým detektorem.

Naše zařízení D8 Advance je vymezeno pro následující oblasti:

- základní prášková difrakce
- oblast vlásečnic
- tenké filmy
- tekutiny

Další využití nachází tento přístroj v:

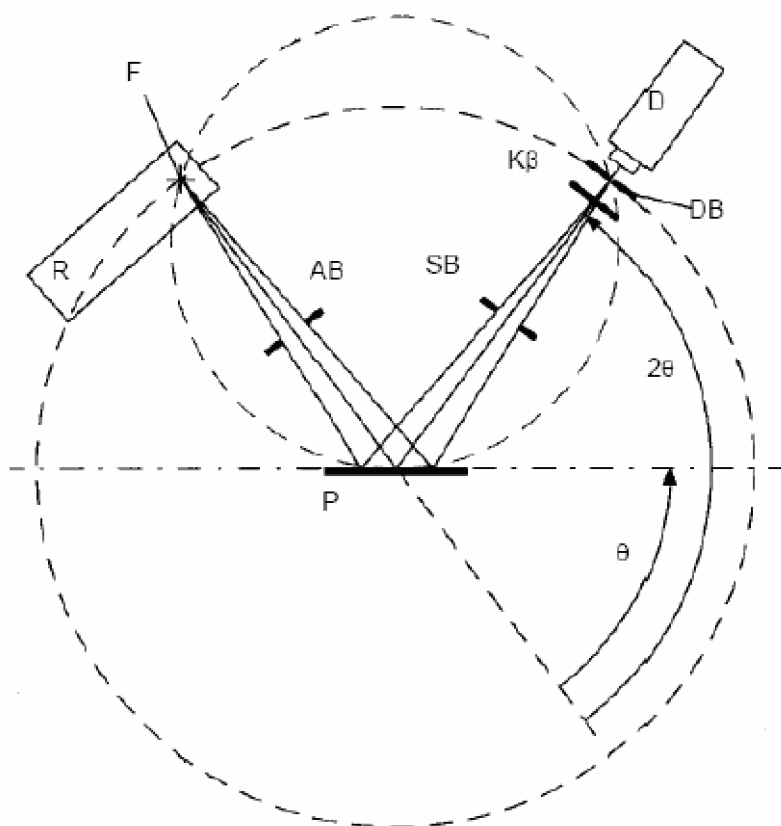
- Měření velikosti krystalků větších než 1 mikrometr (počítání difrakčních skvrn)
- Rentgenografické stanovení velikosti krystalků menších a rovných 20nm (z měření pološířky)
- Určení hustoty minerálů z rentgenografických měření
- Měření tloušťky povlaků z jiných vrstev na minerálech
- Určení molové hmotnosti
- Stupeň grafitizace organické hmoty (změna parametru c grafitu s teplotou)
- Stanovení triklinity draselných živců
- Určení krystalinity (stupeň uspořádání struktury) kaolinitu
- Určení krystalinity illitu (intenzita diagenese – metamorfózy)

4.1 Princip funkčnosti D8

Základní princip činnosti je velmi podobný obecnému difraktometru popsanému v kapitole 3.

Svazek RTG emitovaný řadovou RTG trubicí je směřován na materiál vzorku a jako difraktovaný je zaznamenán detektorem. Difrakční úhel 2θ proto odpovídá dvojnásobku úhlu dopadu θ .

Pro zajištění odpovídajících měřicích podmínek je materiál vzorku umístěn na pohyblivé části zařízení, kde může rotovat tak, aby byla splněna Braggova podmínka (5). Pro čitelnější výstupní informaci je možné použít některý z filtrů nebo monochromátor. Základní uspořádání zařízení je znázorněno na obrázku Obr. 4.1, kde θ - je úhel dopadajícího paprsku, AB - primární štěrbina, D - Detektor, DB - sekundární štěrbina, F - ostření, $K\beta$ - filter, P - vzorek, R - zdroj RTG, SB - štěrbina odraženého záření.



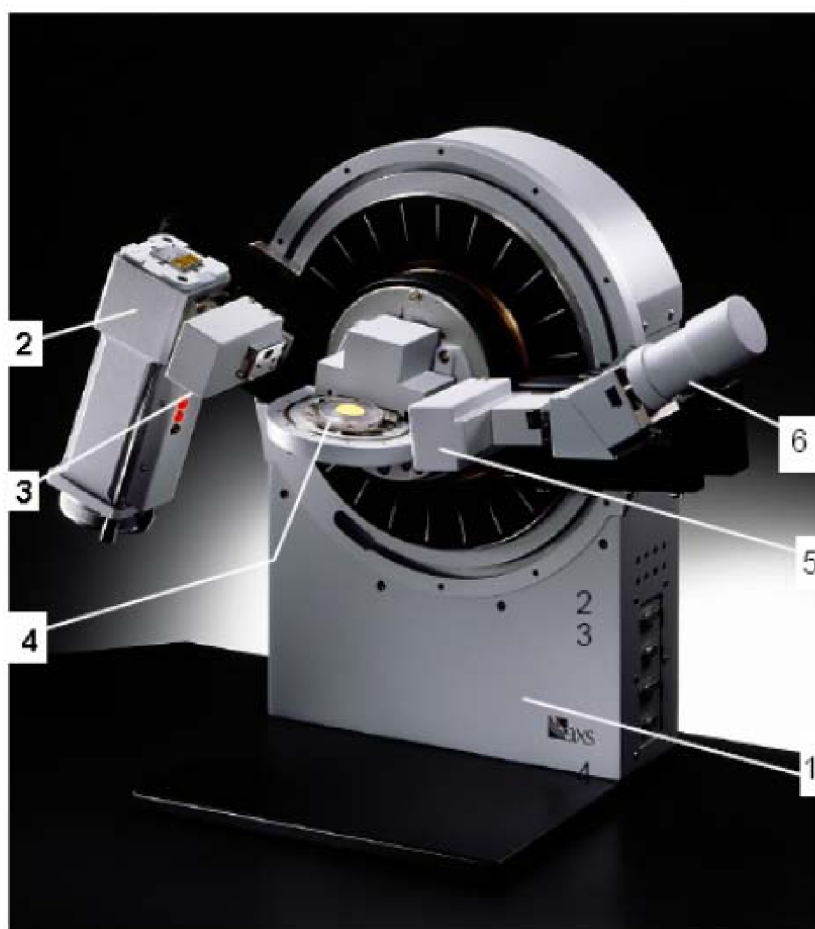
Obr. 4.1 Schematické uspořádání D8 Advance

K zaostření paprsku zařízení využívá Braggův - Brentův zákon. Vzorek a štěrbin detektoru jsou umístěny na společném prstenci.

Ke správné funkci je nutné, aby celý zkoumaný povrch vzorku byl umístěn na tomto prstenci. Konkrétní vymezení oblasti či snímaného povrchu je možné provádět i za pomoci regulace štěrbin, clon.

4.2 Uspořádání D8 Advance

Základní uspořádání přístroje D8 Advance je patrné z obrázku Obr. 4.2a.



Obr. 4.2a Funkční uspořádání D8 Advance

Difraktometr se skládá ze základního podstavce (1), trubice a ramene trubice (2), systému clon (3 a 5), držáku vzorku (4) a detektoru (6). Takto sestavená jednotka je určena jak k horizontálnímu tak vertikálnímu použití a to především díky prstencovému uspořádání ramen přístroje.

V případě, že je zařízení opatřeno základním stínícím krytem, dodávaným se zařízením, je plně vyhovující německé regulační normě pro RTG zařízení a splňuje veškeré normy, které použití těchto přístrojů stanovují.

Dveře z olověného skla, představující výše zmíněný kryt, umožňují snadný přístup ke zkoumanému vzorku a díky automatickému bezpečnostnímu systému neumožňují provádět měření v době, kdy jsou dveře v poloze jiné než zavřeno.

Tento bezpečnostní prvek je paradoxně jedním z elementů, který prodlužuje servisní nastavení dále zmíněného Göbelova zrcadla, jehož přesné nastavení je cílem práce. Provedení zařízení D8 Advance opatřeného tímto krytem je znázorněno na obrázku Obr. 4.2b.



Obr. 4.2b D8 Advance s ochranným krytem

4.3 Funkční bloky přístroje D8 Advance

Jak již bylo předestřeno v úvodu práce, zařízení D8 Advance je komplexním a konstrukčně složitým zařízením na špičkové úrovni.

Cílem této práce není kompletní rozbor zařízení či analýza všech jeho funkčních bloků, pro bližší představu je však nezbytné se o jednotlivých blocích zařízení zmínit. Velká pozornost je pak věnována bloku Göbelova zrcadla, jehož adjustace je cílem této práce.

4.3.1 RTG trubice

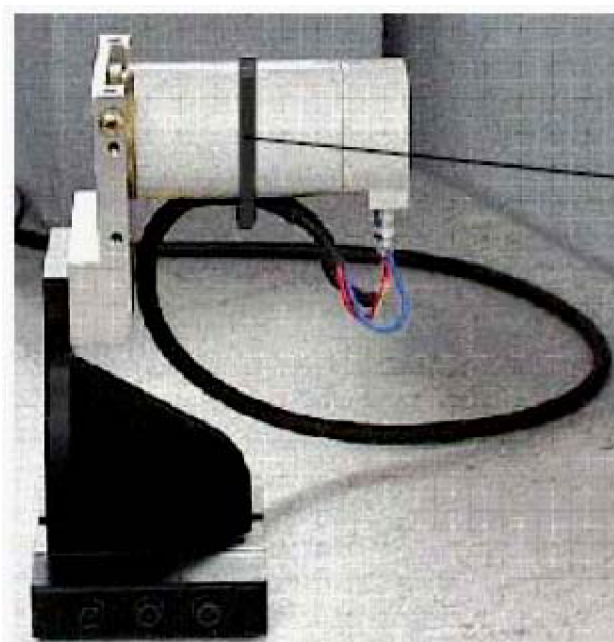
D8 obecně využívá jako zdroj RTG záření rentgenovou trubici s postranním oknem. Rentgenová trubice s uzemněnou anodou je napájena rentgenovým generátorem KRISTALLOFLEX 780. Tato vakuová trubice je dostupná hned s několika typy anod. Lze volit mezi materiály Cr, Fe, Co, Cu, Mo, Ag nebo W. Zaostření a polohu paprsku tvořeného touto trubicí je možné měnit pomocí emisního úhlu, který je nastaven na výchozí hodnotu 5° . Konstrukční blok trubice je opatřen signalizačními LED, jež upozorňují na provoz zařízení. Ovládání tohoto, stejně jako dalších bloků přístroje se děje pomocí speciálního software, který je dodáván s výrobkem. Konkrétní provedení RTG trubice je znázorněno na obrázku Obr. 4.3. Pozice (1) ukazuje provedení výstupního okénka rentgenky.



Obr. 4.3 Vakuová RTG trubice s Cu anodou

4.3.2 Scintilační detektor

Přístroj D8 Advance využívá jako registrační zařízení scintilační detektor. Scintilační detektory převádějí absorbovanou energii ionizujícího záření na energii fotonů náležejících zpravidla do viditelné krátkovlnné nebo blízké ultrafialové oblasti spektra. Historicky jde o nejstarší způsob detekce jednotlivých těžkých nabitých částic. V případě D8 Advance je použit scintilační detektor s Beryliovým okénkem. Tento detektor umožňuje registraci a následné vyhodnocení RTG záření s vlnovou délkou od 0,05 do 0,3 nm. Detektor je znázorněn na obrázku Obr. 4.4.



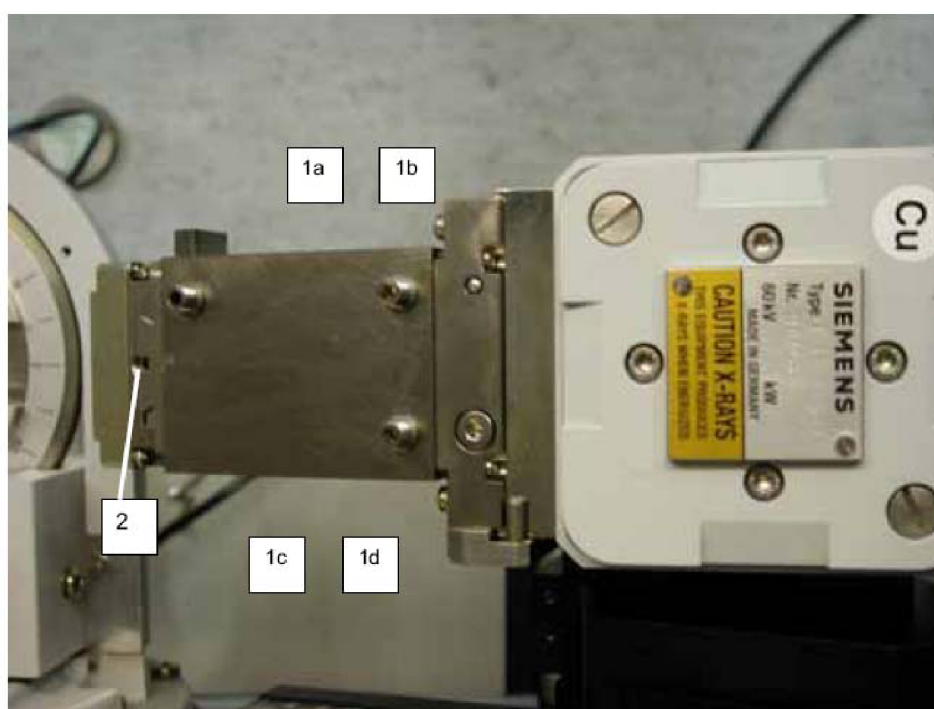
Obr. 4.4 Scintilační detektor

Kromě tohoto typu detektoru lze zařízení vybavit dalšími typy snímačů jako je SOL –X detektor, založený na bázi aktivních Si(Li) pevných částicích využívající aktivního termoelektrického chlazení díky Peltierově článku.

4.3.3 Göbelovo zrcadlo

Jak jsem již avizoval v úvodu kapitoly 4, funkční blok nazvaný Göbelovo zrcadlo je cílovým blokem naší práce. Zjednodušeně to znamená, že právě tento blok je cílem naší adjustace. Z obecného hlediska by se dala činnost tohoto bloku popsat následovně.

