U N I V E R Z I T A K A R L O V A V P R A Z E
1.LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Katedra biofyziky a informatiky

Trenažer očních pohybů

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Dušek

Diplomant: Bc. Petr Matějíček Praha 2006

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval:

MUDr. Miroslavu Dostálkovi , Ph.D. za konzultaci medicínské části práce
MUDr. Mileně Hronkové za vstřícný přístup při mých návštěvách ortoptického pracoviště
Ing. Martinu Choltovi za přínosné podněty při tvorbě zapojení
Jakubu Jelínkovi za pomoc při tvorbě technických výkresů
Aleně Zárubové za zapůjčení některé literatury
a zvláště pak **Ing. Jaroslavu Duškovi** za konzultace a práci na mechanických částech přístroje.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a uvedl úplný výčet citací z pramenů, uvedených v kapitole použitá literatura na konci diplomové práce.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne: …..

podpis: …..

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a realizací prototypu elektronického trenažeru okohybných svalů určeného pro konvenční léčbu některých forem strabismu, či jako prostředek pro rehabilitaci svalů po chirurgické léčbě. Přístroj je založen na stimulaci okohybného ústrojí pomocí sledování „běžící“ rozsvícené LED diody. Diplomová práce obsahuje stručné pojednání o strabismu, okohybném systému oka, podrobný popis mechanické a elektronické části přístroje a první zkušenosti s tímto přístrojem na pracovišti.

Abstract

This work deals with proposal and realization prototype of electronic ophthalmogyric muscles trainer, designated to conventional therapy for some forms of strabismus, or like device for rehabilitation muscles after surgical intervention. Apparatus is based on stimulation ophthalmogyric system by the help of watching „ running" lighted LED diode. Diploma work includes a short dissertation of strabismus, ophthalmogyric eye system, detailed description of mechanical and electronic parts of apparatus and first experience in the workplace with it.

Obsah

1. Úvod …. 7

2. Teorie – normální vidění a strabismus …. 8

2.1. Normální stereoskopické vidění …. 8
2.2. Vývoj zraku …. 8
2.3. Okohybné svaly a jejich motorické dráhy …. 10
2.4. Strabismus – základní znaky …. 13
2.5. Základní rozdělení …. 13
2.6. Potencionální faktory vedoucí ke vzniku strabismu …. 14
2.7. Paralytický strabismus …. 15
2.8. Možnosti terapie inkomitantního strabismu …. 17
2.9. Konzervativní léčba aktivním cvičením pohyblivosti bulbu …. 18

3. Návrh a realizace …. 19

3.1. Návrh přístroje …. 19

3.2. Mechanická koncepce …. 19

3.2.1. Seznam popisovaných částí …. 21
3.2.2. Návrh a realizace oblouku …. 22
3.2.3. Realizace ramene a stojanu …. 26
3.2.4. Realizace kloubu …. 29

3.3. Elektrotechnická koncepce …. 33

3.3.1. Zapojení LED diod …. 33
3.3.2. Dekoder z BCD kódu na kód "1 z 10" …. 34
3.3.3. Vlastní řídící jednotka …. 36
3.3.4. Podrobný popis zapojení …. 38
3.3.5. Vývoj a testování elektroniky …. 47

3.4. Realizace …. 48

3.4.1. Praktická realizace elektroniky …. 48
3.4.2. Montáž elektroniky …. 49
3.4.3. Konečná mechanická montáž …. 52

3.5. Možná vylepšení …. 54

4. Závěr …. 55

4.1. Provoz přístroje na pracovišti …. 55
4.2. Terapeutický přínos přístroje …. 57
4.3. Zhodnocení …. 57

5. Použitá literatura …. 58

6. Přílohy …. 59 - 68

1. Úvod

Šilhavost neboli strabismus je poměrně časté postižení zrakového aparátu. Dochází k němu většinou v dětském věku, kdy se normální prostorové vidění teprve utváří. Čím takto postižené dítě déle strabuje, tím obtížnější je potom následná léčba, a proto je důležité podniknout co nejdříve kroky vedoucí k nápravě. Nejdůležitější je samozřejmě včasná a správná diagnóza. Terapeutických možností je potom celá řada, od léčby konzervativní až po chirurgickou. Důležitou složkou celého systému léčby je také odpovídající trénink senzorické a motorické části zrakového ústrojí. Někdy stačí dostatek optických podnětů z běžného prostředí, jindy je potřeba „očím“ pomoci cíleně pomocí speciálních cvičení na optických pomůckách a přístrojích. Vyvinul se proto obor ortoptika, jakási paralela k rehabilitaci při léčbě pohybového aparátu.

Výrobě rehabilitačních přístrojů se věnuje už dostatečné množství firem, aby mezi nimi panoval i konkurenční boj. Je to dáno velkým počtem rehabilitačních pracovišť a tedy velkým počtem prodaných přístrojů. Firmám se vyplatí investovat do kvalitního vývoje, který může být dokonce dražší než náklady na celou výrobu. Ortoptických pracovišť je však mnohem méně (v České společnosti ortoptistek je registrováno 37 pracovišť [4]) a zároveň většinou příliš nedisponují finančními prostředky. Firmě se nevyplatí investovat do vývoje přístroje, kterého se prodá pár kusů a ještě levně. Proto máme v ortoptických cvičebnách možnost spatřit mnohdy vskutku muzejní exponáty (to nemusí být vždy na škodu věci, neboť robusní kovové přístroje s optikou Zeiss-Jena mnohdy přežijí své nástupce při splnění svého účelu) a mnohdy i pomůcky po domácku zhotovené.

Proto vznikla myšlenka navrhnout a zkonstruovat přístroj pro tréning okohybných svalů. Tento přístroj sice jistá firma nabízí, nicméně za velkou finanční částku. Vývoj a výroba takového přístroje v téměř nekomerčních podmínkách umožňuje podstatně snížit tyto náklady. Přístroj tak může být využíván tam, kde by si ho z finančních důvodů nemohli pořídit, i když je tam potřebný.

2. Teorie – normální vidění a strabismus

2.1. Normální stereoskopické vidění

Oddělené umístění obou očí umožnuje tzv. binokulární vidění, neboť každé oko vidí předmět z poněkud jiného úhlu. Aby se zabránilo dvojitému vidění, musí oba obrazy dopadat na stejná místa sítnic. Každé oko musí být schopno fixace na pozorovaný předmět. Mozek člověka se zdravým zrakem natáčí oční bulbus tak, aby část scény, kterou právě analyzuje, dopadala do oblasti žluté skvrny – oblasti sítnice s největším rozlišením (Platí pro barevné vidění za dostatečných světelných podmínek za účasti čípků). Zároveň musí být obě oči navzájem schopny měnit úhel konvergence při pozorování různě vzdálených předmětů. Také je nutná synchronicita obou očí, potažmo okohybných svalů, jejich správným řízením.

Jednoduché binokulární vidění (JBV) je velice složitý a vysoce diferencovaný percepční mechanismus, na němž se podílí velký počet složek. Je podmíněno jak neporušeností (nebo alespoň dostatečnou funkčností) všech souvisejících anatomických struktur smyslového a pohybového aparátu, tak hlavně jejich dokonalou, centrálně řízenou souhrou. Porucha na jakékoliv úrovni tohoto systému může vést ke vzniku šilhavosti – strabismu [1]. V *tab. 1* jsou uvedeny požadavky potřebné pro JBV.

Tab. 1:

senzorické požadavky	**anatomické a motorické požadavky**
normální nebo téměř normální vidění obou očí	přibližně paralelní postavení očí (pohled do dálky)
přibližně stejně velké sítnicové obrazy	volná pohyblivost bulbů
společné vnímání oběma očima	koordinovaná akomodace a konvergence
dostatečný vývoj fusního aparátu (v CNS)	

2.2. Vývoj zraku

Člověk se nerodí s dokonalým viděním. Po narození reaguje pouze na světlo, zralost zrakového aparátu po všech stránkách nastává běžně do 5. - 6. roku. Celkový vývoj vidění lze rozdělit zhruba na tři základní aspekty. Vývoj zrakové ostrosti, fixačního a akomodačního reflexu a binokulárních reflexů. Pokud zasáhne do vývoje nějaká porucha, vzniká adaptační reakce na novou situaci, která může vést ke strabismu, tupozrakosti atd. Je tedy obzvlášť důležité sledovat zrakový aparát po celou dobu vývoje a vhodně korigovat případné odchylky.

1) Vývoj zrakové ostrosti:

Při narození nejsou čípky dosud zcela diferencovány a náležitě uspořádány. Pro tuto nezralost makulární krajiny (oblast žluté skvrny) vnímá novorozeně pouze periferní sítnicí (skotopické vidění) a zatím pouze světlo a tmu. Není také ještě vytvořeno dostatečné spojení primárních zrakových center s korovou zrakovou oblastí. Pokud vývoj pokračuje fyziologicky, je mezi 2. - 3. měsícem toto spojení již dokonale vytvořeno. Rovněž makulární oblast i asociační dráhy v mozku za tuto dobu dozrají natolik, že je již možná fixace. Oči kojence reagují na tváře a pohyb předmětů v blízkosti, ale vidí zatím velmi rozmazaně. Vývoj zrakové ostrosti je prakticky ukončen mezi 5. a 6. rokem života. [1]

2) Vývoj fixačního a akomodačního reflexu:

První známky aktivní fixace se objevují v 2. měsíci, byť jen na krátkou dobu. S vyzráváním sítnice a nervů se se tato doba prodlužuje, vyvíjí se také schopnost konvergence a akomodace. V 6. měsíci dovede kojenec udržet konvergenci jen několik vteřin, ve 2 letech už dokáže dobře odhadovat vzdálenost předmětů v nejbližším okolí. S rozvojem chůze a dotykem předmětů poznává vzdálenější prostor a jeho hloubku. Vergenční reflex (změna úhlu optických os očí) je podmíněný reflex, doplňující reflex fixační.

Akomodační reflex je závislý na vývoji celiárního svalu čočky. Dítě začíná akomodovat ve 4. měsíci, avšak dobrá souhra akomodace a konvergence nastává až mezi 2. – 3. rokem. Její poruchy mají za následek šilhání. [1]

3) Vývoj binokulárních reflexů:

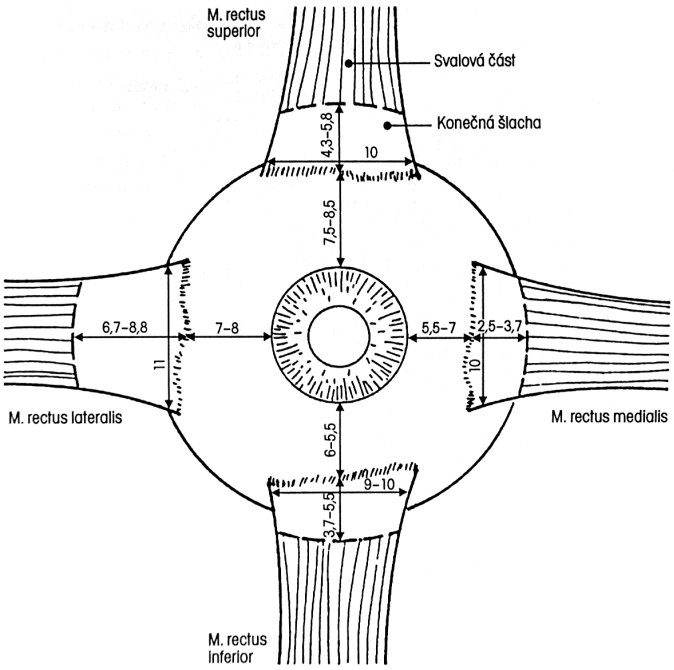
Prostorové vidění se začíná rozvíjet od 6. měsíce na podkladě vývoje fusního mozkového centra, reflexů zmiňovaných v předešlých bodech a také dotykových podnětů. Chůze urychlí poznávání okolního světa a také schopnost prostorového vidění [1]. Do 9. – 12. let by měl být vývoj binokulárního vidění prakticky ukončen. *Poznámka: terapeuticky lze ovlivnit binokularitu i po 6. roce. Tyto věkové údaje jsou ale obtížně doložitelné, jsou spíše tradované.*

2.3. Okohybné svaly a jejich motorické dráhy

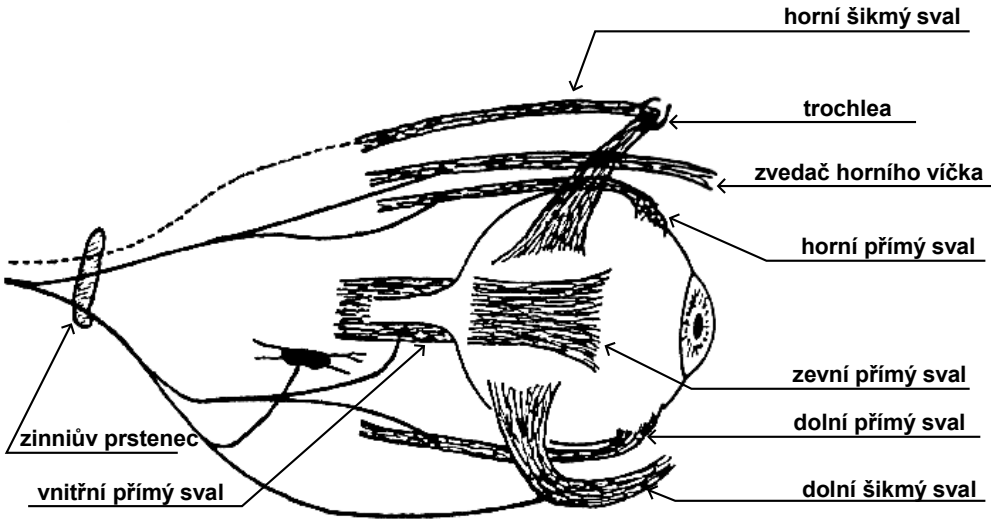
Umístění:

Okohybné svaly (o.s.) jsou uloženy okolo bulbu blízko stěn orbity, v pochvách z pojivové tkáně přecházející na povrchu v tzv. tenonskou membránu, tvořící lůžko pro bulbus. Úloha o.s. spočívá jednak v realizaci očních pohybů, ale také částečně ve fixaci celého bulbu uvnitř orbity. Rozlišujeme 4 přímé (horní, dolní, vnitřní a zevní přímý sval) a 2 šikmé svaly (horní a dolní šikmý sval). Kromě dolního šikmého svalu leží jejich počátek na Zinniově prstenci, uloženém v hrotu orbity blízko optického kanálu a horní očnicové štěrbiny. Přímé svaly se upínají širokými šlachami na skléře bulbu přibližně ve 1/3 bulbu směrem od jeho vnější části viz *obr. 1*. Horní šikmý sval, nejdelší ze všech, má svalovou část a šlachovou, která prochází trochleou (chrupavčitou kladkou, fixovanou ke kosti orbity na rozhraní její vnitřní a horní stěny). Jeho úpon leží někde mezi horním a zevním přímým svalem a je dosti variabilní. Dolní šikmý šikmý sval jako jediný začíná od vnitřní stěny očnice, v dolním nasálním kvadrantu. Upíná se pod úponem zevního přímého svalu, poněkud blíže k zadní části bulbu viz *obr. 2*. [1,2]

Obr. 1: úpony přímých okohybných svalů na skléře bulbu (převzato z [2]).