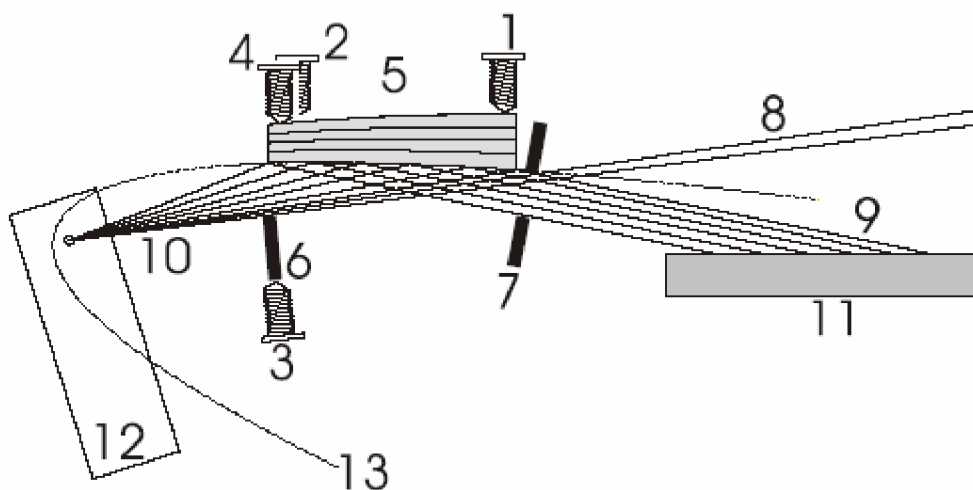
Göbelovo zrcadlo je součástí systému clon a optické soustavy. Nachází se mezi zdrojem paprsku primárního RTG záření a materiálem, na který záření dopadá. Funkčně tento blok převádí rozbíhavý primární paprsek RTG záření na paprsek paralelní. Díky této transformaci je možné využít daleko větší část primárního záření RTG. Tato schopnost Göbelova zrcadla se uplatňuje především pro spektrum $K\alpha$ a tudíž dochází převážně k difrakci tohoto spektra. Díky tomu, že toto „zrcadlo“ zachycuje převážnou část rozběhnutého RTG paprsku je jeho použití mnohem více žádoucí než použití běžného optického převaděče. Vnější pohled na blok zrcadla je na obrázku Obr. 4.5.



Obr. 4.5 Vnější pohled na Göbelovo zrcadlo

Vícevrstvá optika opatřená radiačním ochranným krytem nabízí tři stupně nastavení. Jedná se o nastavení směru povrchu zrcadla (1a), vlastní úhel paprsku (1b) a relativní orientaci zrcadla s ohledem na zaostření paprsku (1c a 1d). Cílem nastavení zrcadla je dosažení optimálního úhlu paprsku za současného splnění Braggovy funkce. Toto nastavení probíhá za předem stanovených podmínek a předvoleb. Základní nastavení optimálního úhlu zrcadla probíhá při 20 kV a 5mA v konfiguraci bez vzorku a s využitím Ni filtru a definovaným úhlem hlavice $\nu = 90^\circ$ pro rotující konfiguraci nebo $\nu = 0^\circ$ pro výchozí polohu.

Kompletní postup nastavení je velmi podrobně popsán v servisním manuálu a je nutné postupovat dle přesných kroků. Každé nastavení probíhá pomocí nastavovacího šroubu, přičemž při každé změně polohy tohoto šroubu je vyhodnocen odraz $K\alpha$ a jeho spektrální čára. Po každém doladění polohy zrcadla je nutné uzavřít kryt zařízení, a přes řídicí software provést spuštění RTG záření a opětovně vyhodnotit polohu a kvalitu výstupního paprsku. Jak sem již uvedl na začátku této kapitoly, nastavení zrcadla probíhá pomocí třech nezávislých šroubů k dosažení požadovaného tvaru paprsku. Rozmístění, poloha a ovládání těchto šroubů je ilustrativně znázorněno na obrázku Obr. 4.6.



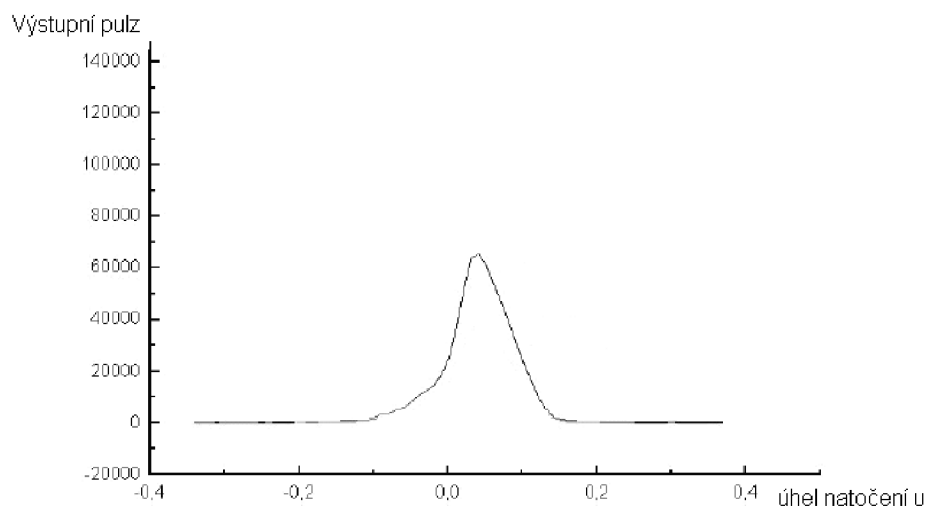
Obr. 4.6 Konfigurace Göbelova zrcadla

Nastavení tohoto bloku je klíčovým prvkem při uvedení celého přístroje do provozu. Jak jsem již popsal výše, základní vlastností Göbelova zrcadla je transformace primárního záření RTG svazku. Nastavení vlastního úhlu probíhá pomocí šroubu na pozici (1). Za pomoci šroubu na pozici (2) lze nastavit zrcadlo tak, abychom dosáhli paprsku rovnoběžného z trubici. Pomocí šroubu na pozici (3) probíhá nastavení oříznutí paprsku ze spodní strany. Pomocí šroubů na pozicích (1), (2), (4) lze nastavit ideální převod vstupního paprsku. Pozice (5) ukazuje vícevrstvou adaptovanou čočku, pozice (6) znázorňuje ořezávající hranu, (7) clona, (8) směr paprsku, (9) výstupní rovnoběžné $K\alpha$ záření. (10) ilustruje vstupní rozbíhavý paprsek. (11) vzorek, (12) RTG zdroj, (13) parabolický směr detekce.

V praxi to znamená, že po základní adjustaci všech těchto prvků provede servisní technik několik zkušebních měření.

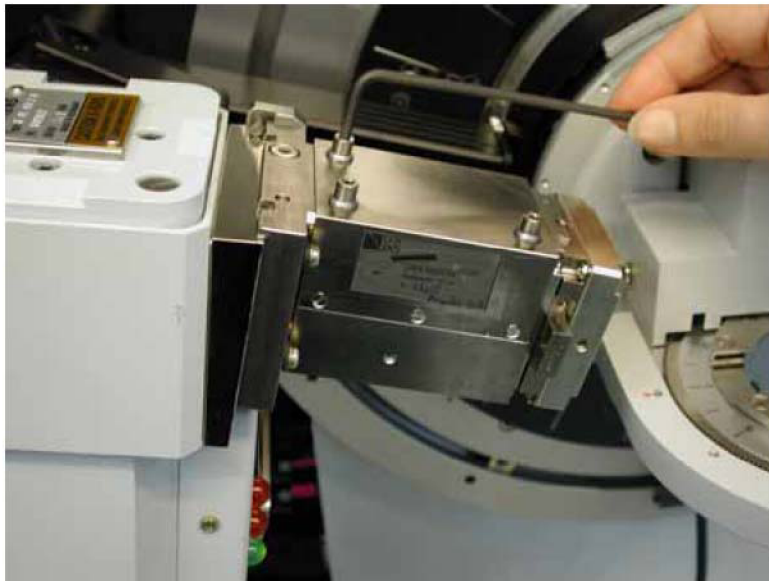
Pro následné doladění systému je zapotřebí doladění šroubů na pozicích (1), (2) a (4) dle stávajícího postupu, který je výrobcem udán jako závazný. Toto nastavení probíhá následovně.

V první fázi provede technik zkušební měření, jehož výsledkem je grafická závislost výstupních pulsů na úhlu natočení zrcadla. Tento grafický výstup je znázorněn na obrázku Obr. 4.7.



Obr. 4.7 Výchozí nastavení zrcadla – výstupní pulz

Po tomto výchozím měření je nutné primární zdroj záření vypnout, otevřít kryt zařízení D8 Advance, provést manuální nastavení některého z výše popsaných šroubů, kryt opět zavřít a provést další měření. Vzhledem k tomu, že pro dosažení optimálního nastavení zrcadla je potřeba jej nastavit ve všech třech směrech, je celá tato operace časově náročná a neefektivní. Způsob provádění manuální adjustace je znázorněn na obrázku Obr. 4.8.



Obr. 4.8 Manuální adjustace Göbelova zrcadla

Z výše uvedených skutečností, podobně jako ze samotného zadání této práce je zřejmé, že právě zjednodušení a zefektivnění této operace je nadmíru žádoucí. [4]

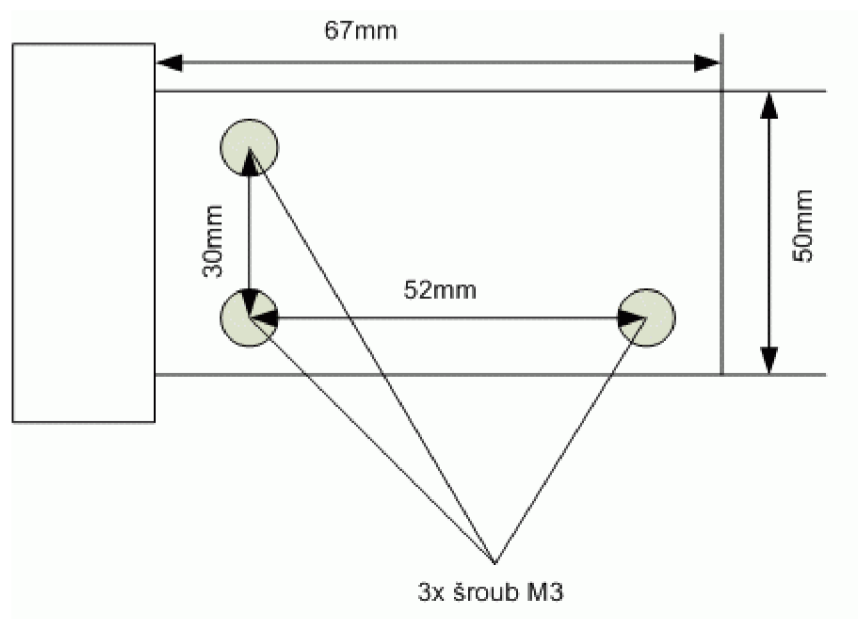
5 Návrh adjustace

Předchozí kapitola nás seznámila ze základní činností zařízení D8 Advance a zároveň posloužila jako stručný úvod do řešené problematiky. Pokud výše uvedené skutečnosti stručně shrneme do několika bodů, dostáváme se k formulaci problému a následnému návrhu řešení.

Při předběžné analýze zjišťujeme, že navrhované zařízení se bude skládat ze třech základních funkčních bloků. Prvním blokem bude hnací ústrojí, tedy mechanismus otáčející šrouby. Druhým blokem bude řídicí elektronika, která bude hnací ústrojí ovládat. Poslední, třetí částí bude mechanismus, který zajistí kompatibilní spojení mechanismu hnacího ústrojí s již existujícím blokem Göbelova zrcadla.

5.1 Hnací ústrojí

Hnací ústrojí je klíčovým prvkem navrhovaného řešení. Pro naše účely je zapotřebí, aby použitý pohon splňoval dva základní parametry. Prvním parametrem je jeho velikost. Při návrhu je důležité, aby zvolené pohonné jednotky bylo možné rozmístit vedle sebe a to při dodržení rozměrových limitů uvedených na obrázku Obr. 5.1.



Obr. 5.1 Schematický popis umístění ovládacích šroubů

Z obrázku je patrné, že rozměry celého systému jsou dosti malé a nedávají nám mnoho možností pro výběr vhodného pohonu. Mimo rozměrů je však zároveň nutné, aby zvolený pohon bylo možné regulovat s vhodnou citlivostí.

V servisním manuálu zařízení D8 se dočteme, že kroky po kterých ladícími šrouby otáčíme, mají minimální velikost $1/8$ otáčky, což je $22^{\circ}30'$. Posledním parametrem, jež bylo nutné dodržet byl krouticí moment, který musí být zvolený pohon schopen vyvinout. V našem případě požadujeme krouticí moment 0,5 nm.

Všechny výše uvedené parametry zúžily oblast výběru použitého pohonu na následující. První variantou byly krokové motory, které svými vlastnostmi splňovali bezesbytku parametry přesnosti a krouticího momentu. Ne zcela bezproblémové by však byla jejich aplikace z hlediska rozměru. Krokový motor, jež by byl schopen vyvinout krouticí moment 0,5 nm by byl svými rozměry na hranici aplikovatelnosti pro námi požadované rozmístění. Z tohoto hlediska jsem se při návrhu zaměřil na speciální kategorii elektrických motorů, kterou jsou servomotory. Rozdíly mezi oběma typy pohonů vyplývají z následujících skutečností.

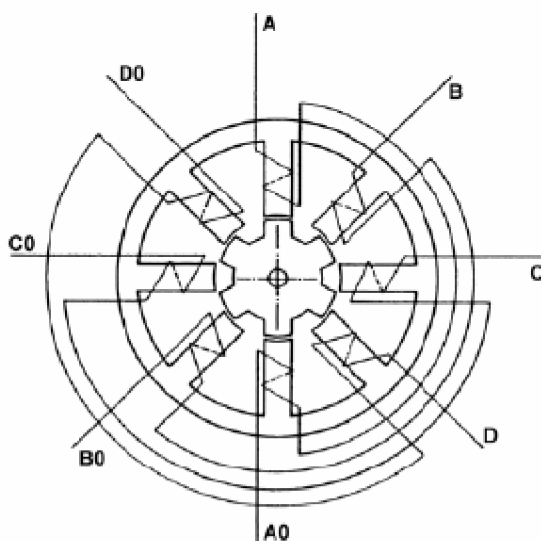
5.1.1 Krokové motory

Pojem krokový motor se používá pro impulsně napájený motor, jehož funkční pohyb se děje po jednotlivých krocích. K tomu, aby motor takto pracoval je nezbytný ovladač krokového motoru. Ten řídí funkční pohyb krokového motoru. K řízení motoru dochází tím, že ovladač zajišťuje výkonové buzení jednotlivých fází motoru a to v daných časových posloupnostech. Samotný ovladač se skládá z výkonové části a komutátoru. Blok výkonové části je tvořen výkonovými spínacími prvky, jejichž počet odpovídá počtu fází krokového motoru. Blok komutátoru je elektronické zařízení, které v závislosti na vstupních informacích řídí spínání výkonového bloku, čímž je docíleno toho, že každému řídicímu impulsu odpovídá konkrétní natočení motoru, zpravidla o jeden krok. Pojem krok udává mechanickou odezvu rotoru krokového motoru na jeden řídicí impuls, kdy rotor vykoná pohyb z výchozí magnetické klidové polohy do nejbližší magnetické klidové polohy. Velikost takového kroku se udává v úhlovém čísle α .

Krokové motory se dají rozdělit podle více kritérií. Prvním kritériem je konstrukční uspořádání. Dle tohoto se dělí na reluktanční krokové motory a na krokové motory s aktivním rotorem. U prvního jmenovaného typu se jedná o krokové motory s pasivním rotorem.

Tento rotor je vyroben z feromagnetického materiálu a je tvořen pouze svazkem plechů, které jsou nalisovány na hřídel. Stator je tvořen konkrétním počtem pólů s navinutými cívkami. Řez takovým magnetickým obvodem čtyřfázového krokového motoru je uveden na obrázku Obr. 5.2. Stator se skládá z 8 pólů, na které jsou navinuty cívky.

Takto vzniklé dvojice cívek navinutých na protilehlých pólech jsou spojeny a tvoří vždy jednu fázi krokového motoru. Jak je vidět na obrázku, tento typ motoru obsahuje 4 fáze označené A, B, C, D. Elektronický komutátor řídí buzení do jednotlivých fází v daném pořadí. Pokud je daná fáze buzena, protéká jí stejnosměrný proud.



Obr. 5.2 Magnetický obvod čtyřfázového motoru

Druhým typem používaných krokových motorů jsou motory s aktivním rotorem. Rotor je tvořen permanentním magnetem a podle uspořádání pólů se tyto motory dělí na:

- a) motory s radiálně polarizovaným permanentním magnetem
- b) motory s axiálně polarizovaným permanentním magnetem

U první jmenované podskupiny je rotorová část magnetického obvodu tvořena permanentním magnetem. Na obvodu rotoru se pak střídají póly, jejichž počet je poloviční než na statoru. Počet pólů statoru je dále dělitelný 4.

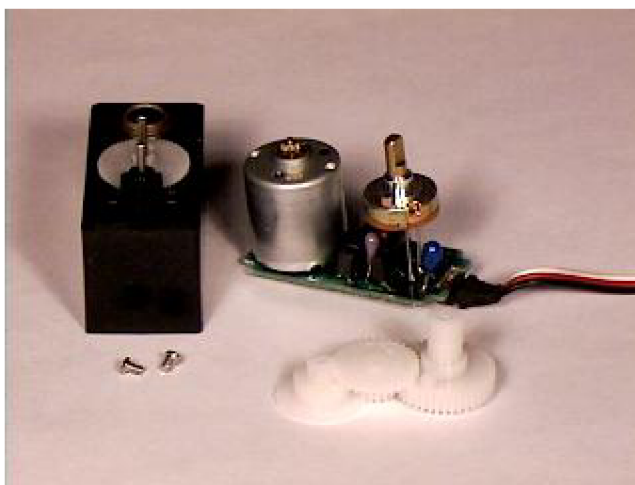
Při spínání fází je nezbytné měnit směr proudu ve vinutích a to z toho důvodu, že statorové vinutí je navinuto dvoufázově. V porovnání s motorem využívající pasivní rotor je zde výhoda použití v aplikacích s vyšší provozní frekvencí.

Druhá podskupina motorů, tedy motory s axiálně polarizovaným magnetem se někdy označuje také jako hybridní. Rotor motoru tvoří hřídel z nemagnetického materiálu, na níž jsou nalisované dva pólové nástavce. Tyto nástavce jsou složeny z plechů a mezi nimi je umístěn permanentní magnet, který je axiálně polarizovaný.

Tento magnet je umístěn tak, aby každý pólový nástavec měl jinou magnetickou polaritu. Rotorové nástavce mají na svém obvodu zuby. Počet těchto zubů určuje velikost kroku, jakého je daný motor schopný dosáhnout. Pokud uvažujeme rotor s počtem zubů 50, vyjde nám velikost kroku 1,8. Tyto rotorové nástavce jsou proti sobě v osové směru natočeny o polovinu rotorové zubové rozteče. Fáze vinutí jsou v rytmu řídicích impulsů buzeny v předepsaném pořadí a to podle zadaného způsobu řízení. Rotor pak sleduje vzniklé magnetické pole tak, že se vždy nejbližší zuby rotoru nastaví do magneticky klidové polohy. Takový typ motoru by byl dostatečně přesný a silný k tomu, abychom jej byli schopni aplikovat. [3]

5.1.2 Servomotory

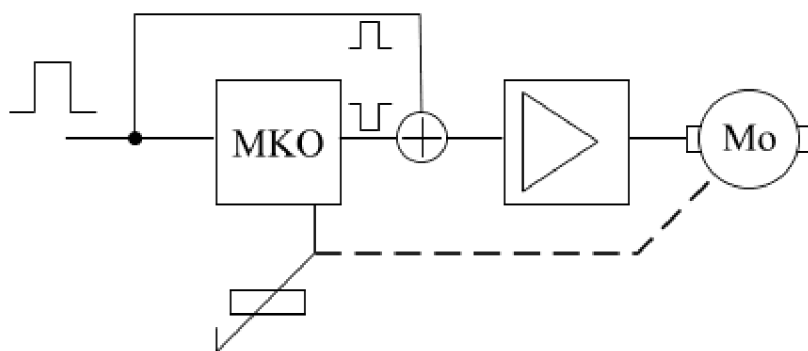
Zvláštním typem pohonů jsou již zmiňované servomotory. Zjednodušeně by se dalo říci, že servomotor je tvořen kombinací elektromotoru, převodovky a řídicí elektroniky. Tyto popsané dílčí bloky jsou patrné z obrázku Obr. 5.3.



Obr. 5.3 Části servomotoru

Díky této kombinaci má servomotor pro naše účely parametry srovnatelné s motory krokovými, získává však výhodou svého rozměru v závislosti na vyvinutém kroutícím momentu. V porovnání s již zmíněným krokovým motorem je servomotor o síle 0,5 nm zhruba o 1/3 objemu menší a to při zachování všech požadovaných parametrů. [5]

Mírnou nevýhodou tohoto typu pohonu je menší rozlišovací schopnost, nicméně při vhodném způsobu řízení jsme schopni s tímto pohonem dosáhnout kroku o velikosti 3° , což je daleko pod požadovaným servisním krokem $22^\circ 30'$. Vzhledem k těmto skutečnostem se tedy servomotor ukázal jako vhodná volba pro naši aplikaci. Činnost servomotoru je poměrně jednoduchou záležitostí. Funkce elektromotoru je v mnohém stejná jako u výše popsaných motorů krokových. Celá činnost servomotoru se dá ilustrovat na následujícím schematickém obrázku Obr. 5.4.

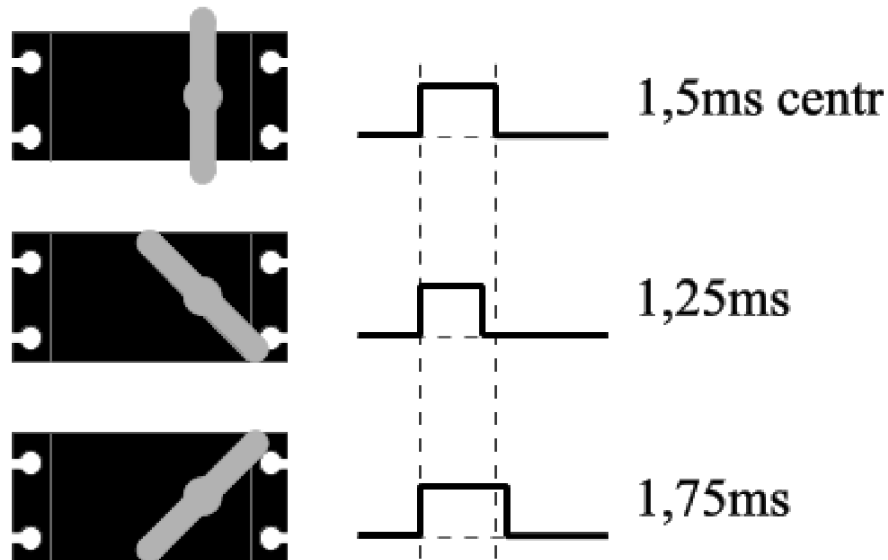


Obr. 5.4 Blokové schéma servomotoru

Do vstupu servomotoru přichází řídicí impuls. Tento řídicí impuls spustí monostabilní klopný obvod (MKO). Tento MKO generuje impuls opačné polarity a takové délky, která odpovídá momentální poloze serva. Vstupní a vygenerovaný impuls se porovnají a vznikne tak rozdílový impuls. Rozdílový impuls se zesílí přes můstkový spínač a roztočí elektromotor. Elektromotor je přes převodovku připojen k výstupní hřídeli, kterou otáčí. Současně s otáčením hřídele dochází k otáčení potenciometru, který působí jako zpětná vazba pro MKO. Směr otáčení je takový, že impuls který generuje MKO se svojí délkou přibližuje délce vstupního impulsu. Ve chvíli, kdy jsou oba impulsy stejně dlouhé, se elektromotor zastaví.

V dnešní době používaná serva pracují ve většině případů s kladnými řídicími pulzy. Pro řízení se používají impulsy o délce 1 – 2 ms. Na tyto impulsy reaguje servo tak, že v případě kladného pulzu o délce 1 ms se otočí doprava, při pulzu o délce 2 ms se otočí doleva.

Pokud budeme měnit frekvenci těchto řídicích impulsů, dosáhneme i požadované regulace rychlosti otáčení a tím vhodné citlivosti. Schematický způsob reakce serva je na obrázku Obr. 5.5. [6]



Obr. 5.5 Reakce serva na délku impulsu

5.1.3 Finální výběr hnacího ústrojí

V předchozích kapitolách jsem uvažoval výhody a nevýhody obou předkládaných typů pohonů. V parametrech důležitých pro naši aplikaci jsou si obě koncepce velmi podobné, zásadní rozdíl mezi oběma je tedy pouze v rozměrech. Jak jsem již uvedl v kapitole pojednávající o krokových motorech, ty svými rozměry překračují rozměry výkonově srovnatelných servomotorů zhruba o 1/3. I když tato hodnota není ve své podstatě nijak alarmující, z obrázku Obr. 5.1 je patrné, že daná rozteč šroubů, jimiž je potřeba otáčet, je poměrně malá a při potřebě rozmístit na tak malou plochu hned 3 pohony je nezbytné místem šetřit. Právě toto kritérium bylo rozhodující při finální volbě hnacího ústrojí.

Nabídka servomotorů na světovém trhu je poměrně široká, nicméně vzhledem ke striktně vymezeným parametrům jsem se rozhodl pro použití servomotoru firmy Hitec s označením HS-475 HB. Základní provedení tohoto motoru je na obrázku Obr. 5.6. [7]



Obr. 5.6 Servomotor Hitec HS-475 HB

Níže uvedené technické parametry tohoto servomotoru ukazují, že zvolené servo vyhovuje všem požadavkům.

Technické parametry:

Ovládání:	pulzní, obdélníkovým signálem s úrovní H 3-5V
Pracovní napětí:	4,8 – 6V
Maximální odběr:	180 mA
Pracovní teplota:	-20 - +60°C
Rychlost:	60° / 0.18s
Krouticí moment:	0,55 nm
Typ motoru:	třípólový s feritovým jádrem
Typ ložiska:	kuličkové s nízkým valivým odporem
Typ převodu:	karbonový
Rozměry:	41 x 20 x 37 mm
Váha:	39g

Na základě tohoto výběru bylo následně nutné vhodně vyřešit ovládání tohoto servomotoru.

5.2 Návrh řídicí elektroniky

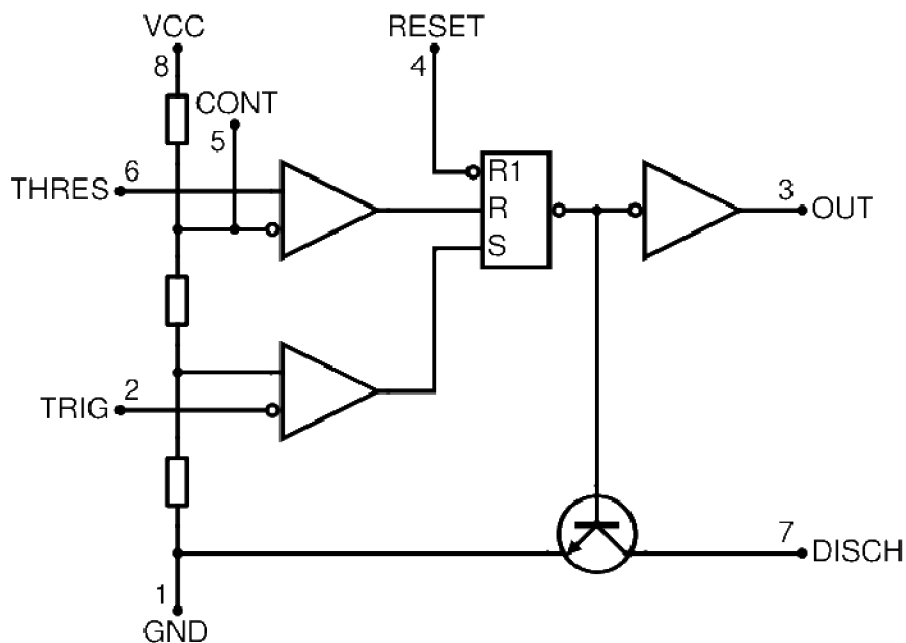
Výše popsaný a zvolený servomotor nejenže dokonale splňuje naše požadavky z hlediska aplikovatelnosti na zařízení D8 Advance, avšak zároveň nám umožňuje zvolit velmi jednoduchou a přesto funkčně stálou a spolehlivou řídicí elektroniku.

Jak jsem již popsal v kapitole 5.1.2, k ovládání servomotoru je zapotřebí generovat signál obdélníkového tvaru s délkou trvání 1 – 2 ms a možností změny frekvence těchto pulzů.