Obr. 2: umístění okohybných svalů



Inervace:

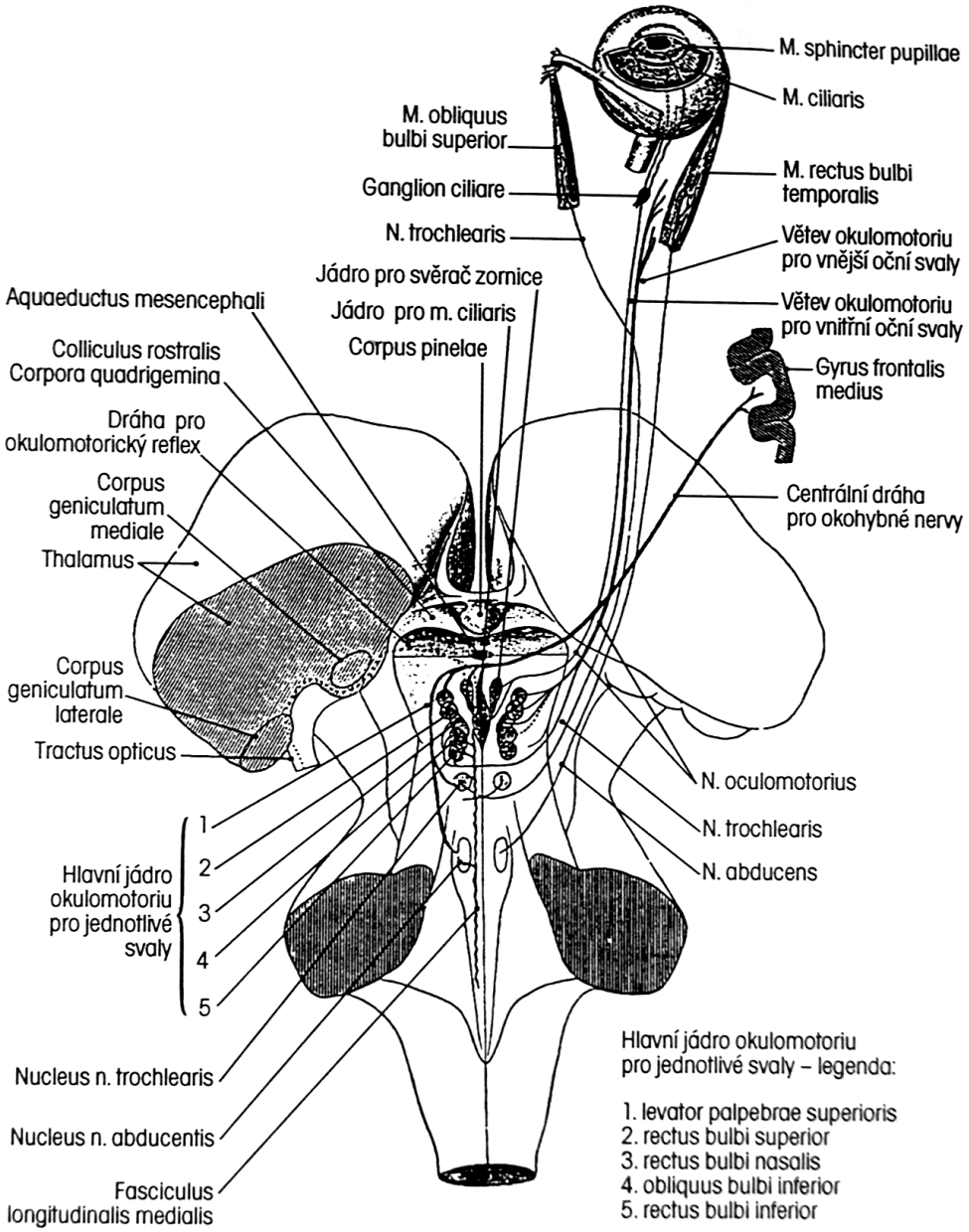
Horní přímý sval, dolní přímý sval, vnitřní přímý sval a dolní šikmý sval jsou inervovány větvemi n. oculomotorius. Zevní přímý sval je inervován n. abducens a horní šikmý sval inervuje n. trochlearis *(obr. 3)*. Motorická vlákna jsou z valné části myelinizovaná, sahají až k úponům svalu. Počet jednotlivých nervových vláken je vysoký, dosahuje poměru 1:5 ke svalovým vláknům. Pro srovnání – u běžných svalů je tento poměr 1:50 [2].

N. oculomotorius obsahuje též parasympatická vlákna ke svalům řasnatého tělíska a duhovky. Jádra tohoto nervu se nacházejí v horní části mozkového kmene. Jedno z nich (Perliovo jadérko) je považováno za centrum pro konvergenci. Nerv se rozděluje na 2 větve, poté prochází horní orbitální štěrbinou a Zinniovým prstencem. Odtud jde horní větev ke zvedači víčka a hornímu přímému svalu. Dolní větev se dělí opět na 2 větve – vnitřní, jdoucí k vnitřnímu přímému svalu a vnější, jdoucí k dolnímu přímému a dolnímu šikmému svalu. Ještě před dosažením dolního šikmého svalu však některá vlákna opouštějí svazek a táhnou se k ciliárnímu gangliu, sloužícímu k inervaci duhovkového svěrače a ciliárního svalu čočky.

Párová jádra **n. trochlearis** leží hned pod jádry okulomotoriu a jeho průběh je s ním téměř totožný až k Zinniovu prstenci. Vstupuje do horního šikmého svalu.

Jádro **n. abducens** leží v dolní části mozku za jádry III. a IV. mozkového nervu. Blízko tohoto jádra leží také jádro lícního nervu a proto muže být spolu s ním nerv postižen patologickými procesy [2]. Nerv dále postupuje přes přední plochu mozku skrz tvrdou mozkovou plenu a pyramidu dále směrem dopředu. Poté vstupuje do kavernosního sinu a dále jako n. oculomotorius. Vstupuje do vnějšího přímého svalu. Díky dlouhému průběhu po lební bazi je snadno zranitelný.

Obr. 3: motorický systém oka (převzato z [2])



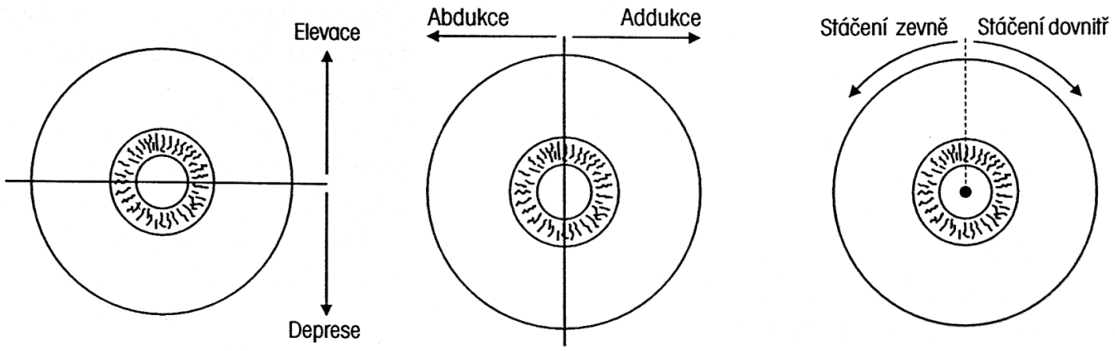
Při posuzování motorické inervace okohybných svalů zdravého zrakového systému nikdy nedochází k inervaci jen jednoho svalu. Vždy se jedná o inervaci více svalů zároveň a také dochází k jejich vzájemné souhře na obou očích. Každá kontrakce jednoho svalu je také podmíněna uvolněním jeho antagonisty. Souhru obou očí zajišťuje spojení párových jader asociačními vlákny[2].

Cévní zásobení:

Arterie zásobující okohybné svaly pocházejí ze tří pramenů. V jejich zadních částech jsou to větve a. ophtalmica, v přední, horní a zevní části větve a. lacrimalis, a v dolním vnitřním oddíle větve a. muscularis inferior. Venózního odtoku se účastní vena ophtalmica sup., vena ophtalmica inf. a vena lacrimalis[2].

Popis funkce okohybných svalů:

Pohyby očního bulbu se dějí kolem tří pomyslných os. Kolem horizontální elevace a deprese, kolem vertikální osy abdukce a addukce a kolem předozadní torze v kladném či záporném směru viz *obr. 4 [2]*.



abdukce – zevní přímý sval + částečně horní a dolní přímý sval
addukce – vnitřní přímý sval + částečně horní a dolní šikmý sval
elevace – horní přímý + dolní šikmý sval
deprese – dolní přímý + horní šikmý sval
torze – horní a dolní přímé i šikmé svaly

2.4. Strabismus – základní znaky

Šilhavost - strabismus (dále strab.) je stav, kdy (objektivně) při fixaci předmětu nesměřují osy vidění obou bulbů do jednoho bodu a není (subjektivně) přítomno normální jednoduché binokulární vidění.

2.5. Základní rozdělení

Podle základních znaků a etiopatogeneze lze odlišit dva základní druhy strabismu. Strabismus konkomitující (dynamický) a inkomitantní (paralytický). Existuje také třetí skupina, obsahující znaky z obou druhů – strabismus smíšený. Další hlavní dělení je podle toho, jedná-li se o postižení vrozené nebo získané.

Konkomitující strabismus:

Základním znakem je neporušená hybnost očí. Podstata poruchy totiž spočívá ve vadné koordinaci senzorické a motorické složky systému. Jednotlivé příčiny jsou uvedeny níže v kapitole 2.2.3. v bodech 1 a 2.

Tato forma strabismu se vyskytuje nejčastěji (4-5% dětí).

Inkomitentní strabismus:

Podstatou paralytického šilhání je porucha v motorické sféře zrakového ústrojí a to kdekoliv v průběhu motorické dráhy, od jader okohybných nervů až po samotné svaly. Tato léze se pak projeví omezením funkce okohybných svalů vedoucím k asymetrii postavení a pohybu očí.

Výskyt této formy strab. je méně častý (pouze asi 2% všech strabujících dětí). Může však na razdíl od komitujícího strab., který bývá nejčastější u malých dětí, vzniknout v kterémkoliv věku na základě nejrůznějších patologických příčin.

2.6. Potencionální faktory vedoucí ke vzniku strabismu

1) optická složka

V optické složce to mohou být všechny překážky, znemožňující tvorbu přesného obrazu na sítnici. Těžší postižení jednoho nebo obou očí vede již primárně ke ztrátě fixace a k potenciální možnosti vzniku strabismu. Ale i lehčí postižení pouze jednoho oka může vést k těmto důsledkům. Pokud totiž na jednu ze sítnic dopadá obraz nižší kvality než na druhou, mozek začne záměrně horší zrakovou informaci vypouštět, neboť působí rušivě v binokulárním pohledu. Toto suprese vjemu z „horšího“ oka vede dál k jeho tupozrakosti. Tím se situace dále zhoršuje, oko není schopno fixovat předmět, což může vést opět ke vzniku strabismu [3].

Z vnějších příčin to může být například dlouhodobé obvázání jednoho oka. Častější jsou vnitřní příčiny v podobě různých zánětlivých, degenerativních, vrozených či poúrazových změn optických médií (rohovky, čočky a sklivce). Nejčastější jsou však refrakční vady. Proto je velmi důležité včasné vyšetření visu u malých dětí a následná vhodná optická korekce (suprese vjemu z postiženého oka by zastavila či zpomalila jeho vývoj a to by po delší době vedlo k nevratným následkům).

2) senzorická složka

V senzorické oblasti se mohou stát etiologickým faktorem všechny rušivé vlivy v průběhu zrakové dráhy, např. poškození léze sítnice, zrakového nervu, nebo porucha ve vyšších mozkových centrech. To může vést k poruše fuse (slučování informací ze dvou obrazů a tvorbě trojrozměrného vjemu), defektům zorného pole, disociaci binokulárního vidění i disociaci polohy očí.

3) motorická složka

Zde mohou být příčiny čistě mechanické, blokující správný pohyb bulbu, jako jsou deformace lebky, asymetrie orbit, či zánětlivé nebo tumorosní změny na těchto místech.

Mnohem častější však bývají léze okohybných svalů a jejich úponů, vrozené či získané ve formě degenerativních změn po zánětech, tumorech apod. Podle intenzity motorického oslabení vedou ke vzniku svalové nerovnováhy ve formě heteroforie (latentní šilhavosti, kdy oči ve správném postavení udržuje pouze mozek na základě optických podnětů) při nejmenší dysbalanci, až po těžkou formu paralytického strabismu [2].

Další častou příčinou bývají patologické afekce postihující motorickou dráhu od periferních zakončení motorických nervů až po kortikální centra. Jsou to afekce vedoucí ke vzniku obrn a paralytického strabismu.

4) centrální (analytická) složka

Do poslední skupiny patří poruchy vyšších mozkových center řídících senzoricko – motorickou koordinaci zrakového ústrojí. Nezřídkakdy je doprovází i celkové poškození CNS, nebo lépe řečeno - u těchto poškození se lze častěji setkat s šilhavostí. Zde je třeba uvést, že existují případy takto vzniklého strabismu u relativně zdravé CNS, pouze na podkladu její traumatické zátěže, ať už příčiny mechanické či psychické. Mnohdy se po odeznění této příčiny správné vidění obnoví, není to však pravidlem.

Strabismus může vzniknout na základě některého z těchto faktorů, běžné je však i to, že se na jeho vzniku podílí faktorů více. Například kombinace refrakční vady, lehkého poškození CNS a stresových faktorů.

2.7. Paralytický strabismus

Paralytický (inkomitantní) strabismus můžeme dle etiologie rozdělit na dvě skupiny – kongenitální (vrozený) a získaný. Oba druhy se od sebe liší jak vznikem, tak i klinickými příznaky. Jiný způsob rozdělení je na obrny jen jednoho svalu a sdružené obrny více svalů (oftalmoplegie).

Kongenitální forma paralytického strabismu:

Do této skupiny se zařazují kromě čistě vrozených inkomitancí též ty, získané v prvních týdnech života. Jejich klinický obraz je totiž stejný, neboť vznikají před vybudováním binokulárního vidění [1].

Hlavní skupinu etiopatogenních faktorů tvoří vývojové poruchy. Bývají popisovány jako hypoplasie (vzácně i aplasie) jader okohybných nervů, nejčastěji VI. n. Vlastní nervy bývají postiženy spíše sekundárně. Relativně často však bývají vývojovými anomáliemi postiženy samy okohybné svaly a fascie. Jedná se hlavně o rozštěpy, aberantní vlákna (se změněnou strukturou), spojení dvou sousedních svalů, anomální průběh svalu nebo umístění úponu či jeho substituce fibrosní tkání. Další příčinou může být mechanické trauma vzniklé během porodu (poškození nervové tkáně hypoxií či útlakem ze vzniklého krvácení, nebo fibrosa svalů díky výronům krve při poškození očnice [1].

Klinicky nejčastější kongenitální příčinou však bývá poškození n. abducens. (podle některých pramenů i přes 90% případů). Může se jednat jak o jednostranné postižení s příznaky druhostranné hemiparézy, tak o oboustranné postižení s příznaky kvadruparézy.

Na základě vrozené parézy okohybných svalů se pak můžou objevit tyto **sekundární poruchy**: a) Pokud je paréza mírnějšího stupně a bulby jsou schopny alespoň v nějakém směru pohledu konvergence, může se vyvíjet, byť obtížněji, binokulární vidění. Zůstává pouze omezení zorného pole. Porucha se nejčastěji pozná kompenzečním držením hlavy. Směr úchylky hlavy od normálního postavení závisí na tom, jaký sval či jejich skupina je postižena.

b) Při težší paréze, pokud oči v žádném směru pohledu nejsou schopny konvergovat k jednomu bodu, se stereoskopiské vidění nemůže vyvíjet. Fixaci předmětu přebírá jen jedno oko a u druhého dochází k supresi vjemu. Při trvalé fixaci jen jedním okem může dojít až k tupozrakosti druhého. Někdy se však obě oči při fixaci střídají a vidění obou očí zůstává zachováno [1].

Získaný paralytický strabismus:

Etiologie této formy je jiná a velice pestrá. Také paleta variant poškození svalů a nervů je poněkud bohatší.

První příčinou bývají úrazy hlavy. Při frakturách lebky a hlavně její baze bývá často poškozen n. abducens pro svůj dlouhý intrakraniální průběh. K jeho poškození může dojít také při velkých subdurálních hematomech. Ostatní nervy bývají traumaticky poškozeny nejčastěji při poškození fissura orbitalis superior. K poškození jader oculomotoriu může dojít také při postkomačním krvácení, nebo vzestupem tlaku likvoru ve 4. komoře.

Další příčinou bývají tumory mozku. Ty však způsobují obvykle mnohem dříve poruchy jiných funkcí CNS. Pokud je doprovázejí parézy očních motorických nervů, tak většinou jen jako podružný příznak jeného závažnějšího poškození.

Poruchy krevního zásobení CNS způsobují poruchu oční motility poměrně často, zvláště při lokalizaci na lební bazi. Diplopie (dvojité vidění) je velmi často prvním varovným příznakem cévní mozkové příhody. (Stejně tak mozkomíšní roztroušená skleróza se může nejdříve manifestovat oční parézou).

Infekční choroby (ze známějších meningitidy a encefalitidy) mohou také způsobovat oční parézy. Jsou zkušenosti s tím, že virová onemocnění mívají větší afinitu právě k centrům okohybných nervů.

Poslední významější skupinu tvoří přímé léze okohybných svalů ve formě myisitid, myastenií, progresivní dystrofie. Příčinou poruch pohyblivosti svalů může být také tyreotoxická myopatie. Navazuje na exoftalmus a postihuje především zvedací svaly oka [2].

2.8. Možnosti terapie inkomitantního strabismu

Léčbu paralytického strab. lze rozdělit na etiologickou, místní (neinvazivní a chirurgickou) a symptomatickou. **Etiologická léčba** má význam pouze u získaných forem strabismu, kde má však stěžejní význam. Opírá se o neurologické vyšetření, na jehož základě se usiluje o odstranění zjištěné příčiny. Pokud příčina paralýzy nebyla zjištěna, porucha přetrvává i po zániku příčiny či již příčinu nelze odstranit (u kongenitálního strab.), přistupuje se k **místní léčbě postižených svalů**. Tu lze rozdělit na reedukaci, fyzikální terapii a farmakoterapii.

Reedukace je neinvazivní formou místní léčby. Spočívá v aktivním cvičení pohyblivosti bulbu. Cvičení je prováděno sledováním pohyblivého fixačního objektu v blízké vzdálenosti od oka pacienta. Pohyb může probíhat v různých rovinách, obvykle v té, ve které je pohyb očního bulbu nejvíce omezen paralytickým svalem či jejich skupinou. **Na tomto principu pracuje i přístroj, jehož návrhem a realizací se tato práce zabývá.** Další možností místní léčby je **fyzikální terapie**, spočívající v zlepšení místní krevní cirkulace prohřátím svalu či lehkou masáží okolní krajiny. Lze též aplikovat jodovou a kaliovou iontoforézu. Při farmakoterapii se podávají léky podporující růst axonů, metabolismus svalů, vitamíny skupiny B, anabolika, vazodiletancia a léky usnadňující nervosvalový přenos [5]. Dále se používá aplikace botulotoxinu pro vytvoření dočasné farmakologické parézy antagonisty ochrnutého svalu, s cílem zamezit rozvoji kontraktury (vazivových změn svalu v důsledku chronické hyperfunkce).

Symptomatická léčba je u paralytického strabismu nejčastější. Spočívá v odstranění následků parézy okohybných svalů - dvojitého vidění, nevolnosti a závratí (u vzniklého postižení), vadného držení těla (při kompenzacích náklonem hlavy) a hlavně prevenci vzniku sekundárních senzorických anomálií u dětí. Hlavními prostředky léčby jsou okluse, prismata a ortoptika. **Okluse**

spočívá v zakrytí jednoho oka a tím zrušení dvojitého vidění (u dětí nejčastěji dominantního oka, aby zrakové podněty dostávalo druhé oko, v normálním stavu supromované). **Prismata** mají za úkol usnadnit získání jednoduchého binokulárního vidění v přímém postavení a omezovat tendenci ke kompenzačnímu postavení hlavy. **Ortoptika** má za úkol cvičit binokulární funkce, aby zůstaly zachovány než nastane úprava vady konzervativní nebo chirurgickou léčbou (důležité zvláště u malých dětí, kde ještě stereoskopické vidění není dobře vyvinuto. Podporuje též cvičení motility (místní léčba). **Chirurgická léčba** je mnohdy jedinou cestou vedoucí k vyléčení vrozeného paralytického strabismu. Náhrady funkce ochrnutého svalu se dosahuje např. oddělením částí dalších svalů, které se umístí ke svalu paretickému. Taková náhrada funkce není úplná, jen částečná.

Konzervativní a chirurgická léčba jsou součásti jednoho terapeutického postupu. Ortoptika připravuje oči před operací a pomáhá adaptaci po operaci.

2.9. Konzervativní léčba aktivním cvičením pohyblivosti bulbu

Jak již bylo zmíněno výše, cvičení je prováděno sledováním pohyblivého objektu v blízké vzdálenosti od oka pacienta. Nejvýhodnější je pohyb po kružnici, v jejímž středu se nachází cvičené oko pacienta, neboť nedochází ke změně vzdálenosti a tedy potřebě změny akomodace čočky. Vzdálenost (poloměr kruhu) by měl být samozřejmě takový, aby dané oko bylo schopné zaostřit na předmět.

V nejjednodušší podobě by šlo toto cvičení zrealizovat tak, že by objektem pohybovala sama terapeutka. To by však bylo značně vyčerpávající. Proto byl v minulosti vyvinut přístroj (Bangerterův trenažer), skládající se z běžce pohybujícího se po kruhové dráze pomocí motorku. K běžci je připevněna ručička s držákem, na který lze upevnit zajímavý obrázek či malý předmět. Rychlost pohybu lze řídit otáčkami motorku a dráhu lze naklápět do potřebných úhlů. Výhoda tohoto řešení spočívá v možnosti umístit na držák objekt zajímavý pro malé dítě, který udrží jeho pozornost po delší dobu. Nevýhoda však spočívá ve velké poruchovosti způsobené přítomností pohyblivých mechanických částí podléhajících opotřebení.

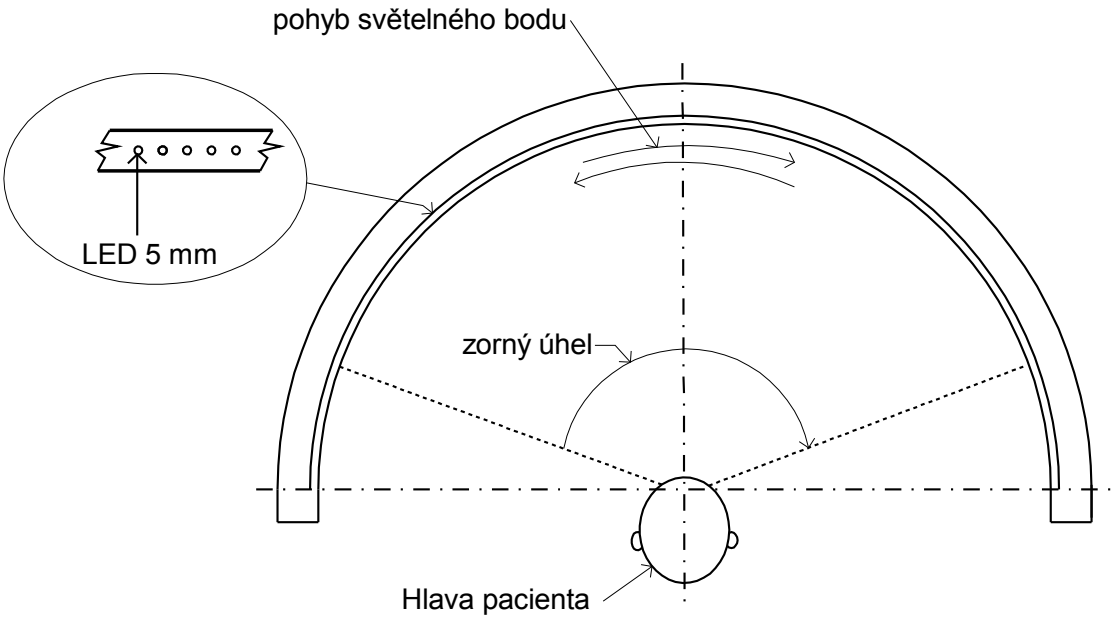
Od nástupu číslicových integrovaných obvodů a polovodičových svítivých diod (LED) lze konstrukci tohoto přístroje snadno řešit elektronickou cestou, řadou postupně rozsvěcovaných LED umístěných na oblouku. Jediná nevýhoda tohoto řešení je v tom, že jednoduchý světelný bod není pro malé děti tak zajímavý jako obrázek a dříve ochabuje jejich pozornost a snaha fixovat. Tento nedostatek lze obejít vytvořením jednoduchého obrázku pomocí více řad LED umístěných pod sebou. To je však technologicky náročnější a v podmínkách kusové výroby příliš pracné. V budoucnu bude možné využít například ohebný display pracující na principu chemiluminiscence.