V praktických aplikacích lze nalézt mnoho integrovaných obvodů, které by vyhovovali našim požadavkům, mezi než patří požadavek možnosti změny směru otáčení a možnost volit rychlost otáčení. Mimo těchto parametrů byl zadavatelem ústně doplněn požadavek, aby šrouby bylo otáčeno za pomoci potenciometrů, což poskytne jakýsi druh zpětné vazby. Dosažení těchto parametrů je reálné s použitím časovače 555.

5.1.1 Časovač 555

Tento obvod je označován za jeden z nejgeniálnějších obvodů 20. století. Toto označení si získal díky své jednoduchosti a zároveň obrovské variabilitě zapojení. Jádro tohoto obvodu tvoří RS klopný obvod a dva komparátory. RS klopný obvod pracuje jako elementární jednobitová paměť. Ta na svém výstupu drží logickou úroveň H (tedy 1) nebo úroveň L (tedy 0). Obvod má dva vstupy. S – nastavení a R – vynulování. Pokud se na S objeví logická úroveň H, obvod je nastaven a udržuje na svém výstupu logickou úroveň H. Tato úroveň je na výstupu tak dlouho, dokud se na vstupu R neobjeví hodnota H. Vnitřní zapojení časovače je na obrázku Obr. 5.7.



Obr. 5.7 Vnitřní zapojení časovače 555

Mimo popsaného RS klopného obvodu jsou součástí 555 také dva komparátory. Komparátor je obvod, který srovnává dvě napětí na svých dvou vstupech. Jeden ze vstupů je neinvertující – kladný. Druhý je naproti tomu invertující – záporný. Pokud je na neinvertujícím vstupu větší napětí než na vstupu invertujícím, objeví se na výstupu komparátoru kladné napětí, tedy úroveň H. V opačném případě se logicky na výstupu objeví úroveň L. Komparátory mají vždy jeden vstup připojen k vnitřnímu odporovému děliči, který rozděluje napájecí napětí vždy přesně na třetiny a druhý vstup mají z obvodu vyveden ven (na Obr. 5.7 vývody 2 a 6).

Funkce celého zapojení je taková, že pokud se na vstupu 6 objeví napětí větší než $\frac{2}{3}$ napájecího napětí, klopný obvod RS je resetován, na výstupu 3 je úroveň L. Mezi klopným obvodem a výstupním zesilovačem je ale úroveň H, čímž dojde k otevření tranzistoru na vývodu 7. Tento stav trvá tak dlouho, dokud na vstupu 2 neklesne napětí pod $\frac{1}{3}$ napájecího napětí. V této chvíli je klopný obvod druhým komparátorem nastaven, na výstupu 3 je logická úroveň H a dojde k zavření tranzistoru. Vývod 5 se používá tehdy, pokud chceme měnit komparační úroveň. Pokud jej nepoužíváme, je vhodné jej střídavě uzemnit za pomoci kondenzátoru 10 nF.

Abychom mohli časovač 555 použít jako generátor obdélníkového signálu, je nutné jej zapojit jako astabilní klopný obvod (AKO). [8]

Astabilní klopný obvod (AKO) má dva nestabilní stavy. Tyto stavy se neustále střídají, takže obvod funguje jako generátor obdélníkového průběhu. Doba trvání obou nestabilních stavů je dána přechodným dějem RC. Doba trvání jednoho stabilního stavu je dána dobou, za kterou se kondenzátor C nabije z 1/3 napájecího napětí na 2/3 napájecího napětí. Doba trvání druhého stabilního stavu je naopak dána dobou za kterou se kondenzátor vybije z 2/3 napájecího napětí na 1/3. Tato doba je v obou případech:

$$t = \tau \cdot \ln 2 \quad (9)$$

Kondenzátor se nabíjí přes rezistor R1 a R2 a proto lze pro časovou konstantu τ , určující nabíjení psát:

$$t_h = (R_1 + R_2)C \quad (10)$$

Vybíjení kondenzátoru se děje pouze přes rezistor R2. Proto je časová konstanta, určující druhý nestabilní stav definována takto:

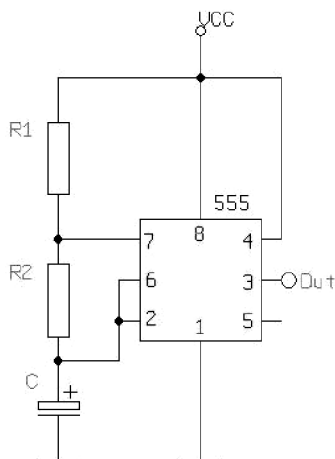
$$t_l = R_2 \cdot C \quad (11)$$

Ze vztahů (10) a (11) vyplývá, že doba trvání prvního stabilního stavu musí být delší než doba trvání druhého stabilního stavu.

Samotná frekvence kmitání je pak dána vztahem (12).

$$f = \frac{1}{(R_1 + 2R_2)C \cdot \ln 2} \quad (12)$$

Zapojení časovače 555 jako AKO je na obrázku Obr. 5.8.



Obr. 5.8 Časovač 555 jako astabilní klopný obvod

Pro náš případ jsem volil hodnoty prvků obvodu následovně:

$$R1 = 470K$$

$$R2 = 27K + Rp_1 + Rp_2$$

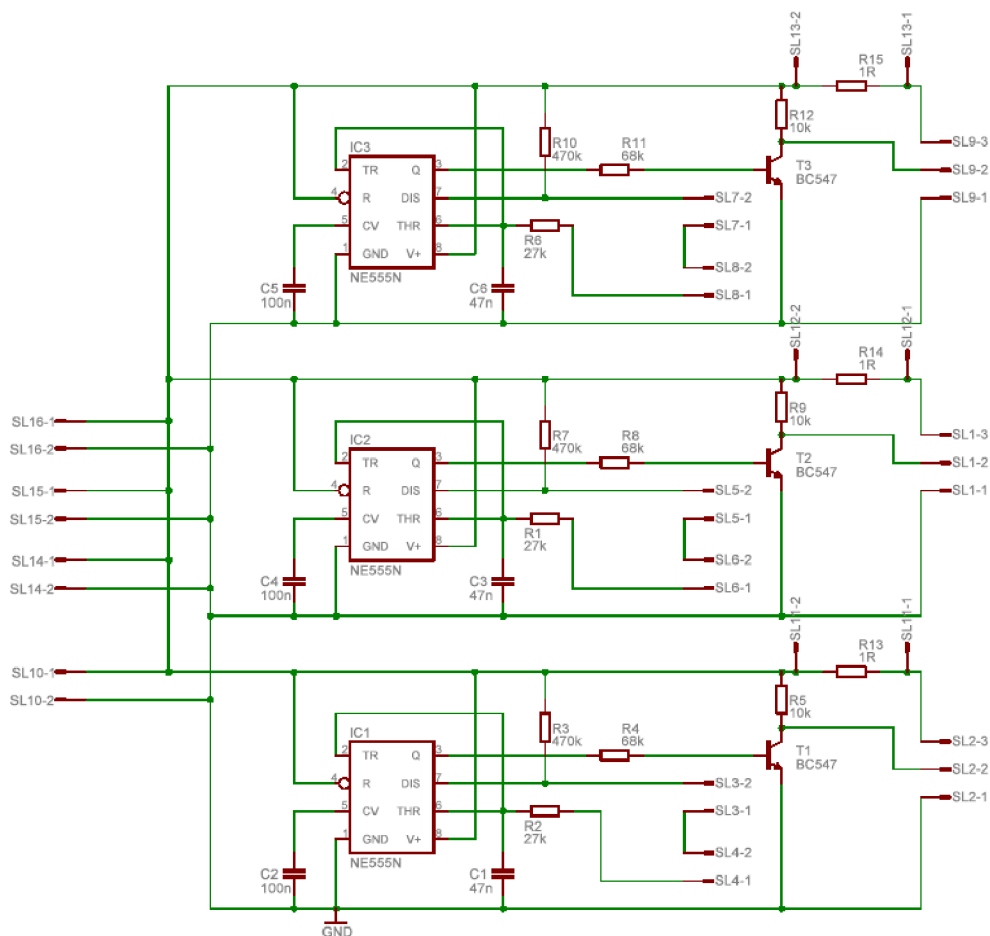
$$C = 47 \text{ n}$$

Rp_1 a Rp_2 reprezentují dva potenciometry. První o velikosti 1K a druhý o velikosti 10K. Za pomoci změny hodnoty odporu těchto dvou potenciometrů dochází jednak ke změně směru otáčení servomotoru, a zároveň lze regulovat rychlost otáčení servomotoru. Je patrné, že pokud budu otáčet potenciometrem Rp_2 o velikosti 10K, bude se velikost $R2$ měnit rychle a tím dojde ke změně frekvence generované AKO a tím dojde ke změně rychlosti otáčení servomotoru. Zapojení se chová analogicky i tehdy, pokud měníme hodnotu menšího potenciometru Rp_1 .

Výsledné zapojení na obrázku Obr. 5.9 tedy obsahuje 3x časovač 555 v zapojení AKO, tři dvojice ovládacích potenciometrů připojených na příslušné svorky (SL7-2, SL7-1, SL8-2, SL8-1, SL5-2, SL5-1, SL6-2, SL6-1, SL3-2, SL3-1, SL4-2, SL4-1), dále svorky pro připojení napájecího napětí DC 6V (SL10-1 a SL10-2).

Samozřejmostí jsou výstupní svorky pro připojení řízených servomechanismů. K tomuto zapojení byly navíc přidány odpory $R15$, $R14$ a $R13$ o velikosti 0.5Ω , umístěné na výstupy jednotlivých bloků a to za účelem snímání úbytku napětí na nich. Tento úbytek je za pomoci LCD panelového snímače LM 128 převáděn na hodnotu odpovídajícího proudu, která nám orientačně udává odběr příslušného servomotoru. Tento prvek je vložen za účelem

kontroly krouticího momentu, jehož velikost je přímo úměrná odebíranému proudu a v případě poruchy či jakékoliv mechanické závady na servomotoru by nás tento LCD panelový snímač na vzniklý problém měl upozornit a umožnit nám tak vypnutí příslušného servomotoru.

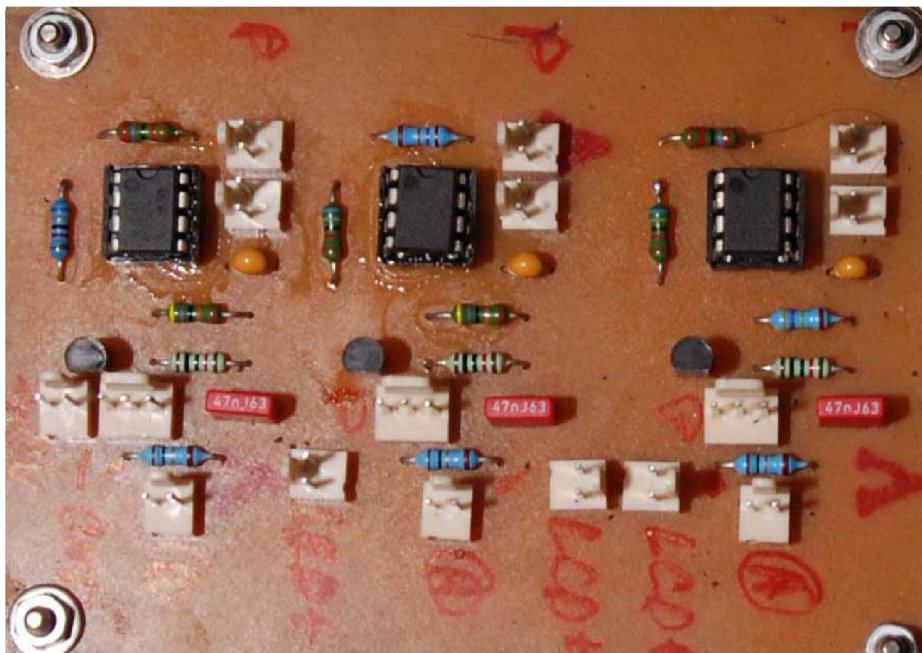


Obr. 5.9 Schéma zapojení ovládací elektroniky

Po návrhu plošného spoje, jehož návrh je součástí přílohy, stejně jako rozpiska použitých součástek, následovalo osazení DPS a oživení ovládacího modulu.

Součástí oživení bylo nalezení vhodného nastavení poměru odporů daného servomotoru a ovládacích potenciometrů. Jak se prakticky ukázalo, navržené zapojení je 100% funkční a svým charakterem plně vyhovuje požadované aplikaci. Změnou hodnoty odporu potenciometru R_{p1} lze otáčet servomotorem pomalu a po velmi malých krocích a to s využitím maximálního krouticího momentu. Změnou hodnoty odporu pod stanovenou mez

Lze zároveň měnit směr otáčení servomotoru. Stejnou funkci má i druhý potenciometr, jehož změnou dochází ke stejnému, avšak rychlejšímu otáčení servomotoru. Na obrázku Obr. 5.10 je zobrazena osazená deska plošného spoje, obrázky Obr. 5.11a a Obr. 5.11b ukazují celý řídicí modul umístěný v ochranném boxu a opatřený příslušnými vstupy a výstupy.



Obr. 5.10 Osazená DPS řídicího obvodu



Obr. 5.11a Čelní strana řídicího modulu



Obr. 5.11b Zadní strana řídicího modulu

Z obrázků Obr. 5.11a je zřejmé, že řídicím modulem lze obsluhovat a kontrolovat jednotlivé šrouby nezávisle na sobě. Docílíme-li vhodného nastavení konkrétního šroubu, je žádoucí pomocí příslušného tlačítka (Motor 1-3 ON/OFF) servomotor vypnout a zamezit tak nechtěnému pootočení. Stejně tak lze nezávisle na sobě sledovat proud odebíraný jednotlivými servomotory, a jak sem již uvedl výše, mít tak kontrolu nad možně vzniklým problémem. Na obrázku 5.11b můžeme vidět, že celé zařízení je taktéž opatřeno bezpečnostním hlavním vypínačem. Propojení řídicí jednotky a jednotlivých servomotorů je řešeno pomocí eurokonektoru DIN3, jež nabízí 3 využitelné kontakty.