3. Návrh a realizace

3.1. Návrh přístroje

Podstatou trenažeru je stimulace okohybných svalů pomocí tzv. běžícího světla. To je realizováno řadou svítících (LED) diod umístěných na půlkruhovém rameni umístěném v zormém poli pacienta. *(obr. 5)* Diody se postupně rozsvěcují jedna po druhé. Poté, co se rozsvítí následující, předchozí zhasne, svítí tedy vždy jen jedna. „Běžící světlo“ osciluje kolem středu (46. diody, celkem je použito 91 diod) na obě strany. Úhel světelné výseče je možné regulovat v 9 úrovních. Vzhledem k počtu diod 91 při největším úhlu výseče180° vychází úhel mezi jednotlivými diodami 2°. Úhlová rozlišovací schopnost oka je sice téměř o dva řády vyšší (přibližně 2'). To však platí pro statické objekty. U dynamických objektů klesá rozlišovací schopnost díky setrvačnosti oka (její střední hodnota je přibližně 1/10 sekundy) a ta nepřímo úměrně závisí na jejich jasu a kontrastu objektu oproti okolí. Při běžných parametrech terapie je setrvačnost oka taková, že jeho rozlišovací schopnost klesne pod 2° a pohyb světelného bodu se jeví jako plynulý.

obr. 5: „oblouk zhora“



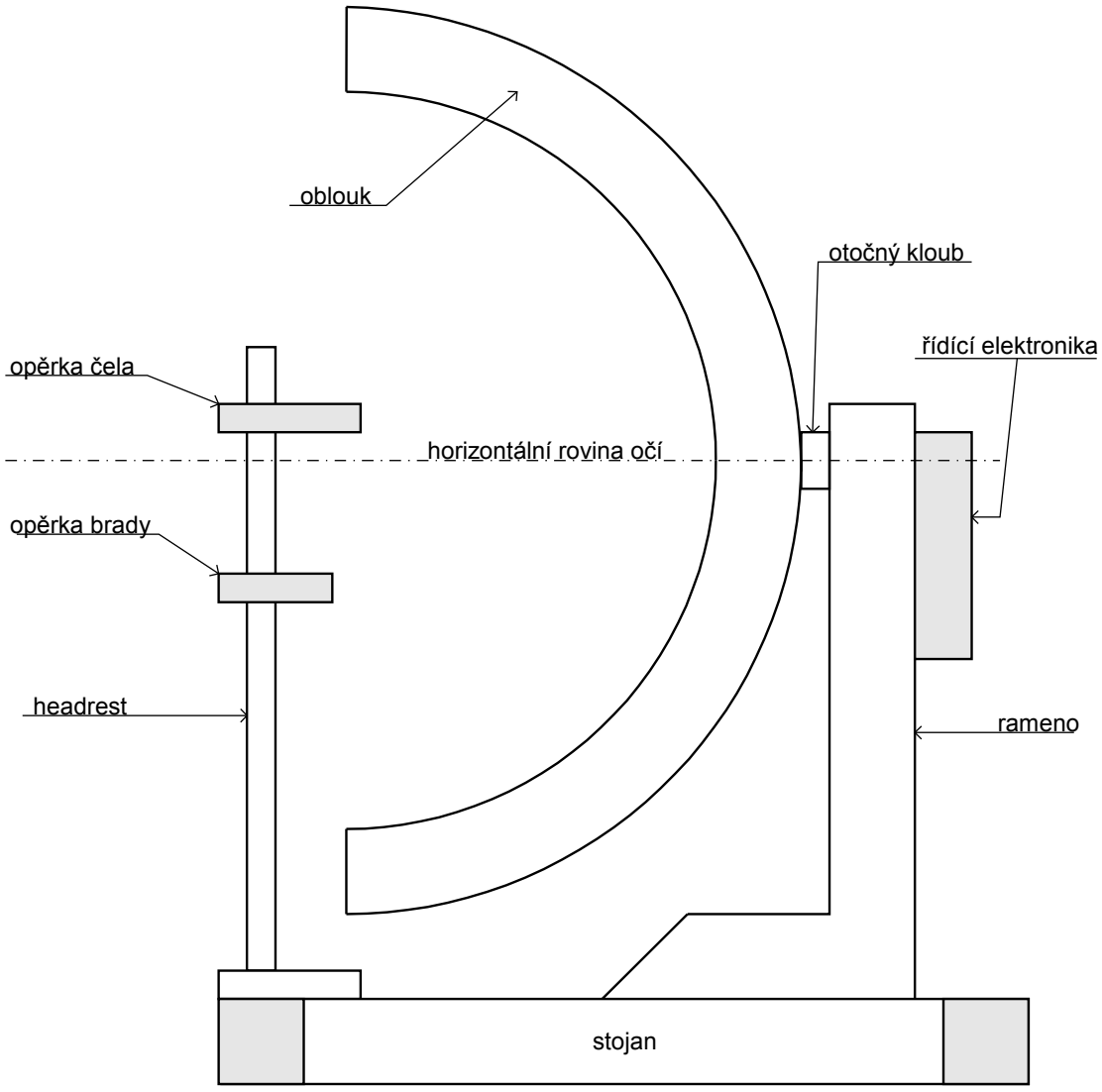
3.2. Mechanická koncepce

Požadavky na mechanické uspořádání vycházejí z klasického uspořádání oftalmologických vyšetřovacích přístrojů, kde hlava pacienta spočívá na přípravku zvaném „headrest“ a pozorovaná, vyšetřovací část přístroje potom leží v zorném poli pacienta, nejčastěji v

horizontální rovině očí. Z toho vyplývá potřeba umístit oblouk s LED diodami na rameno se stojanem zaručujícím dostatečnou mechanickou stabilitu. V praxi se nakonec ukázalo, že je přesto bezpečnější ještě přístroj dodatečně připevnit ke stolku (občasná přítomnost hyperaktivních dětí v místnosti, kde byl trenažer nainstalován). Stojan zároveň nese všechny ovládací prvky a hlavní elektroniku přístroje. Je také žádoucí, aby headrest s přístrojem tvořily jeden celek a tím byla přesně daná poloha hlavy pacienta ve středu pomyslného kruhu, jehož polovinu tvoří zmiňovaný oblouk. *(Obr. 6)*

Dalším požadavkem bylo, aby tréning okohybných svalů mohl probíhat i v jiných rovinách než je horizontální. Z toho vyplynula potřeba otočného kloubu mezi obloukem a ramenem přístroje vybaveného aretačním mechanismem.

obr. 6: „pohled z boku“



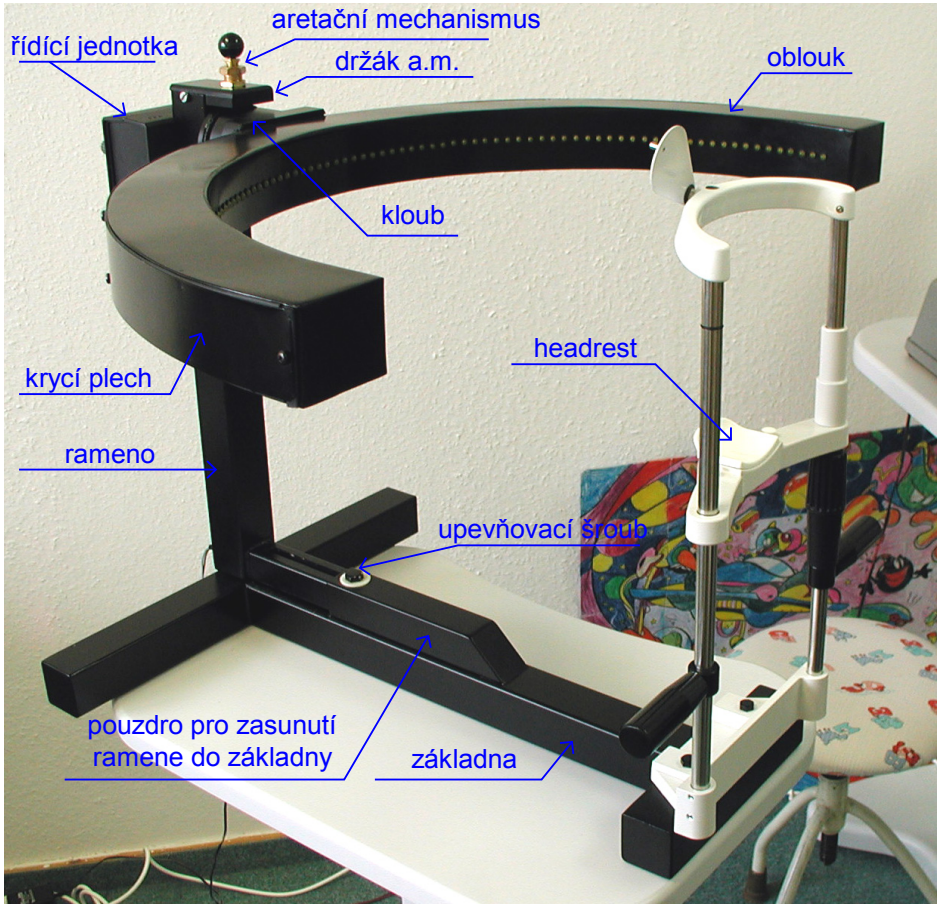
3.2.1. Seznam popisovaných mechanických částí

Přístroj se skládá z několika částí vyrobených odděleně a v konečné fázi sestavených v jeden celek. Tyto subcelky jsou dále tvořeny jednotlivými komponenty. Nejlépe je to patrné z fotografie finální podoby přístroje *(obr. 7)*.

Výčet jednotlivých částí:

1) Oblouk – horní část, dolní část, přední část, pásky s otvory pro šrouby krycího plechu, krycí plech, zpevňující podložka, gumové těsnění, 16x samořezný šroub ∅ 4 mm a délky 1 cm.
2) Kloub – hřídel, náboj, silonové pouzdro (ložisko), podložka, seigrova pojistná podložka, držák aretačního mechanismu, aretační mechanismus, 3x šroub M4
3) Rameno – svislá část, vodorovná část
4) Základna – vlastní základna ze tří dutých čtvercových železných profilů, pouzdro pro zasunutí ramene, upevňovací šroub M10, plastová podložka ∅ 10 mm
5) Headrest

Obr. 7:



3.2.2. Návrh a realizace oblouku

Celý oblouk byl zhotoven z pozinkovaného plechu tloušťky 1 mm. Tento materiál disponuje dobrou pružností a odolností. Pevnost (obzvláště krycího zadního plechu) byla potřebná kvůli tomu, že se zadní plech z velké části podílí na nesení celého oblouku, zprostředkovává mechanické spojení mezi ním a kloubem. Pružnost zas byla potřebná proto, aby plech pokud možno hermeticky doléhal k zadní části oblouku a nevznikaly zde mezery, kudy by dovnitř vnikal prach a jiné nečistoty. Drobné mezery byly eliminovány tenkým gumovým těsněním.

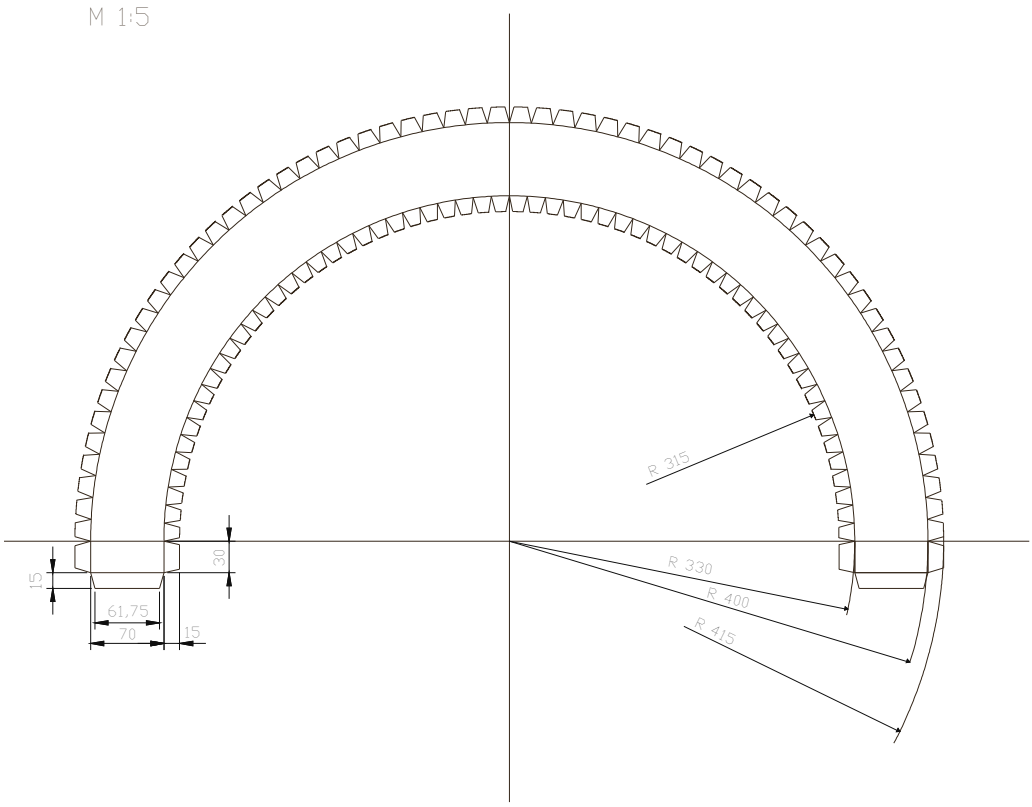
Postup realizace jednotlivých částí:

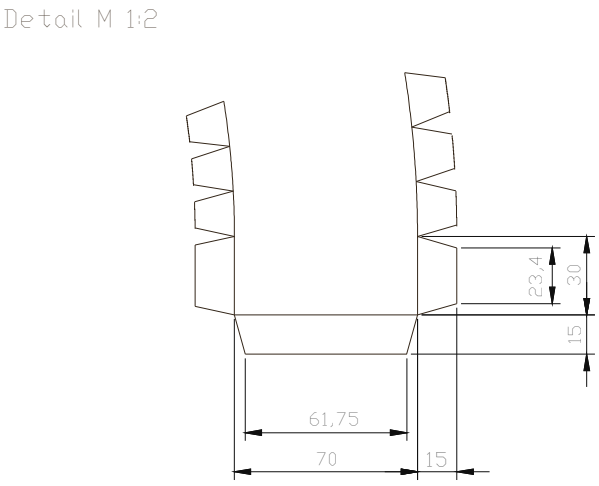
Nejprve byla z pozinkovaného plechu vystřižena horní a dolní část budoucího oblouku, obě rozměrově identické, viz výkres na *(obr. 8)*. Zuby pak byly zohýbány všechny na stejnou stranu pod úhlem 90°. Vznikla tak styčná plocha pro přiletování předního plechu, později nesoucího LED diody.

Dále byla ze stejného plechu vystřižena přední část, na každé straně delší o mocnost oblouku (7 cm) a zadní záhyb se závitem pro uchycovací šroubky zadního krycího plechu (1 cm). Celkově byla tedy délka obdélníku 126 cm (vnitřní obvod oblouku + 2x8 cm) a šířka 6,2 cm. Mocnost a šířka hotového oblouku tak tímto byla určena na 7x6,2 cm. Do vystřiženého plechu byly vyvrtány otvory pro budoucí osazení LED diod. Celkem 91 otvorů o rozteči děr 11,52 mm a průměru 6 mm.

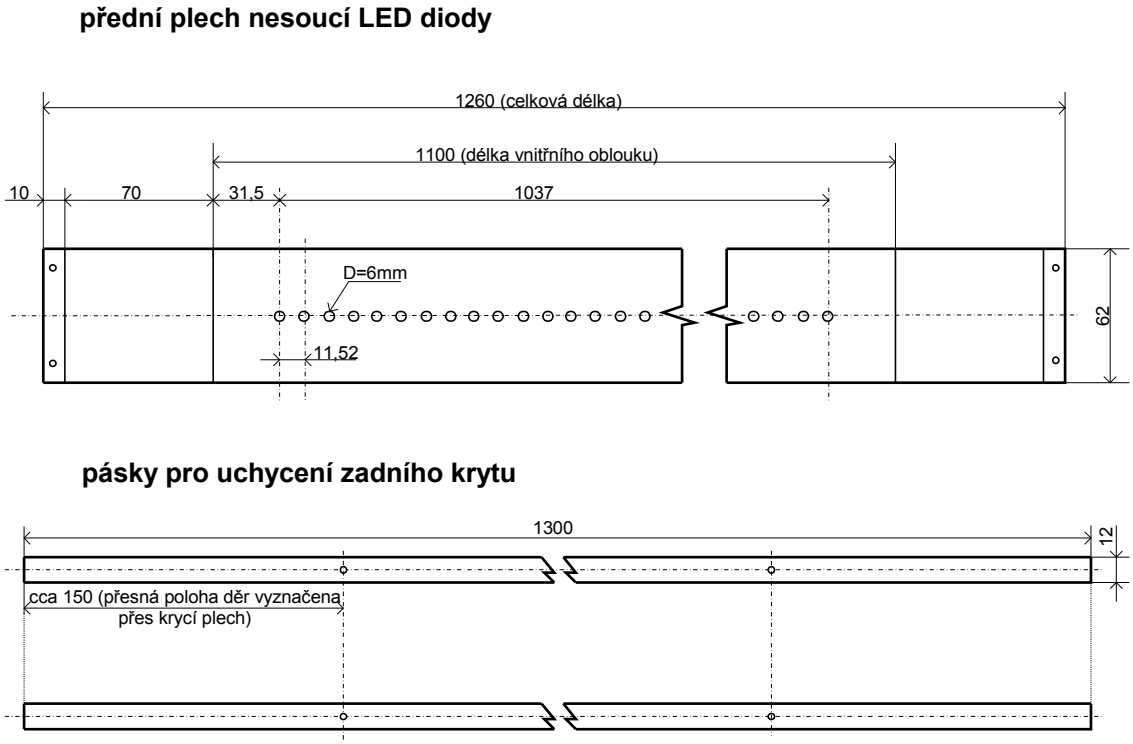
Z téhož plechu byly ještě vystřiženy dva úzké pásky určené k přiletování k vnější části oblouku a nesoucí otvory pro uchycovací šroubky zadního krytu *(obr. 9)*.

Obr. 8: horní a dolní část oblouku



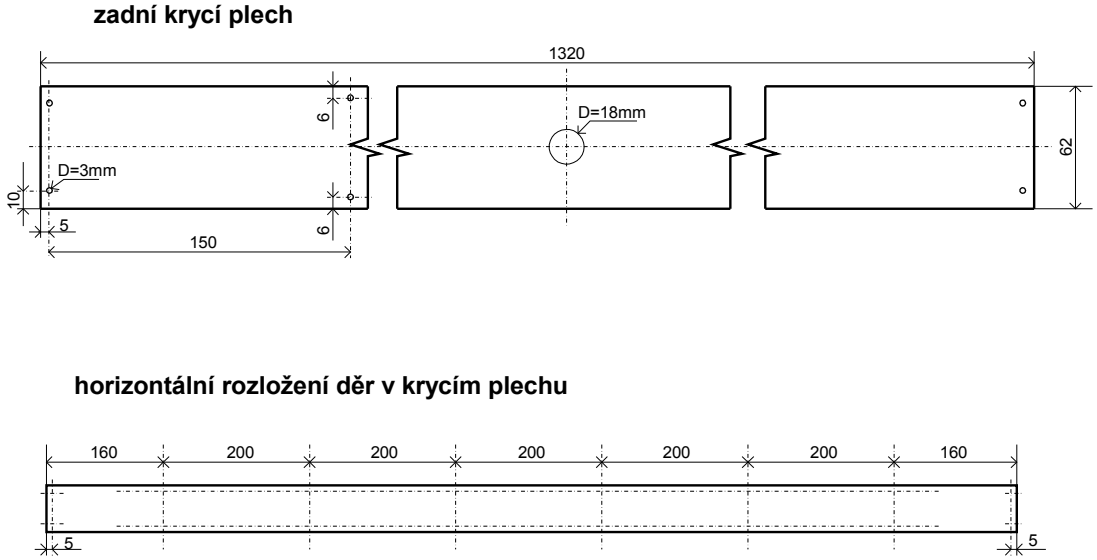


Obr. 9: vnitřní část oblouku a pásky pro uchycení zadního krytu



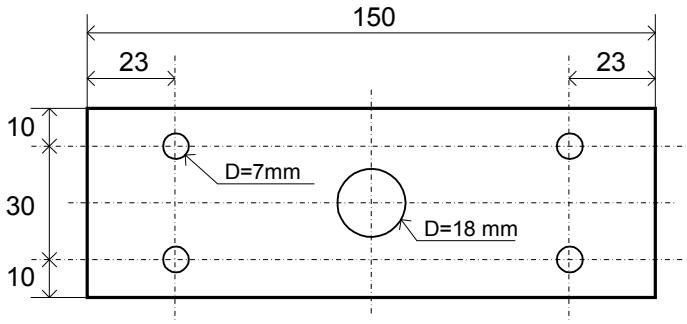
Z pozinkovaného plechu byl vystřižen kryt vnější části oblouku, následně opatřen otvorem pro kabely elektroniky dle výkresu. Po obvodu byly vyvrtány otvory pro uchycovací šrouby o stejné rozteči jako na úzkých páscích určených k přiletování na vnější část. Stejné polohy bylo docíleno tak, že byly otvory nejprve vyvrtány do krycího plechu a skrz ně pak byly označeny dulčíkem polohy otvorů na vnější, zadní stranu již sletovaného oblouku *(obr. 10)*.

Obr. 10: vnější kryt



Nakonec byl ještě z duralového plechu tloušťky 3 mm vystřižen obdélník, podložka zpevňující uchycení zadního plechu k otočnému kloubu. Poté byl opatřen příslušnými otvory pro uchycovací svorníky a otvorem pro kabely elektroniky *(obr. 11)*.

Obr. 11: zpevňující podložka



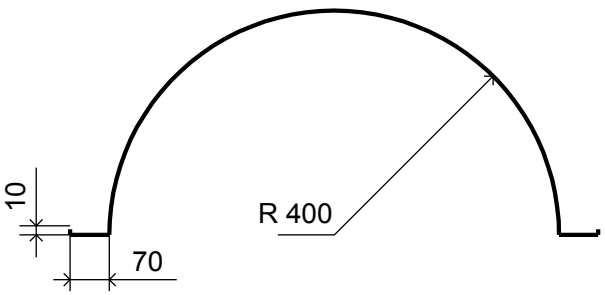
M 1:2

Spojení částí v jeden celek:

Plechy byly spojeny letováním měkkou pájkou. Tato pájka má obdobné složení, jako pájka určená k letování elektrotechnických součástek. Jen místo kalafuny se jako antioxidačního přípravku používá „klempířská vodička“ obsahující chlorid zinečnatý.

Nejprve byly k výběžkům horní a dolní části oblouku přiletovány úzké pásky určené k uchycení krycího plechu. To proto, že by se už po naletování vnitřního plechu do těchto míst s páječkou obtížně dostávalo. Poté byl přiletován vnitřní plech pro LED diody předem naohýbaný do tvaru patrného z *obr. 12*.

obr. 12: tvar naohýbaného vnitřního plechu úřed spájením



Do okraje vnější části již sletovaného oblouku byly vyvrtány otvory o průměru 2 mm pro samořezné šroubky k uchycení zadního krytu. Poloha otvorů byla vyznačena dulčíkem skrz otvory přiloženého krycího plechu, jak již bylo uvedeno výše.

Nakonec byl vzniklý celek finálně upraven. Nerovnosti na pájených a jiných hranách byly pilníkem vyhlazeny do roviny. Plech byl zbaven zbytků pájecí kapaliny, způsobující později korozi materiálu. Nakonec byl oblouk opatřen základovou barvou a černým vypalovacím lakem.

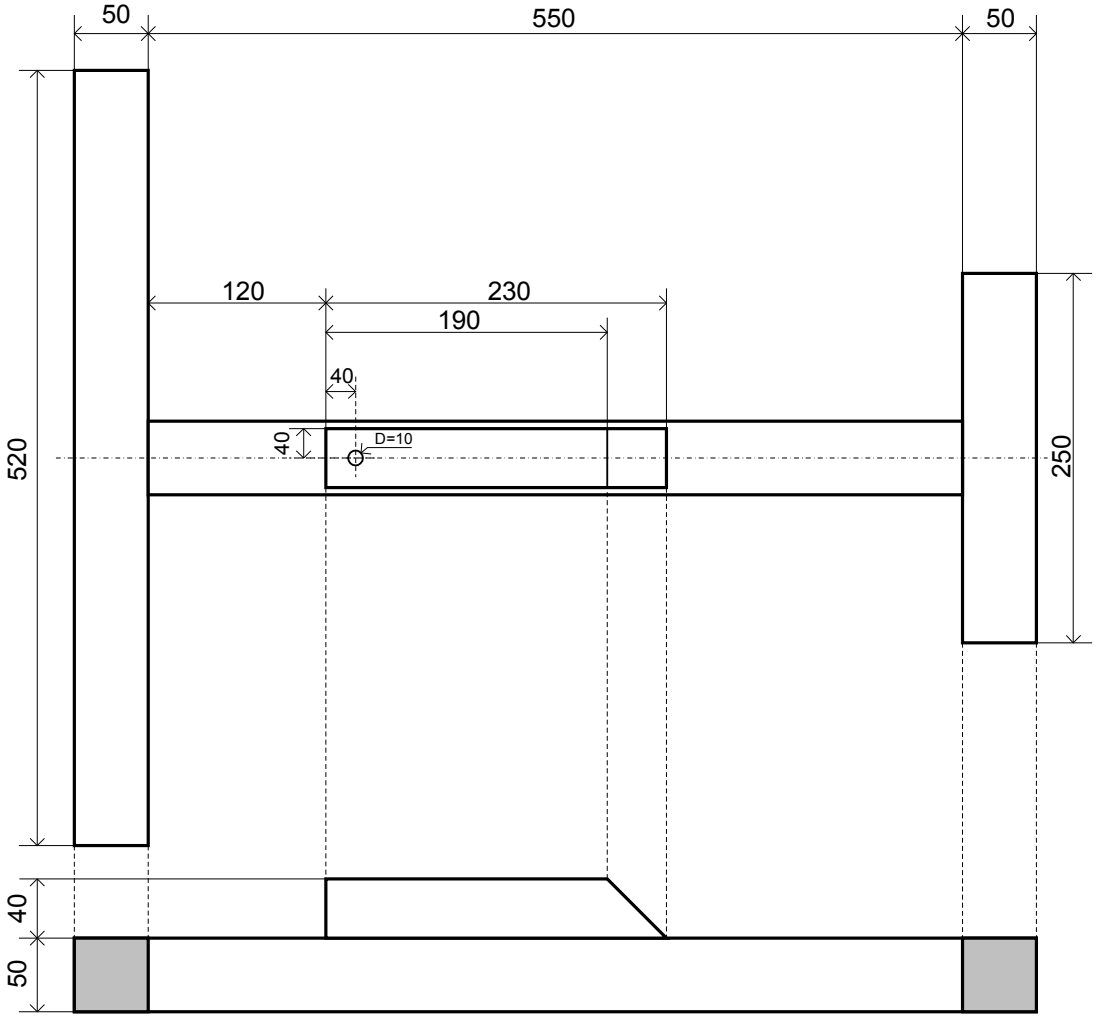
3.2.3. Realizace ramene a stojanu

Celý stojan s ramenem je svařen ze čtvercových profilů (jeklů) o délce strany 5 cm a tloušťce plechu 2 mm. Výjimkou je polohovací část o délce strany 4 cm a 3,5 cm. Celek se skládá ze základny připomínající tvarem písmeno T a posuvného ramene nesoucího krabičku s elektronikou s ovládacími prvky a vlastní oblouk s LED diodami.