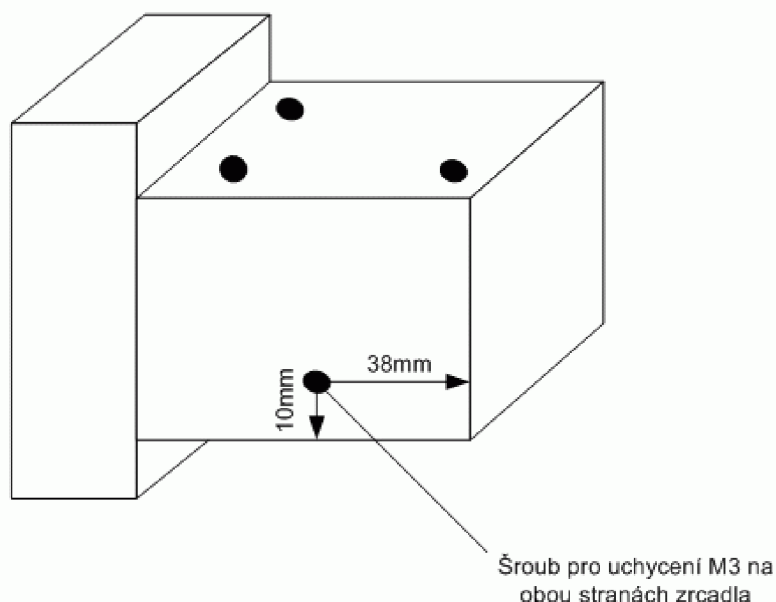
Ty slouží pro připojení napájecího vodiče servomotoru, zemnicího vodiče a v neposlední řadě datového, ovládacího vodiče. Díky použití těchto konektorů je manipulace s jednotkou velmi jednoduchá a za pomoci prodlužovacích kabelů lze snadno měnit požadovanou vzdálenost mezi servomotory a řídicí jednotkou.

Aby bylo možno dvě předchozí části celého řešení použít a aplikovat na stávající zařízení D8 Advance, bylo nutné vyřešit třetí konstrukční blok. Cílem tohoto bloku je adaptivní umístění a fixace řízených servomotorů a přizpůsobení jejich náhonu požadovaným rozměrům laděných šroubů tak, aby nebyla ovlivněna činnost samotného zařízení.

5.3 Mechanická část zařízení

5.3.1 3D návrh pomocí software

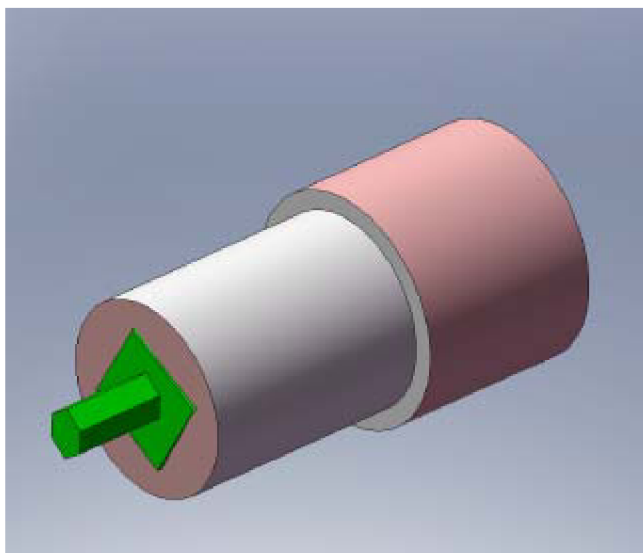
Již na obrázku Obr. 5.1 jsem ilustroval, jaké jsou konkrétní rozměry vnějšího bloku Göbelova zrcadla. Tyto rozměry jsou tedy neměnné a klíčové pro návrh mechanické části celého řešení, která zajistí spojení servomotorů s Göbelovým zrcadlem, konkrétně tedy s ovládacími šrouby. Pro návrh této části je zároveň důležité umístění montážního otvoru na bloku Göbelova zrcadla. Umístění je znázorněno na obrázku Obr. 5.12.



Obr. 5.12 Poloha montážního otvoru

Při návrhu celého mechanického bloku jsem nejprve uvažoval, jak vhodně vyřešit přenos krouticího momentu na ladící šroub, tedy způsob spojení servomotoru a samotného šroubu. Při návrhu bylo nutné uvažovat, že všechny prvky musí být možné umístit na danou plochu. Mimo toho bylo nutné spojení navrhnout tak, aby dokázalo kompenzovat zdvih jednotlivých šroubů. To znamená, že pokud budou motory upevněny na blok přístroje D8 stabilně, je nutné uvažovat změnu vzdálenosti mezi výstupem servomotoru a ladícím šroubem, ke které dojde při otáčení šroubu. Při praktickém měření jsem zjistil, že v našem případě je potřeba kompenzovat změnu vzdálenosti o velikosti 5 mm. Všechny tyto

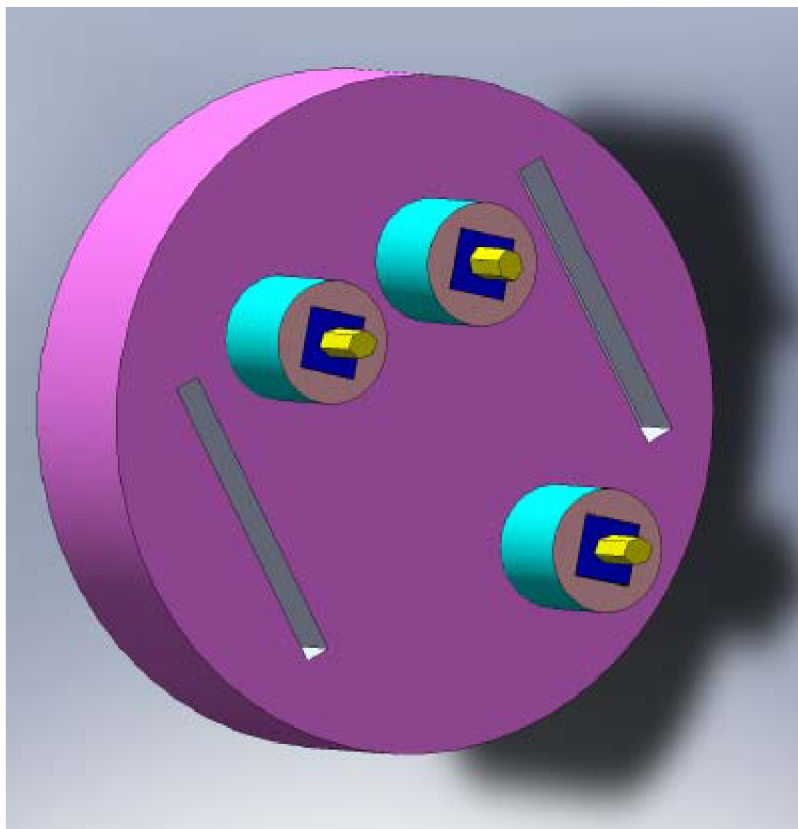
předpoklady posloužily pro následující model. Pro ten jsem použil program SolidWorks. Na následujícím obrázku Obr. 5.13 je návrh spojovacího čepu, který poslouží ke spojení náhonu servomotoru a ladícího šroubu.



Obr. 5.13 3D návrh spojovacího čepu

Uvnitř tohoto pouzdra je umístěna pružina, která tlačí zelenou část šestihranu směrem k ladícímu šroubu a tím kompenzuje zdvih šroubu. K celému čepu je šrouby M2 připevněno plastové hnací kolo, které je součástí balení servomotoru Hitec HS 475- HB. Druhá strana tohoto kola je opatřena tisícihranem, který je kompatibilní s vývodem servomotoru. Tímto způsobem je vytvořena vazba mezi ladícím šroubem a servomotorem. Pro všechny tři motory je použit stejný typ vazby.

Dalším krokem návrhu bylo vyřešení umístění všech spojovacích čepů a servomotorů k jedné společné základní desce, kterou bude možno připevnit k přístroji D8. Návrh této desky jsem opět provedl s pomocí programu SolidWorks. Model je na obrázku Obr. 5.14.



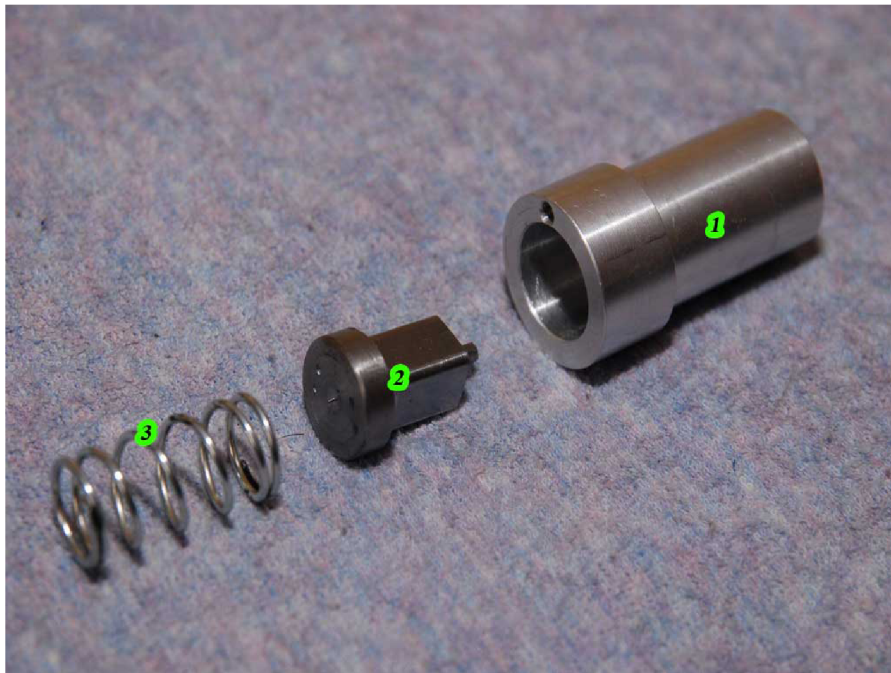
Obr. 5.14 Návrh provedení nosné desky

Pomocí uvedené 3D simulace jsem byl schopen vytvořit model, který posloužil pro vznik konkrétního výrobku. Za pomoci programu SolidWorks jsem vygeneroval výrobní výkresy všech výše popsaných bloků.

Detaily všech výrobních částí jsou součástí technických výkresů, které jsou součástí příloh.

5.3.2 Realizace návrhu mechanické části

Po zpracování a namodelování vzniklého návrhu jsem pomocí softwarových prostředků vygeneroval vstupní data pro obráběcí stroj CNC. Pro všechny mechanické bloky zařízení jsem zvolil materiál ONZ 424203 AlCu4Mg1, který je dostatečně mechanicky odolný a dostatečně tvárný. Ze základního polotovaru toho materiálu tedy vznikly mechanická část nosné desky, vložka, vnější pouzdro a upevňovací desky. Výsledné provedení jednotlivých částí je na následujících obrázcích.



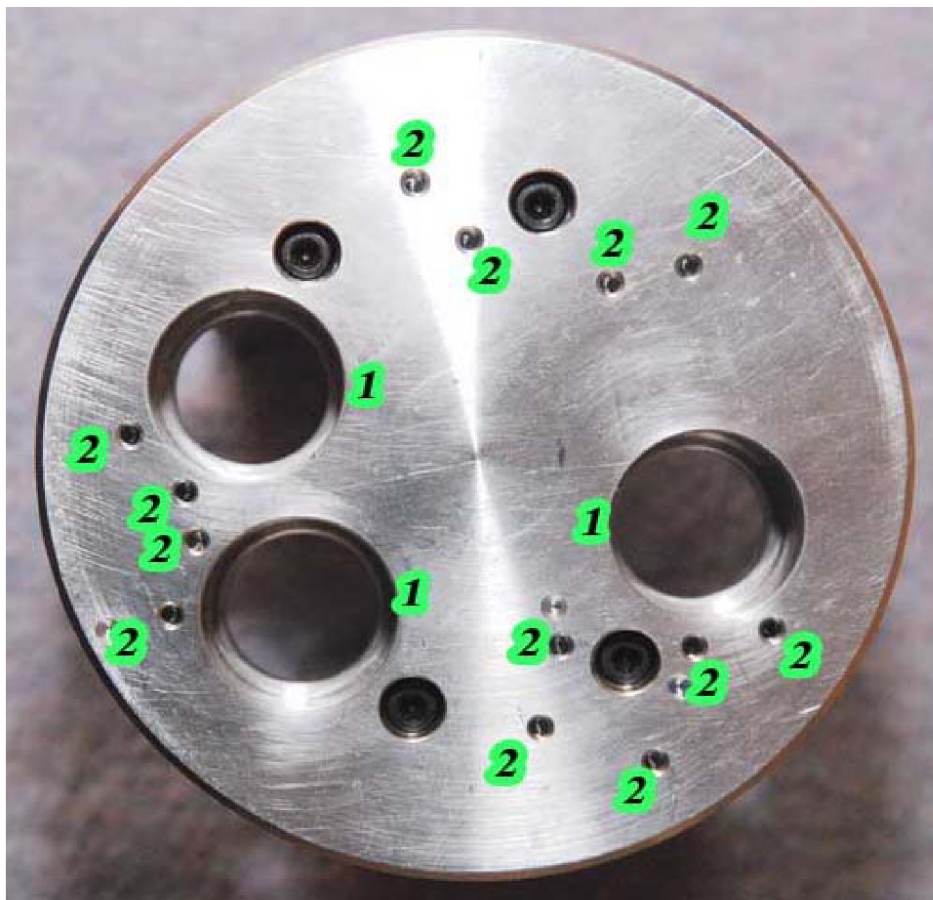
Obr. 5.15 Soustava spojovacího čepu

Na obrázku Obr. 5.15 lze vidět sestavu spojovacího čepu. Část označená (1) je vnější pouzdro opatřené zmíněnou dírou M2, která slouží k uchycení hnacího kolečka motoru. Část (2) je šestihranný nástavec, který je kompatibilní s ladícími šrouby zařízení D8 Advance. Poslední částí je pružina, zajišťující délkovou kompenzaci celé soustavy. Kompletní hnací část složená ze servomotoru a spojovacího čepu je na obrázku Obr. 5.16.