Základna:

Nejprve byly z jeklu o profilu 5x5 cm uříznuty 2 kusy o délce 52 cm a 25 cm. Konce těchto jeklů byly zaslepeny přivařením čtverců plechu odpovídajícího rozměru. Do kratšího jeklu délky 25 cm byly ještě vyvrtány dva otvory pro připevnění headrestu a závitníkem do nich vyříznuty závity. Poté byl uříznut jekl o délce 55 cm. Jeho volné konce byly přivařeny doprostřed výše uvedených jeklů a vznikla tak jejich spojnice, tvořící zároveň podélnou osu celé základny. Nakonec bylo zhotoveno pouzdro pro zasunutí ramene a jeho polohování v podélném směru. Tvoří ho jekl 4x4 cm o délce 23 cm. Jeden konec byl ponechán dutý a druhý byl seříznut pod úhlem 45° a zaslepen (zkosení bylo provedeno z estetických důvodů). Do kratší strany vzniklého lichoběžníku 4 cm od dutého konce byl vyvrtán otvor pro aretační šroub opatřený závitem. Pouzdro bylo poté přibodováno ke spojnici (podélnému jeklu). Provedení celé základny je nejlépe patrno z *obr. 13.*

Obr. 13: půdorys a bokorys základny

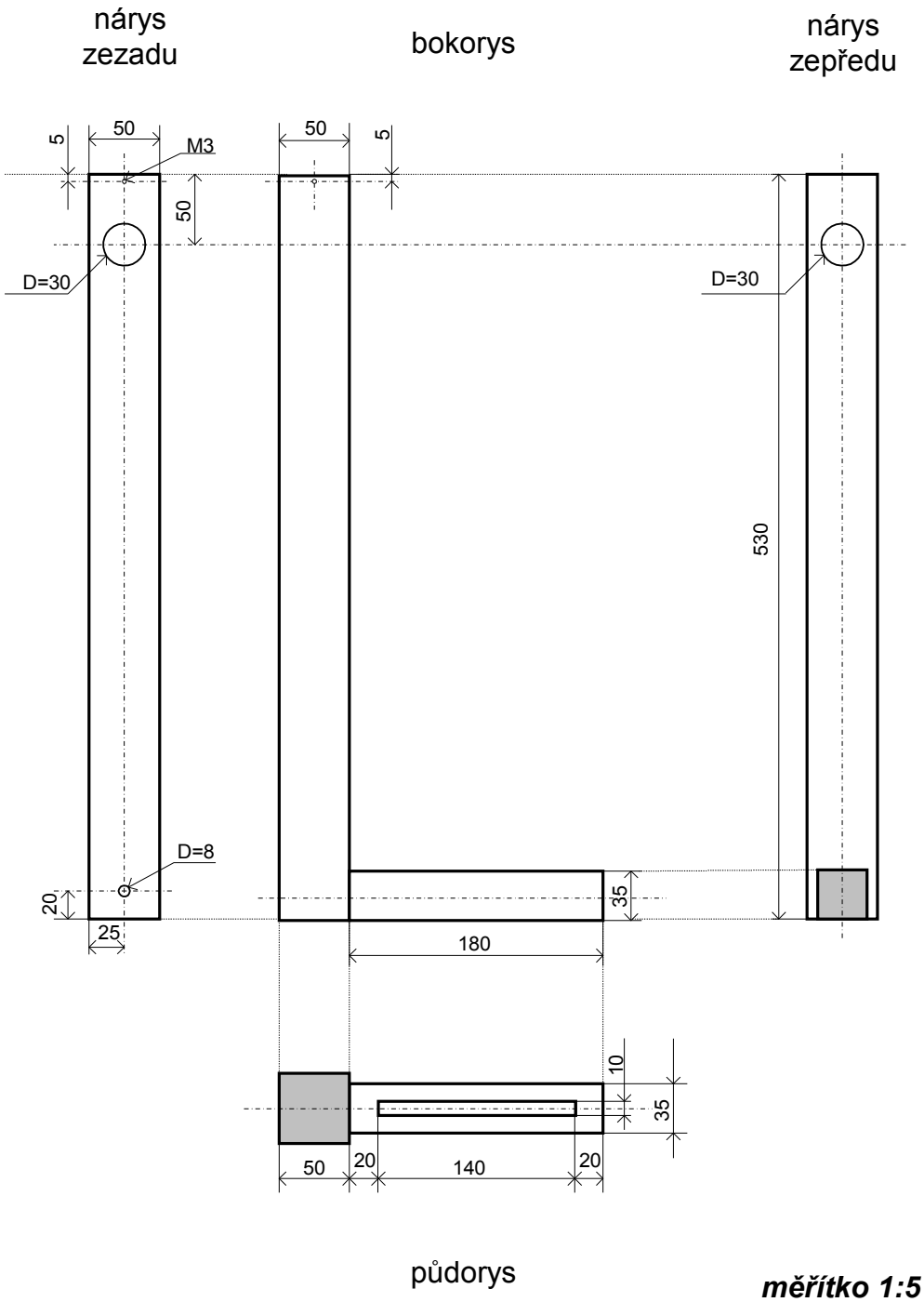


Rameno:

Rameno tvaru písmene L sestává ze dvou kolmo na sebe navařených jeklů. Jeho svislou část tvoří jekl 5x5 cm. V jeho horní části byl vyříznut velký otvor pro zasunutí a přivaření náboje otočného kloubu (v obou jeho protilehlých stěnách). Náboj je dutý a procházejí jím kabely od řídící elektroniky. V dolní části byl vyvrtán otvor pro upevnění napájecího konektoru. Dolní část zůstala nezaslepená. To je důležité kvůli případné výměně napájecího kabelu elektroniky či jeho konektoru. Navíc dolní část jeklu po sestavení není přístupná. Horní část jeklu byla později zaslepena víkem, které přesahuje na stranu a slouží tak zároveň k upevnění aretačního mechanizmu kloubu. Víko bylo k jeklu přišroubováno třemi šrouby.

Poté byl vyroben jekl určený k zasunutí do pouzdra základny. Vzhledem k vnitřnímu profilu pouzdra 3,6 x 3,6 cm musel být použit jekl profilu nepatrně menšího (3,5 x 3,5 cm) o délce 18 cm. V jedné stěně jeklu byl vyříznut dlouhý obdélníkový otvor, kterým po sestavení prochází aretační šroub. Poté byl přivařen kolmo k patě svislého jeklu. Celek zachycuje výkres na *obr. 14*.

Obr. 14: půdorys a bokorys ramene



měřítko 1:5

3.2.4. Realizace kloubu

Konstrukce kloubu je dobře patrná z řezu na *obr. 15*. Kloub se skládá ze dvou hlavních částí. Vnitřní (hřídele) a vnější (náboje), mezi nimiž je silonové futro jako třecí ložisko. Vnitřní část byla vyrobena osoustružením železné trubky, vnější vysoustružením z hliníkového kvádru. Do vnější části byly dále vyvrtány otvory pro uchycení k oblouku a pro západku aretačního mechanizmu.

Celý kloub byl později sestaven takto: Nejprve byla vnitřní železná část nasunuta do otvorů v rameni a přivařena. Na vyčnívající část byla nasunuta část vnější, hliníková, a do mezery mezi oběmi částmi bylo vtlačeno silonové futro. Vnější část byla proti vysunutí zajištěna segerovou pojistkou působící přes podložku na silonové futro. Ostatní drobné části viz *obr. 17.*

Držák aretačního mechanismu:

Držák je zhotoven ze stejného materiálu jako kloub - *obr. 16a*. Aretační mechanismus se zašroubuje do otvoru se závitem M18. Jeho správná výška vůči jamkám v kloubu, do kterých má zaskakovat aretační kolíček, se nastaví stavěcí maticí, která zároveň slouží k jeho pevnému dotažení v držáku.

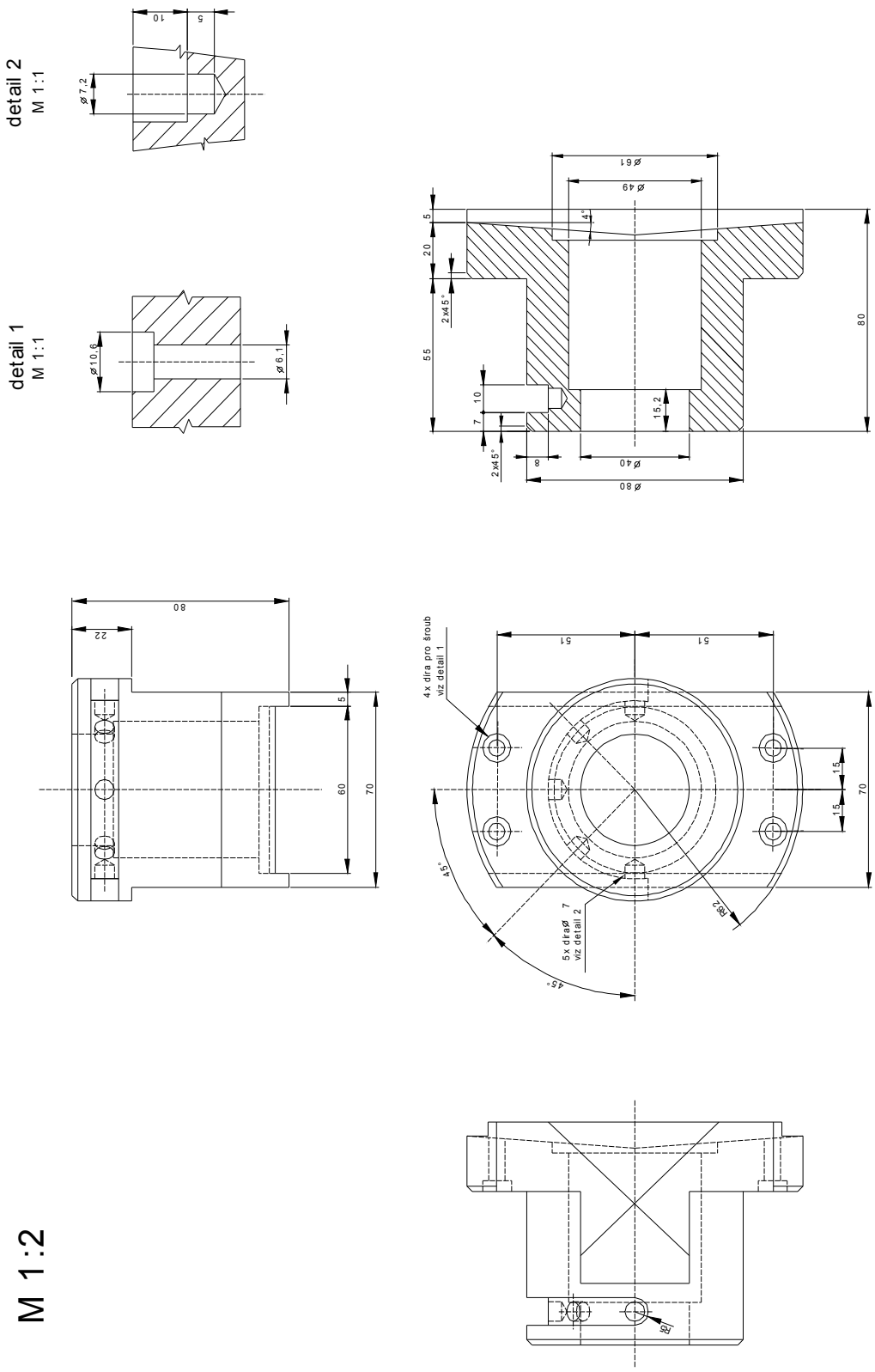
Aretační mechanismus:

Byl použit hotový výrobek z mosazi. V klidovém stavu pružina uvnitř tlačí kolíček do některé z jamek v kloubu. Pro změnu polohy kloubu je třeba překonat sílu pružiny a kolíček z jamky vytáhnout. Správnou polohu celého mechanismu a potažmo i kolíčku určuje stavěcí matice. Skutečná podoba mechanismu je nejlépe patrná z fotografie na *obr. 16b*, nebo z celkové fotografie sestaveného kloubu v příloze.

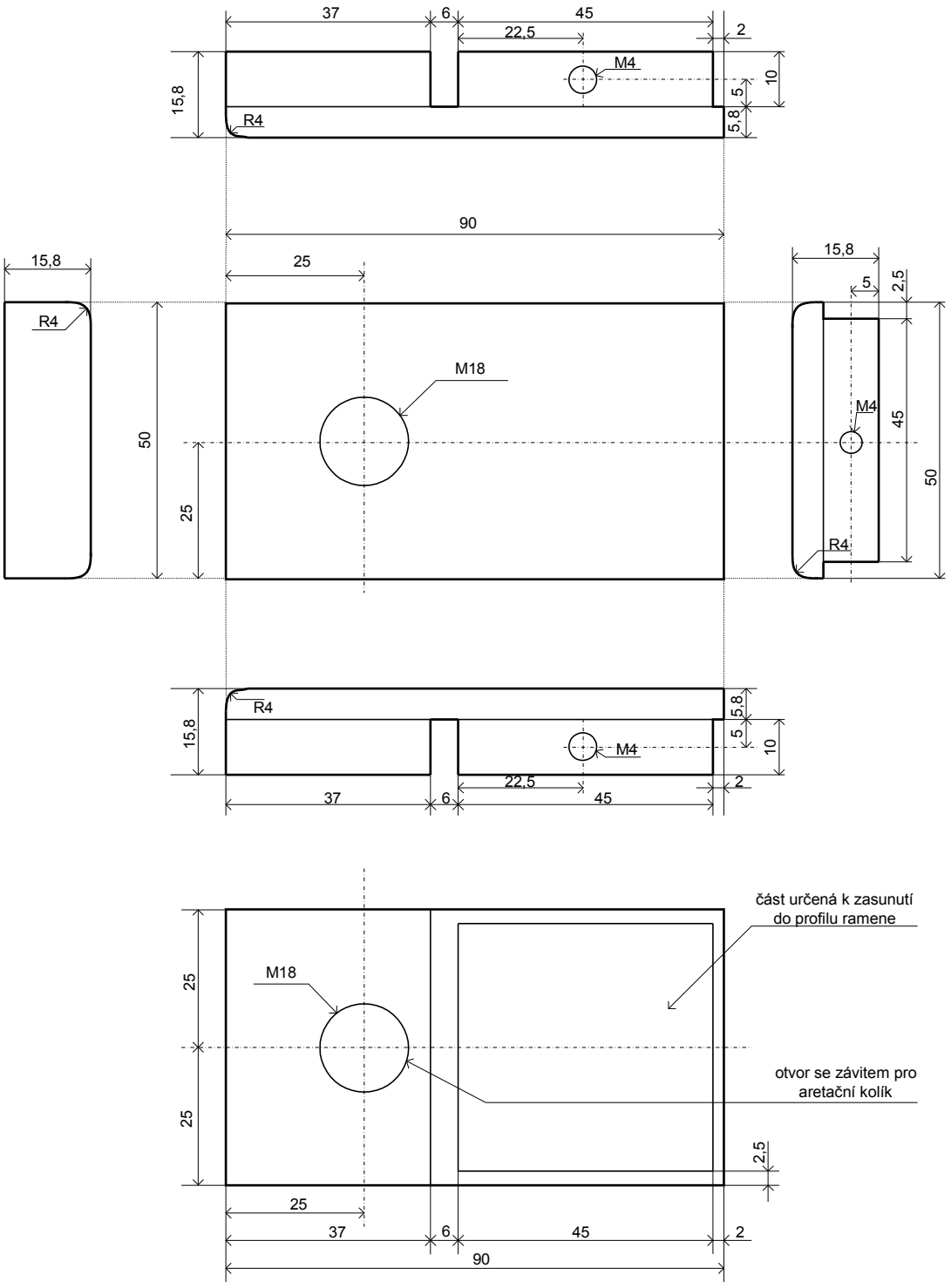
Finální úprava stojánku a kloubu:

Svary ramene a základny stojánku a ostatní hrany byly obroušeny do hladka a poté opatřeny základovým nátěrem a vypalovacím lakem stejné barvy jako u oblouku. Stejně byla ošetřena i vnější část kloubu a držáku aretace, jenom musela být použita základová barva pro hliník.