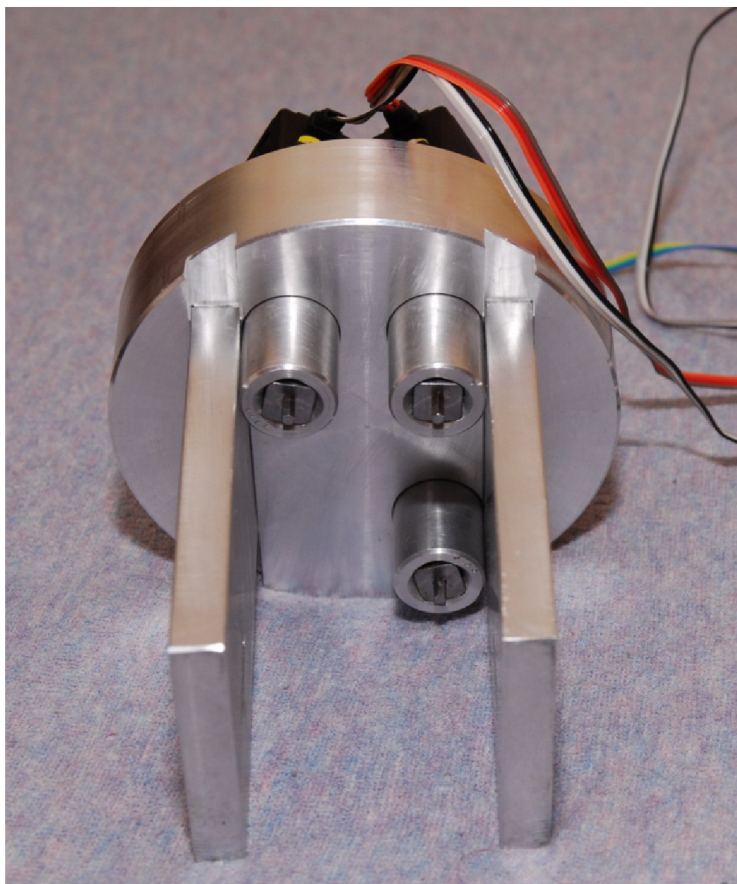
Obr. 5.16 Sestava servomotoru a spojovacího čepu

Na následujícím obrázku Obr. 5.17 je znázorněna nosná deska. Pozice označené čísly (1) jsou průchozí otvory sloužící pro výstup jednotlivých hnacích hřídelek servomotoru. Pozice označené (2) jsou otvory se závitem M3, které slouží pro uchycení servomotorů k nosné desce.



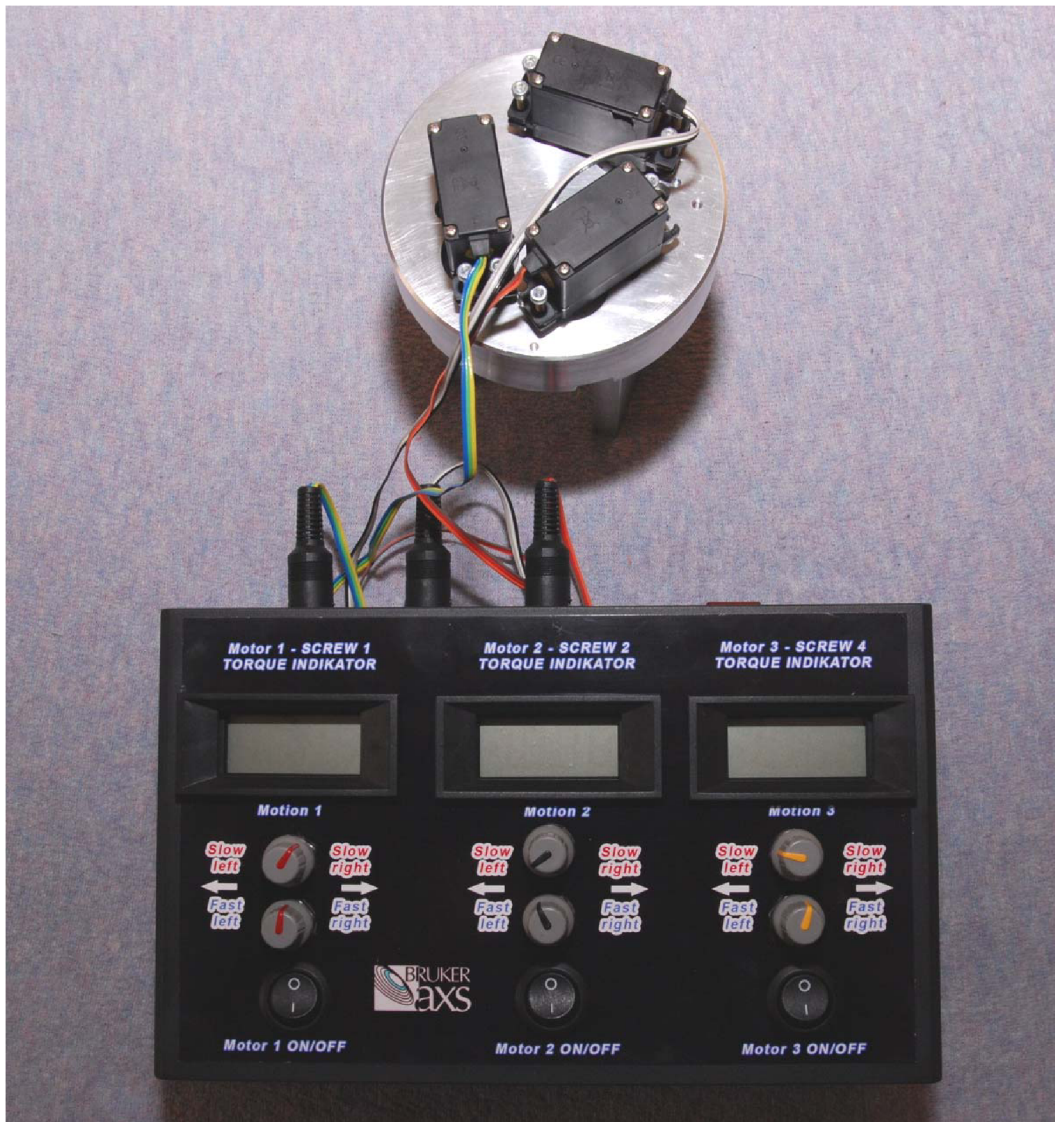
Obr. 5.17 Provedení nosné desky

Při pohledu na nosnou desku z druhé strany lze vidět způsob řešení uchycení celého mechanismu ke stávajícímu bloku přístroje D8 Advance. Použity jsou dvě vodící bočnice, jejichž rozteč odpovídá šířce bloku Göbelova zrcadla a obsahují dvě vodící drážky pro uchycení celého systému. Realizace je na obrázku Obr. 5.18.



Obr. 5.17 Provedení nosné desky

Po sestavení všech celků potřebných pro adjustaci výše popisované soustavy dostáváme finální výrobek mechanicko-elektrického bloku (Obr. 5.18), který je po doplnění o řídicí obvod popsany v kapitole 5.2 řešením zadaného problému. Po osazení celého výrobku na přístroj D8 Advance je možné provést první zkušební adjustaci toho přístroje.



Obr. 5.18 Finální výrobek

6 Závěr

Modifikace jakéhokoliv zařízení, jež je sériově vyráběno, sebou přináší mnoho úskalí. V první řadě je nezbytné se seznámit s činností daného systému a analyzovat zadaný problém. V našem případě bylo nutné vyřešit problém adjustace konkrétního funkčního bloku difraktometru D8 Advance firmy Bruker AXS. Při zjednodušení celé problematiky bylo nutné si zodpovědět dvě základní otázky. První, tedy čím nebo jakým zařízením budu adjustaci provádět, a druhou, jak toto zařízení aplikuji na již existující systém D8.

Odpověď na první otázku nám poskytnuly servomotory, které svými rozměry, silou a citlivostí plně vyhověly zadaným požadavkům. Po doplnění těchto servomotorů o řídicí jednotku založenou na použití časovače 555 v zapojení astabilního klopného obvodu tak dostáváme funkční a výkonný nástroj pro adjustaci difraktometru D8 Advance.

Při hledání odpovědi na druhou otázku jsem s úspěchem využil 3D simulačního prostředí nazvaného SolidWorks. Toto virtuální prostředí mně umožnilo návrh konkrétních mechanických částí, které jsou aplikovatelné na zařízení D8 Advance a vhodně doplňují elektrickou část celého řešení. Toto virtuální prostředí zároveň obsahuje rozhraní mezi virtuálním návrhem a konkrétním výrobkem. Tato vlastnost umožnila generování vstupních dat pro obráběcí stroje CNC, na jejichž základě vznikly konkrétní části mechanického bloku adjustace.

Spojením těchto mechanických částí s částí elektrickou tak vzniká funkční celek, který je v plné míře kompatibilní se stávajícím zařízením D8 Advance a ve všech bodech splňuje jak písemné, tak ústní požadavky zadavatele.

Při aplikaci tohoto funkčního celku na zařízení D8 Advance se potvrzuje, že dochází ke znatelnému zefektivnění servisní operace související s adjustací Göbelova zrcadla. Mimo tohoto zefektivnění nám použití navrhnutého řešení poskytuje mnohem přesnější kontrolu při nastavení jednotlivých šroubů a tak i celého mechanismu difraktometru D8 Advance.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] ÚLEHLA, I., SUK M., TRKA Z.: *Atomy jádra částice*, Academia, Praha 1990
- [2] KREJČÍ, V.: *Scintilační detektory*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice 2001
- [3] RYDLO, P.: *Krokové motory a jejich řízení*, Technická univerzita Pardubice, Pardubice 2002
- [4] *Servisní manuál : Bruker Advanced X-ray solution D8 Advance*, Karlsruhe, 2005
- [5] VLASTIK, D.: *Modelářská serva*, [online]. Dostupné z www:
<http://vlastikd.webz.cz/bastl/serva.htm>
- [6] WINKLER Z.: *Řízení serva*, [online]. Dostupné z www:
<http://robotika.cz/guide/servo/en>
- [7] SEATTLE ROBOTICS SOCIETY.: *Servo*, [online]. Dostupné z www:
<http://www.seattlerobotics.org/guide/servos.html>
- [8] DOMINEC F.: *Generátory 555*, [online]. Dostupné z www:
http://cs.wikibooks.org/wiki/Praktick%C3%A1_elektronika/Gener%C3%A1tory/555

A Příloha

ELEKTRONICKÁ ČÁST

Rozpiska použitých součástek

(Generováno programem EAGLE 4.11)

Součást	Hodnota	Zařízení	Pouzdro	Popis
C1	47n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C2	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C3	47n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C4	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C5	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C6	47n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
IC1	NE555N	NE555N	DIL08	TIMER
IC2	NE555N	NE555N	DIL08	TIMER
IC3	NE555N	NE555N	DIL08	TIMER
R1	27k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R2	27k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R3	470k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R4	68k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R5	10k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R6	27k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R7	470k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R8	68k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R9	10k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R10	470k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R11	68k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R12	10k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R13	1R	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R14	1R	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol

A Příloha

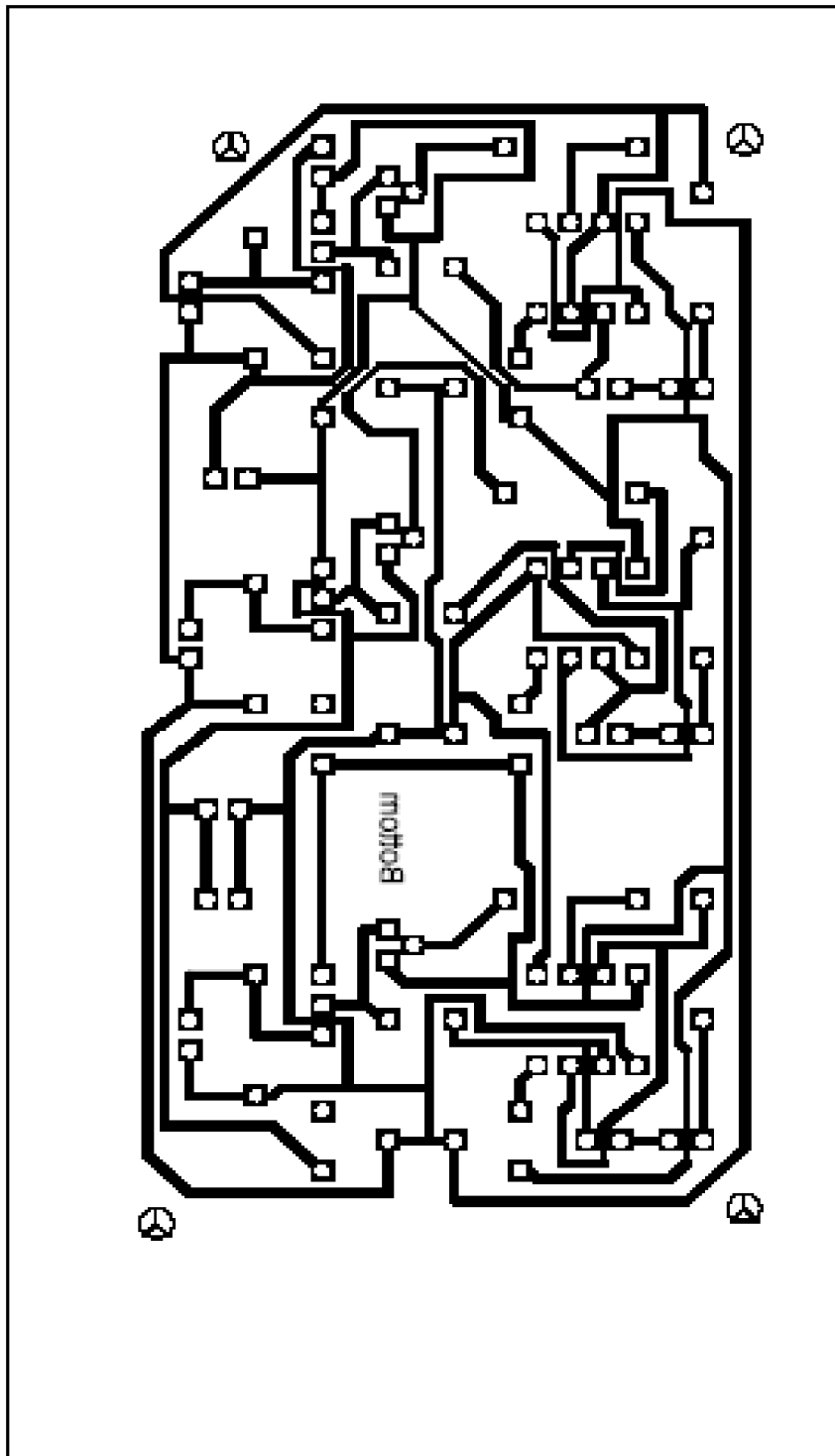
ELEKTRONICKÁ ČÁST

R15	1R	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
SL1	M03S		03P	AMP QUICK CONNECTOR
SL2	M03S		03P	AMP QUICK CONNECTOR
SL3	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL4	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL5	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL6	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL7	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL8	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL9	M03S		03P	AMP QUICK CONNECTOR
SL10	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL11	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL12	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL13	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL14	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL15	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
SL16	M02S		02P	AMP QUICK CONNECTOR
T1	BC547	BC547	TO92	NPN TRANSISTOR
T2	BC547	BC547	TO92	NPN TRANSISTOR
T3	BC547	BC547	TO92	NPN TRANSISTOR

A Příloha

ELEKTRONICKÁ ČÁST

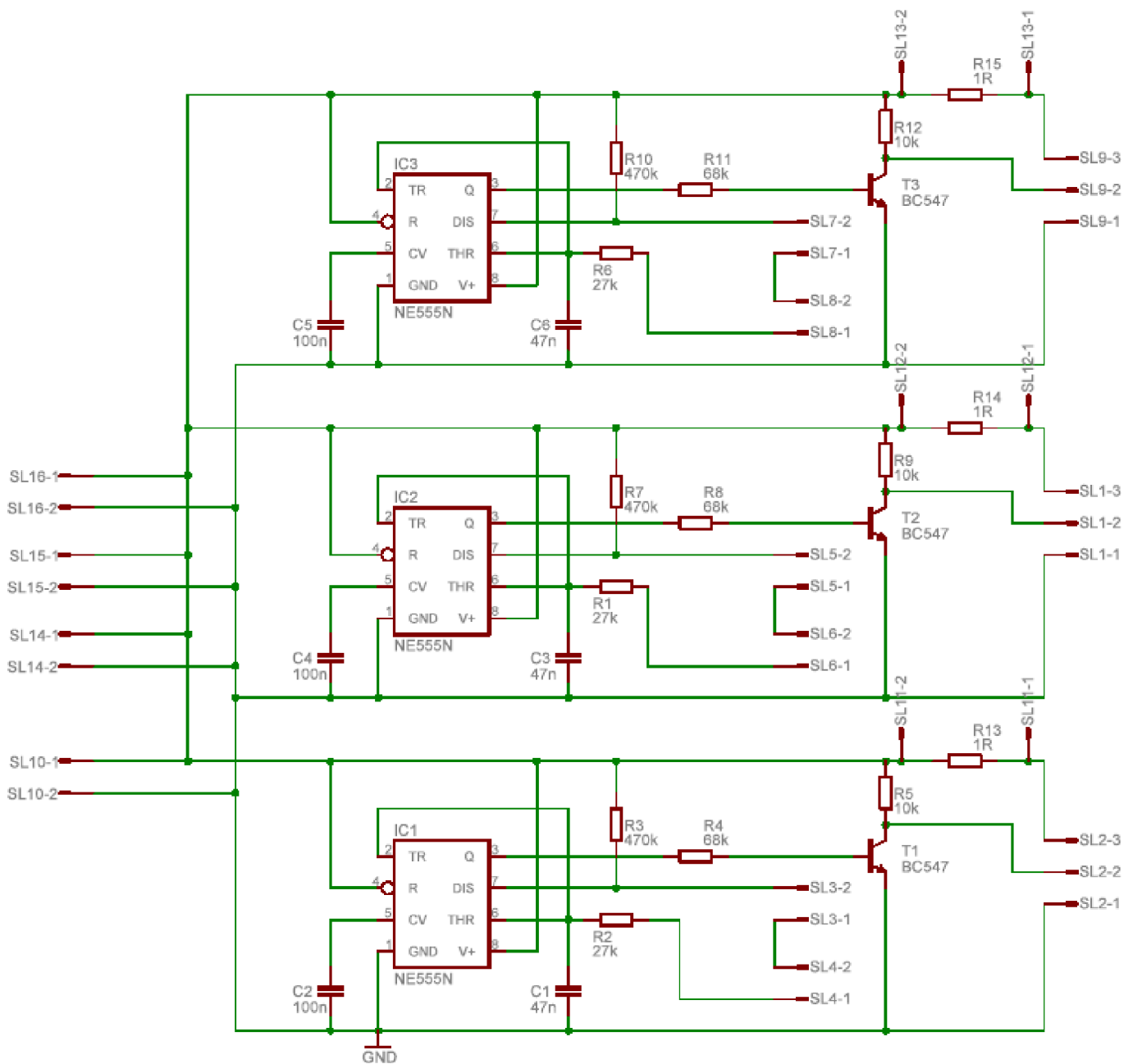
Deska plošného spoje



A Příloha

ELEKTRONICKÁ ČÁST

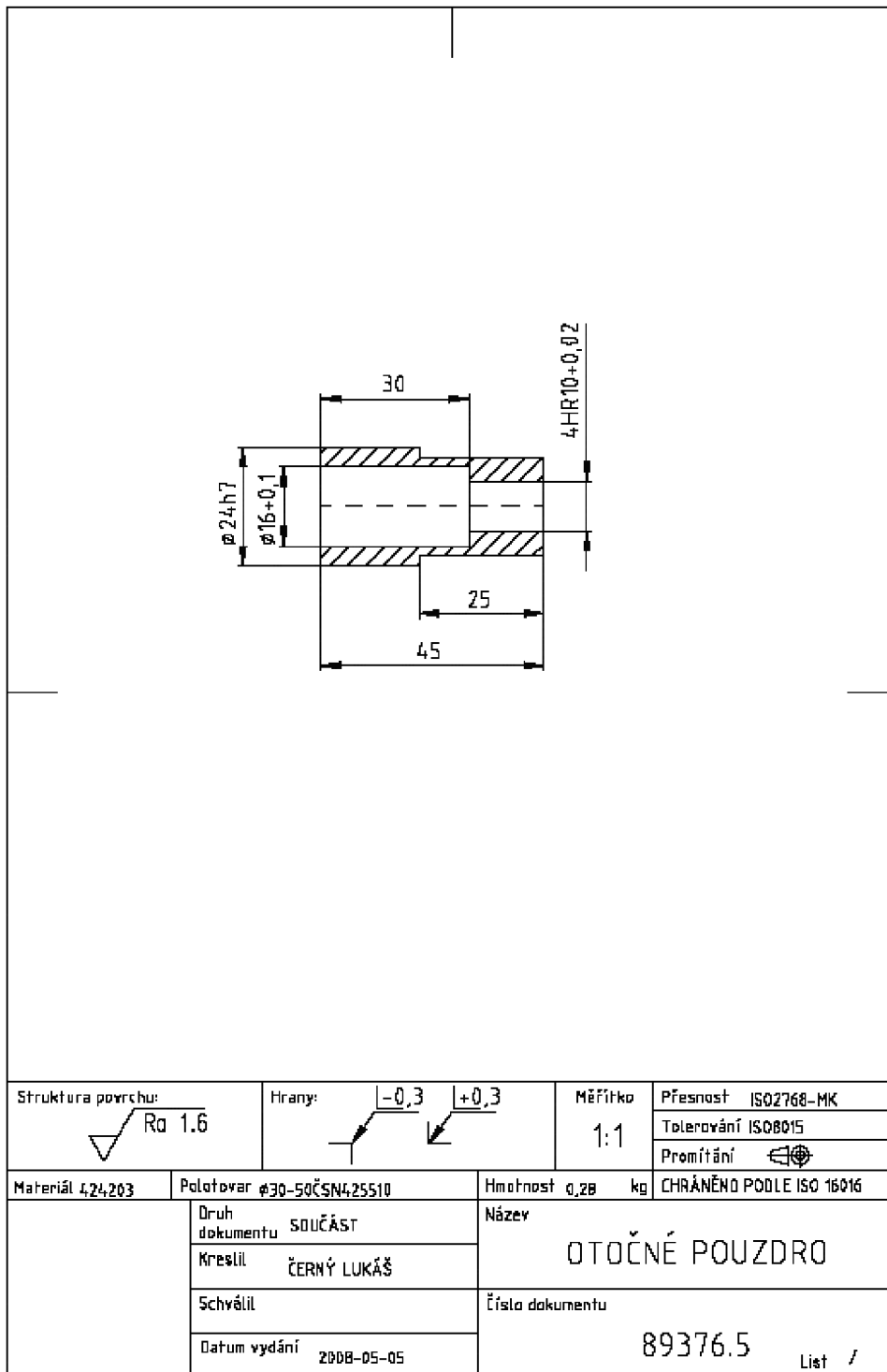
Schéma zapojení



B Příloha

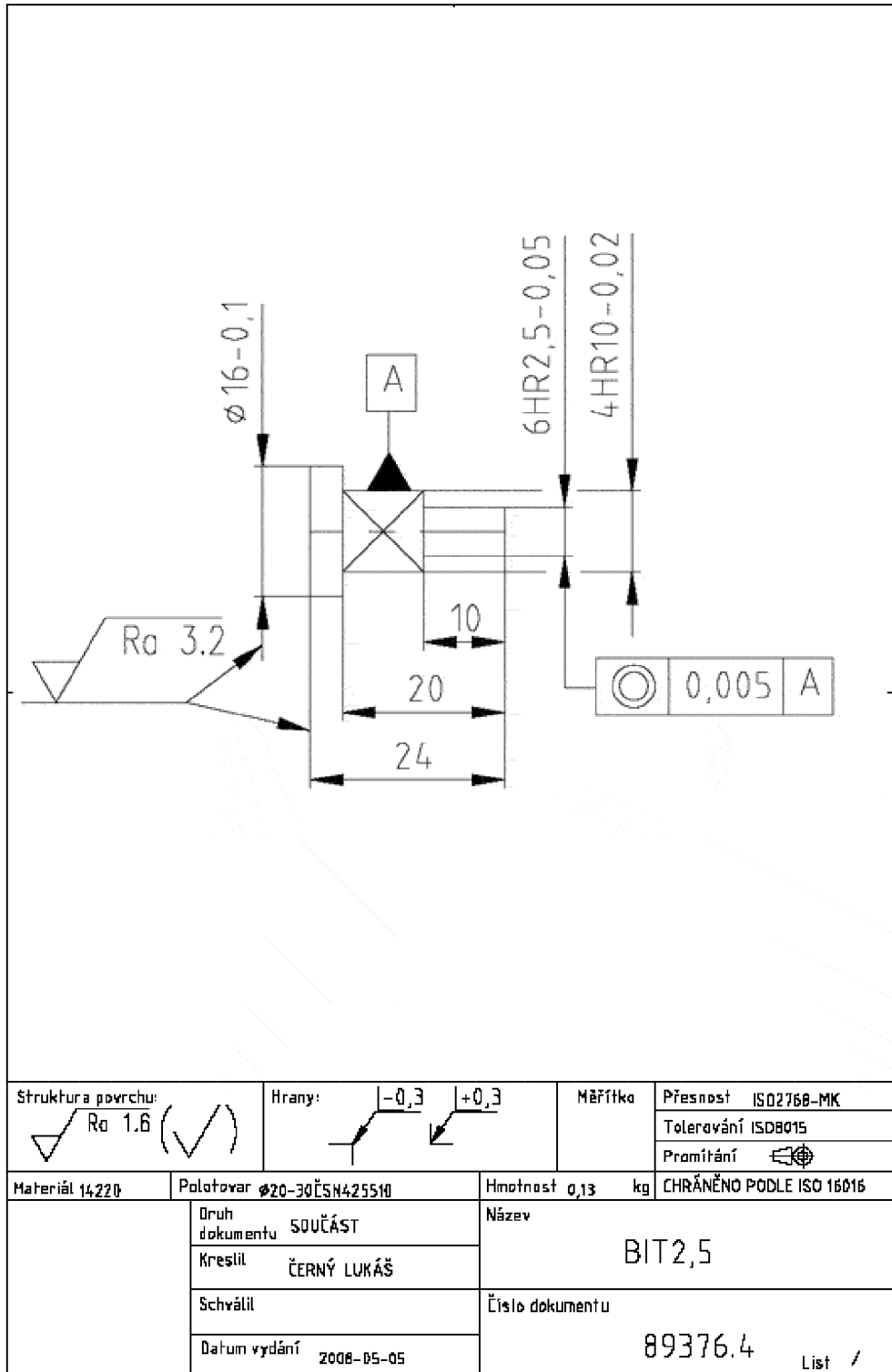
MECHANICKÁ ČÁST

Technický výkres otočného pouzdra



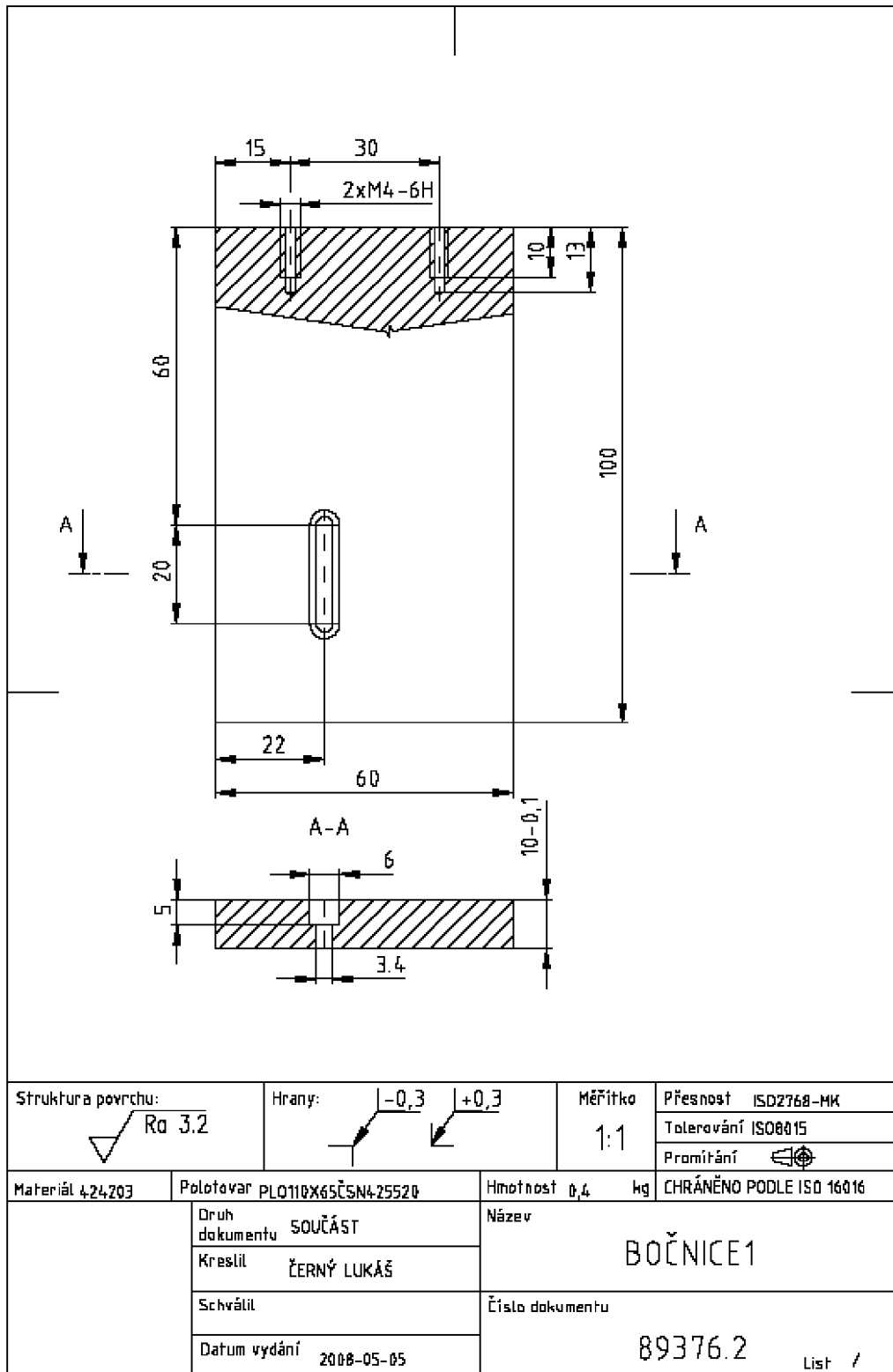
B Příloha

MECHANICKÁ ČÁST

Technický výkres bitu 2,5


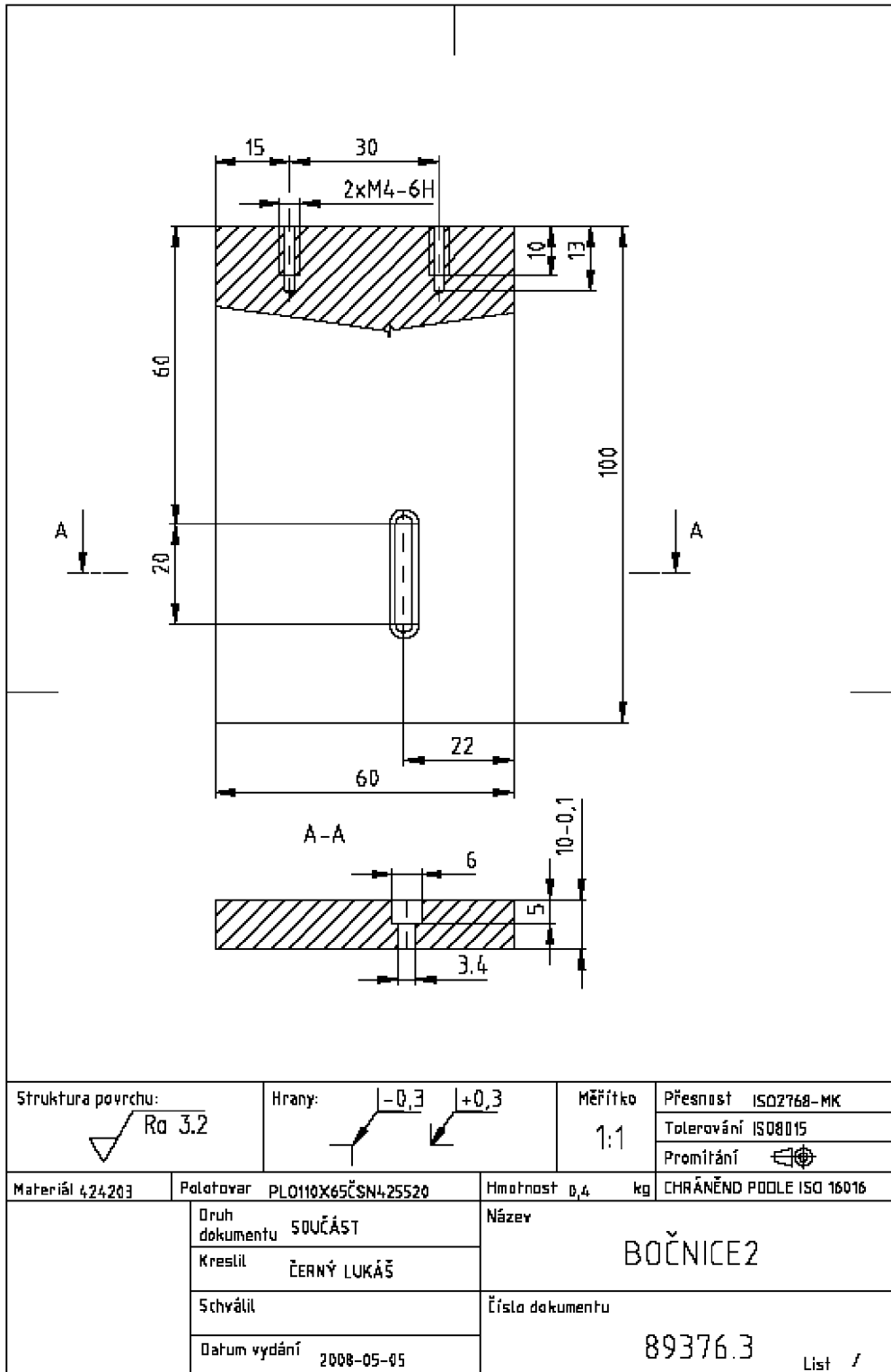
B Příloha

MECHANICKÁ ČÁST

Technický výkres bočnice 1


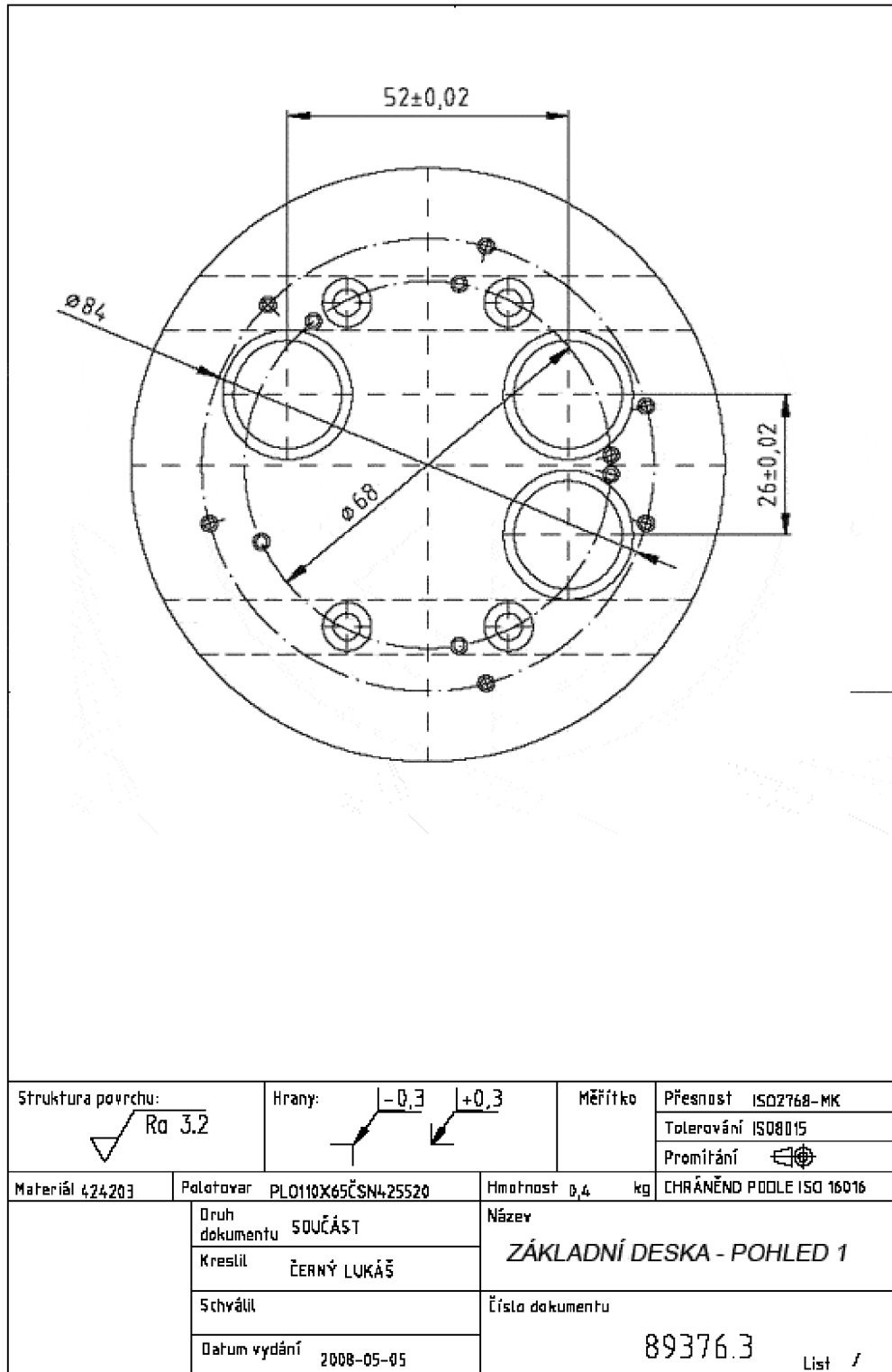
B Příloha

MECHANICKÁ ČÁST

Technický výkres bočnice 2


B Příloha


MECHANICKÁ ČÁST

Technický výkres základní desky – pohled 1


B Příloha

MECHANICKÁ ČÁST

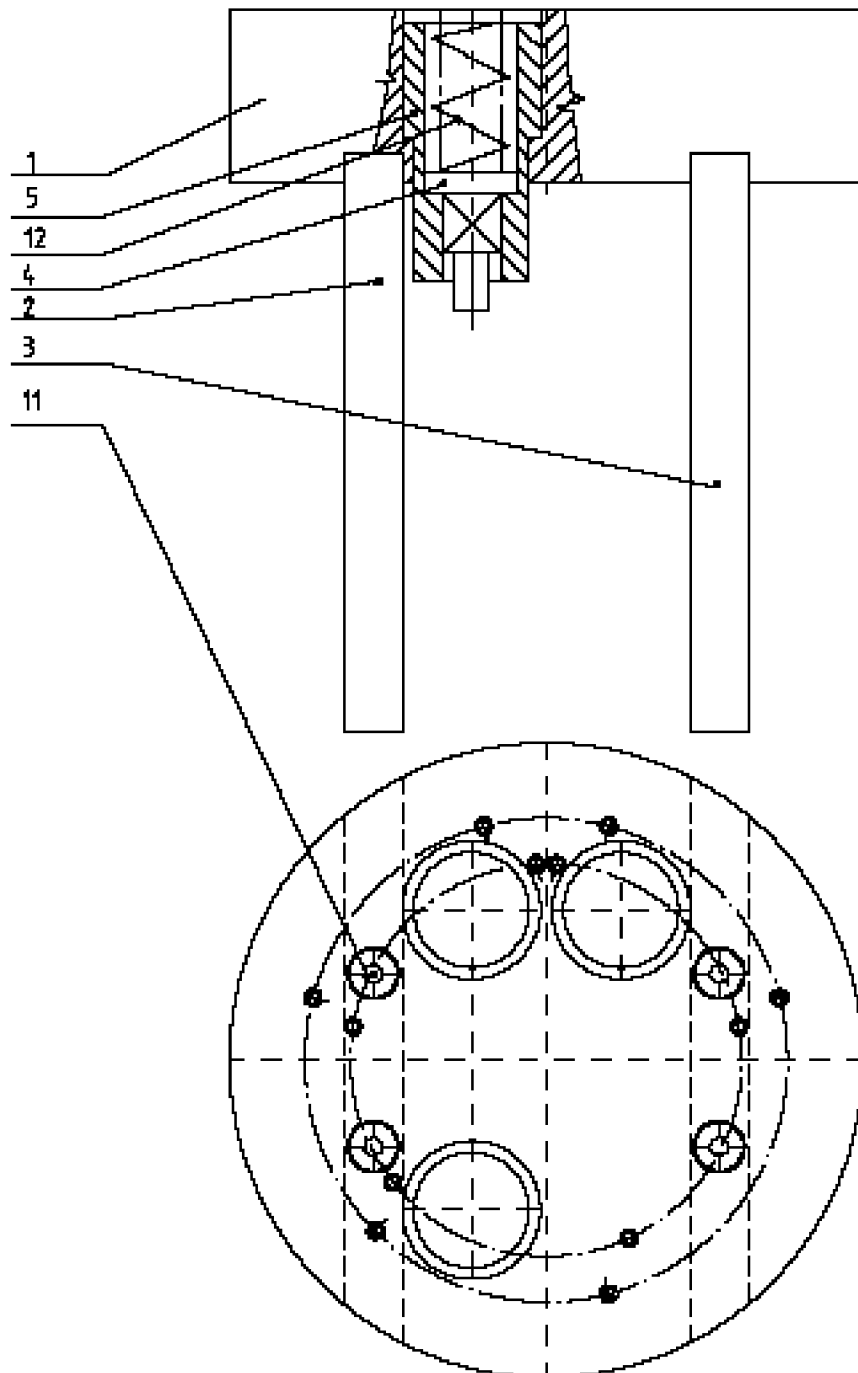
Kusovník sestavy

12.	PRUŽINA				1
	ČSN ISO 2162				
11.	SROUB M4x15				4
	ISO 4762				
5.	OTOČNÉ POUZDRO	Ø30-50 ČSN425510	0,28		3
	89376,5	424203			