Obr. 15: kloub v řezu

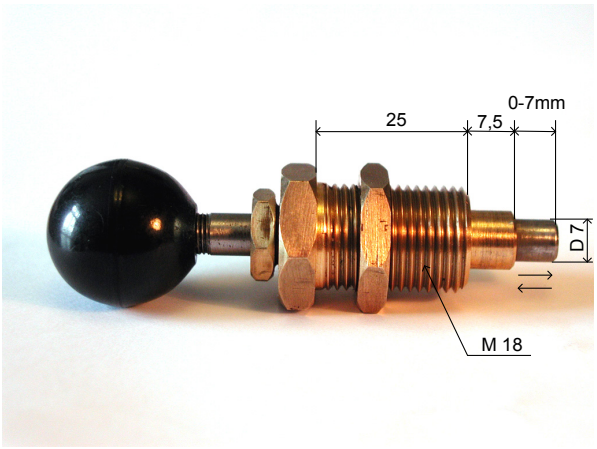


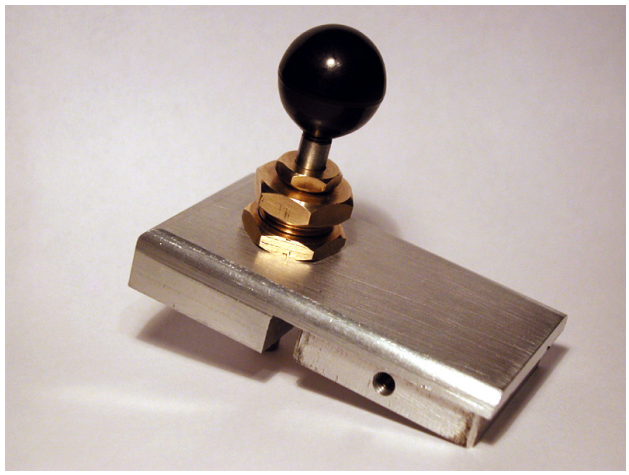
Obr. 16a: držák aretačního mechanismu



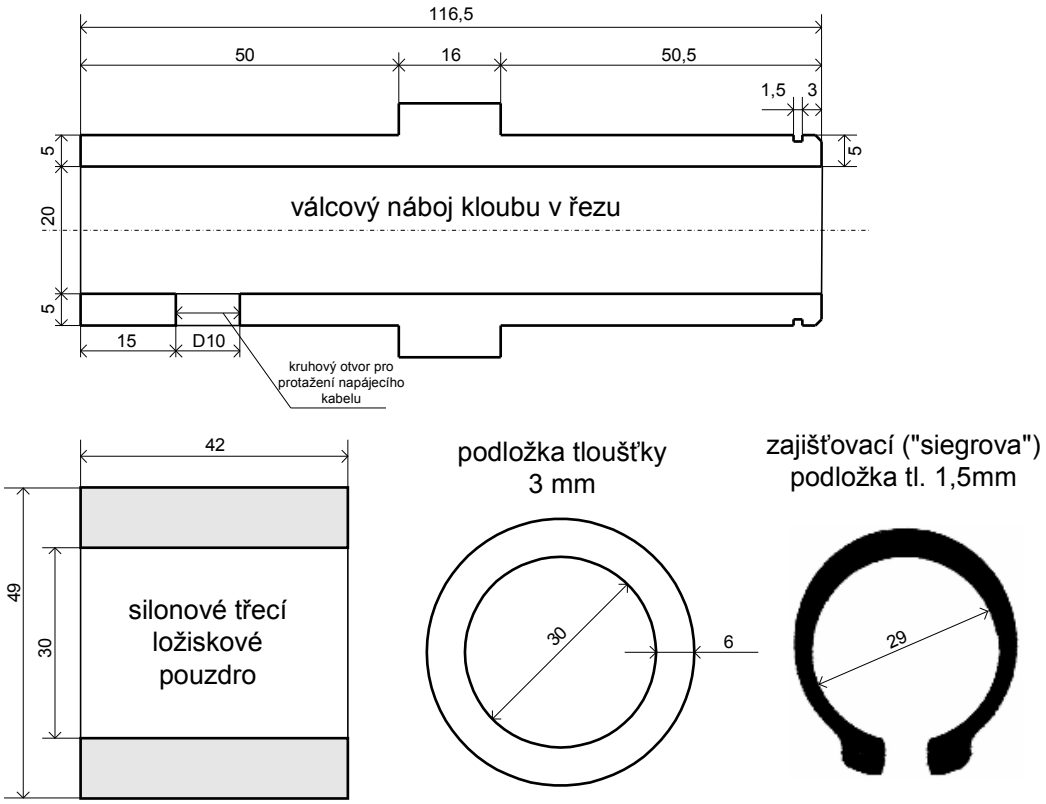
měřítko 1:1

Obr. 16b: aretační mechanismus





Obr. 17: zbylé komponenty kloubu



Měřítko 1:1

Kompletace jednotlivých mechanických částí

Montáž přístroje probíhala v několika krocích, přičemž pořadí některých nešlo prohodit. Z tohoto důvodu nešla montáž dokončit dříve, než byly vyhotoveny a osazeny všechny elektronické komponenty. Proto bude popsána ve zvláštní stati „celková montáž“, zařazené po popisu elektronických obvodů.

3.3. Elektrotechnická koncepce

Na základě požadavků na funkční možnosti přístroje se nabízelo více koncepčních variant. Muselo být zvoleno pokud možno jednoduché a zároveň spolehlivé řešení. Nakonec bylo použito zapojení využívající čítačů a logických hradel.

Nejprve bylo třeba shrnout požadavky na funkci a další vlastnosti elektroniky:

1) Přístroj musí umožňovat „pohyb“světelného bodu tam a zpět kolem daného středu, přičemž vždy svítí jen jedna led. dioda.
2) Rychlost pohybu má být regulovatelná.
3) Dráha světelného bodu, úhel světelné výseče, musí být regulovatelný v několika úrovních.
4) Přístroj musí dále umožňovat zastavení v libovolné poloze a opětovné rozběhnutí ze stejného místa. Díky této možnosti poslouží přístroj po ocejchování oblouku ve stupních jako jednoduchý perimetr. (Pacient nahlásí, když přestane vidět rozsvícenou diodu a to bude max. zorný úhel v dané rovině). Toto bude samozřejmě možné jen při malých rychlostech pohybu.
5) Vzhledem k nenáročnosti provedení byl výčet požadavků doplněn ještě o možnost plynule měnit úroveň jasu běžícího světla a tím i jeho kontrast vůči okolí, pro lepší přizpůsobení okolním světelným podmínkám a zrakovým možnostem pacienta.

3.3.1. Zapojení LED diod

Základní myšlenka, o kterou se pak opírá koncepce velké části zapojení, vznikla na základě toho, že nebylo třeba, aby svítila více jak jedna LED dioda ve stejný čas. Všech 91 diod bylo zapojeno do matice o 10 sloupcích a 10 řádcích, přičemž ve skutečnosti řádky nejsou pod sebou, ale jsou přeskupeny vedle sebe, tak aby byly diody mechanicky v jedné řadě. Patřičným adresováním tak lze docílit rozsvícení libovolné diody od 1 do 100, respektive v tomto případě jen do 91. V praxi to vypadá tak, že vždy do jednoho vybraného sloupce přivedeme napětí (v digitálním pojetí logickou 1) a ostatní sloupce zůstávají bez napětí (v logické 0). Obdobně zvolíme příslušný řádek matice, jen ho naopak musíme uzemnit (přivést na něj log. 0 a do ostatních log. 1). Tím je proudový okruh uzavřen a dioda ležící v průsečíku vybraného řádku a sloupce se rozsvítí - viz *(tab. 2)*. Tímto je redukován počet vodičů vedoucích od LED diod k desce elektroniky z původních nutných 92 na pouhých 20.

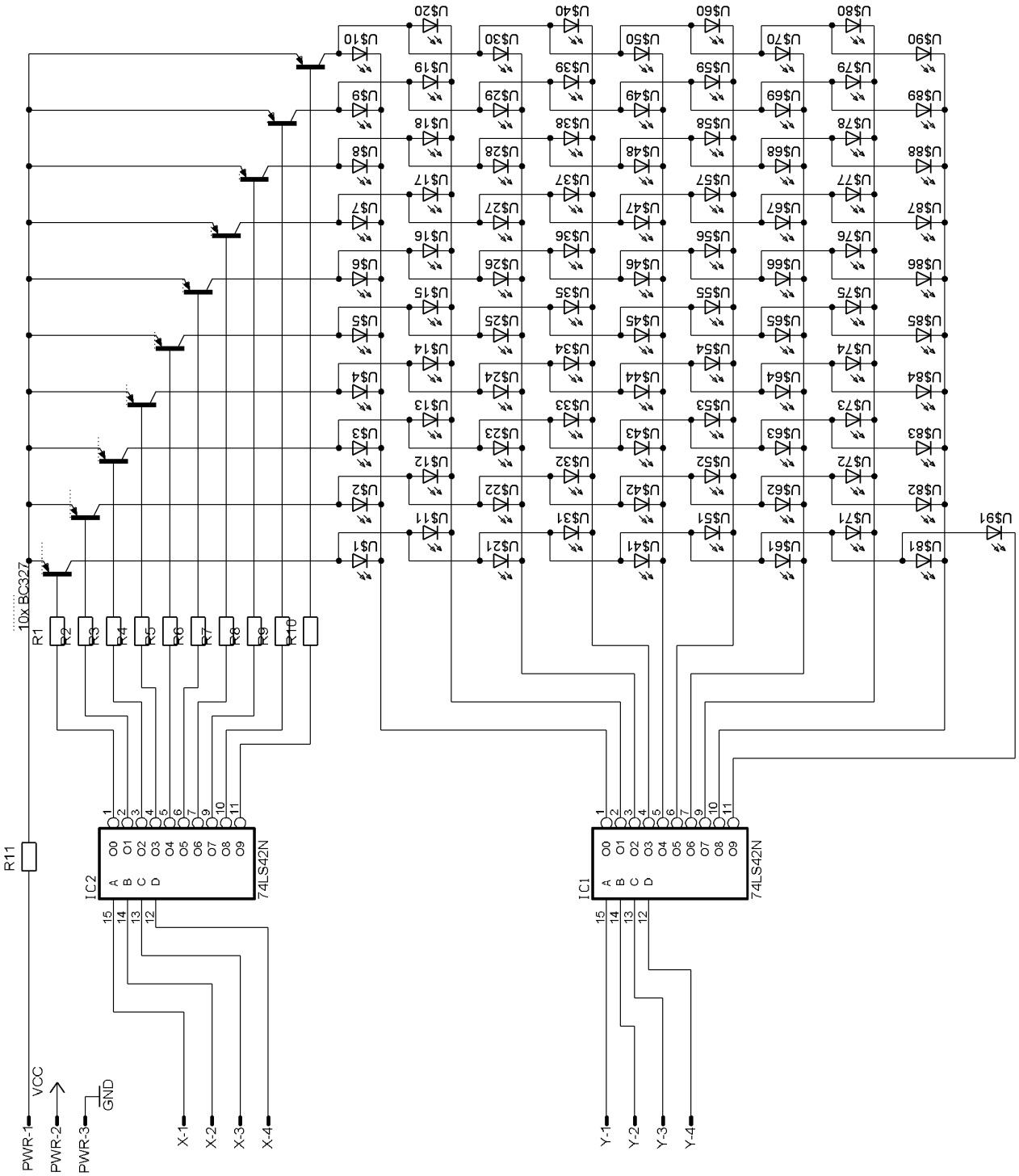
*tab. 2: „tabulka řádků a sloupců - Šedá oblast tabulky ukazuje polaritu napětí na anodách diod, ta je dána vztahem „**hodnota sloupce – hodnota řádku**“ (dioda svítí jen při kladné polaritě).“*

	sloupce	***x0***	***x1***	***x2***	***x3***	***x4***	***x5***	***x6***	***x7***	***x8***	***x9***
řádky	log. hodnota	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
y0	1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
y1	1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
y2	1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
y3	1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	
y4	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0
y5	1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
y6	1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
y7	1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
y8	1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
y9	1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-

3.3.2. Dekodér z BCD kódu na kód „1 z 10“

Vzhledem k tomu, že v oblouku s LED diodami není dostatek místa a ani by to nebylo z hlediska umístění ovládacích prvků vhodné, musí být elektronika umístěna mimo a propojena se soustavou diod pomocí kabelu. Ten však prochází středem otočného kloubu, kde dochází při natáčení oblouku ke zkrutnému namáhání kabelu a jsou zde i limity jeho průměru. Proto takový kabel musí mít co nejméně vodičů, odolných vůči mechanickému namáhání. Proto byla do prostoru oblouku umístěna malá destička nesoucí dva dekodéry, převádějící 4-bitovou adresu (0000 – 1001) na kód 1 z 10 (v tomto případě se konkrétně na jednom z 10 výstupů objeví log.0 a na ostatních log.1). Výstupy jednoho dekodéru jsou zapojeny přímo na vstupy řádků matice (katody LED diod). Tak je zajištěn výběr (uzemnění) řádku. Výstupy druhého dekodéru jsou zavedeny do bází tranzistorů PNP. Emitory všech tranzistorů jsou připojeny přes reostat sloužící k regulaci jasu a předřadný odpor ke kladnému pólu zdroje a kolektory jsou propojeny s jednotlivými anodami LED diod spojených do sloupců *(obr. 18)*. Tak je vyřešeno invertování signálů pro buzení sloupců matice, potřebné pro jeho výběr. Tímto byl redukován počet vodičů z 20 na 11 (8 datových, 2 napájecí a 1 k regulátoru jasu). Zároveň tak byla zajištěna univerzálnost, neboť k dekodéru lze připojit jak řídící elektroniku s TTL čítačovou logikou, tak i případné výstupy mikroprocesoru.