4.	BIT 2,5	Ø20-30	0,13		3
	89376,4	14220			
3.	BOČNICE 2	PL0 110x65 ČSN 425520	0,4		1
	89376,3	424203			
2.	BOČNICE 1	PL0110x65 ČSN425520	0,4		1
	89376,2	424203			
1.	ZÁKLADNÍ DESKA	Ø110-40 ČSN 425510	1,2		1
	89376,1	424203			
Číslo polož.	Název - označení	Referenční	Hmot.	J	Hmot.
	Výkres - norma	Materiál			
Struktura pevnosti:		Hrany:	Měřítko	Přesnost	
			1:1	Toleranční	
				Prostřední 	
Materiál	Referenční	Hmotnost	kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016	
	Druh dokumentu	Název			
	Kreslí	MECH. BLOK ADJUSTACE			
	Schválí	Číslo dokumentu			
	Datum vydání	89376			
Lst /					

B Příloha

MECHANICKÁ ČÁST

Výkres sestavy



C Příloha

ELEKTRONICKÁ VERZE

Obsah přiloženého CD

Přiložené CD obsahuje následující soubory:

Diplomová_práce.pdf	Elektronická verze diplomové práce
Technická_dokumentace.dwg	Soubor technických výkresů nezbytných pro výrobu mechanické části