Obr. 18: „schema dekodéru“



Popis funkce:

Přivedeme-li například do dekodéru sloupců (X) adresu 0101 – dekadicky číslo 5 a do dekodéru řádků (Y) adresu 0100 – dekadické číslo 4, rozsvítí se dioda v 5. sloupci a 4. řádku, ve výsledku 45. dioda v řadě (bráno od nuly) respektive 46. bráno od jedničky. Tato dioda je mimochodem umístěna právě ve středu oblouku. Snížíme-li toto číslo, rozsvítí se některá dioda nalevo od ní a naopak. Adresa sloupce tedy vlastně určuje jednotky a adresa řádku desítky v hodnotě čísla určujícího pořadí rozsvícené led. diody. *(obr. 19)*

Obr. 19: „obrázek čísla s popisky X a Y“

	Y	X
pořadí (dekadické) →	**4**	**5**
hodnota na vstupech (binární) →	0100	0101

3.3.3. Vlastní řídící jednotka

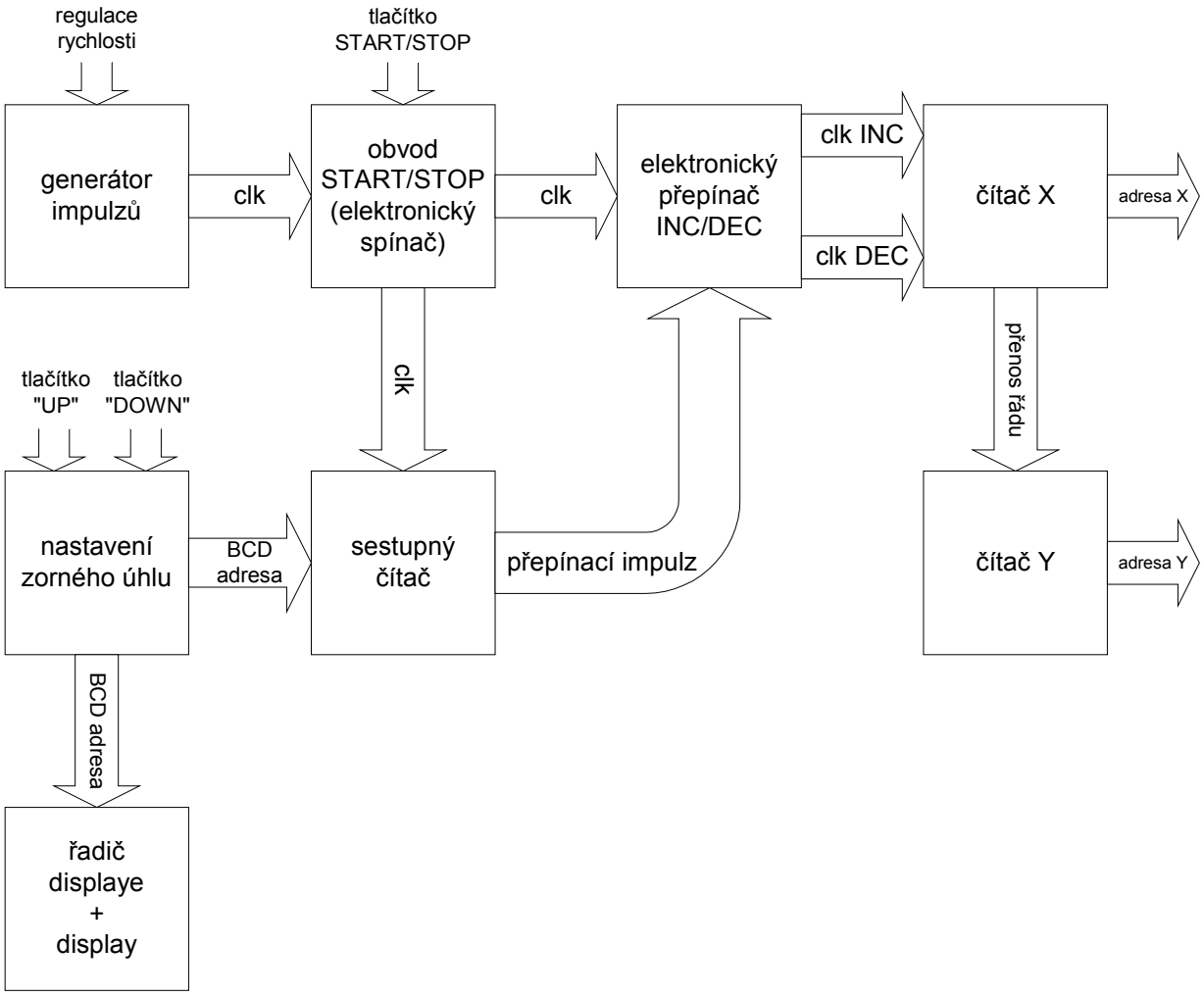
Základní popis funkce:

Základní myšlenkou celého zapojení je skutečnost, že pokud na vstupech dekodérů X a Y zvyšujeme adresu, vyvolá to pohyb světla doprava a při snižování adresy naopak. Toho dosáhneme použitím tzv. čítačů, obvodů které na základě vstupních impulsů zvyšují výstupní adresu . (Pokud např. přivedeme na čítač 3 impulzy, bude výsledná výstupní adresa vyšší o 3). Aby byl pohyb plynulý a navazující, musí napřed počítat čítač X (od 0 do 9) a při přechodu na začátek cyklu (z 9 do nuly) přenést 1 impuls do čítače Y. Tak dojde na tomto druhém čítači ke změně z 0 na 1. Tohoto přenosu řádu řešíme zapojením čítačů do kaskády. Kdyby takhle trvalo čítání dál, nakonec by světelný bod docestoval až nakonec oblouku k 91. diodě. Pak by na 9 zbývajících cyklů zmizel a objevil by se zase na začátku (čítače by začaly pracovat zas od 0). Čítače zde použité jsou však vybaveny také vstupem pro odčítání a tak, když přivedeme impulsy na tento vstup, dojde ke změně směru. Pokud k tomuto přepínání bude docházet ve vhodnou chvíli, nastane námi požadovaný jev oscilace kolem střední hodnoty. Rychlost pohybu světelného bodu závisí na frekvenci impulsů vstupujících do čítače a dráha (úhel výseče) na intervalu přepínání.

Blokové schema:

Pro zjednodušení byly vynechány doplňující obvody zajišťující požadovanou funkci přístroje a přednastavení čítačů, jakož i podpůrné obvody - *(Obr. 20).* Podrobnější popis bude uveden dále, při celkovém popisu zapojení.

Obr. 20: „zjednodušené blokové schema“



Prvním blokem je generátor obdélníkových impulsů, jejihž frekvence je řízena analogově potenciometrem. Z generátoru impulsů jde signál přes vypínací start/stop obvod, složený z elektronického vypínače a bezzákmitového tlačítka (aby nedocházelo k registraci falešných impulsů, vznikajících na mechanických kontaktech tlačítka). Za tímto obvodem je signál dál rozveden do přepínacího obvodu a zároveň do sestupného čítače. Sestupný čítač funguje tak, že snižuje hodnotu přednastavené vstupní adresy směrem k 0. Po dokončení tohoto cyklu vyšle impuls do přepínacího obvodu. Hodnota této přednastavené vstupní adresy se nastavuje dalším čítačem, jehož výstupní adresu lze nastavit krokováním nahoru nebo dolů. To je zajištěno pomocí bezzákmitových tlačítek

připojených na jeho vstupy (INC – inkrementující, zvyšující adresu a DEC – dekrementující, snižující adresu). Hodnota této adresy je zobrazována na displeji. Funkce přepínače INC/DEC je taková, že na základě úrovně řídícího impulsu (ze sestupného čítače DEC) buď zavede signál z generátoru do vstupu INC nebo DEC čítače X. Čítač X je propojen s čítačem Y do kaskády. Vzniká tak vlastně jeden 8-bitový čítač propojením dvou 4-bitových. Kvůli organizaci led. diod do matice 10x10, musí být tyto čítače dekadické, aby po honotě 9 následovala 0 a ne další, již neexistující řádka či sloupec. Zároveň čítač pro nastavení zorného úhlu musí být dekadický, aby zbytečně nešly nastavovat nežádoucí hodnoty 10 - 15 .

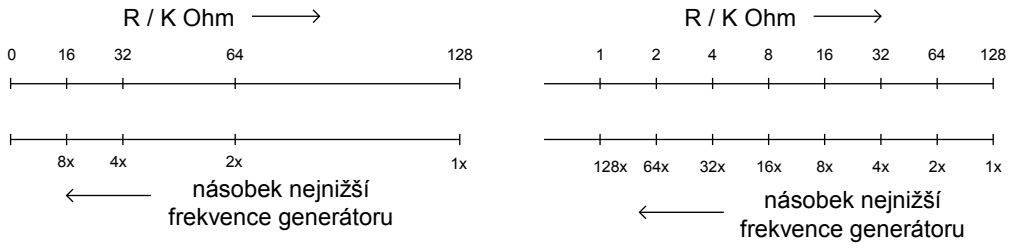
3.3.4. Podrobný popis zapojení

Generátor impulsů:

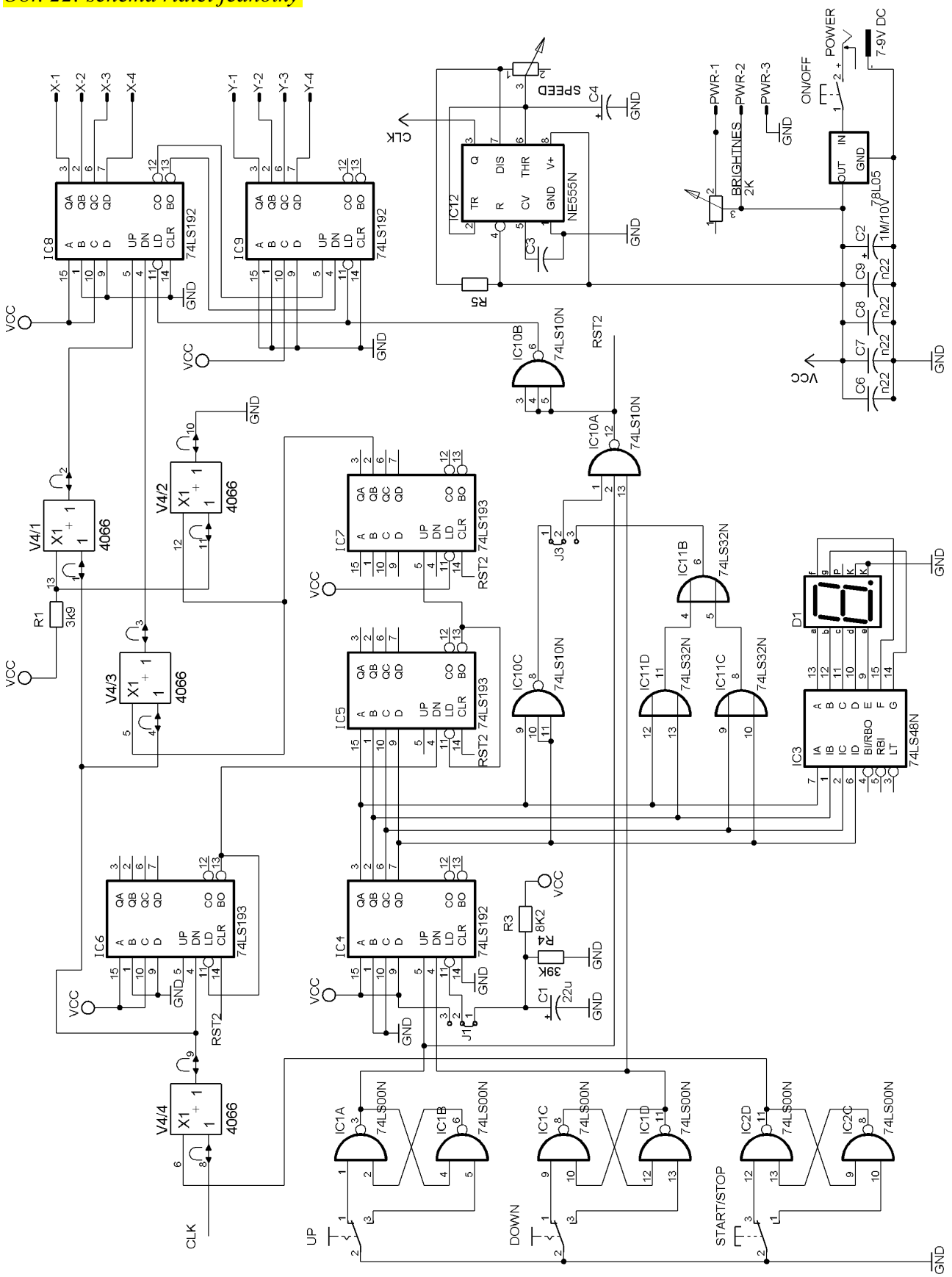
Jako generátor obdélníkových impulsů byl použit osvědčený časovač NE555 v doporučeném zapojení pro režim generátor (obvod se vyznačuje velikou univerzálností a lze jej zapojit též jako logické hradlo, zesilovač, komparátor apod.). Frekvence generátoru závisí na poměrech velikostí odporů R5 a potenciometru „speed“ a na hodnotě kapacity C4. Vzájemným poměrem R5 a C4 a rozsahem potenciometru bylo dosaženo vhodného rozsahu nastavitelných frekvencí – rychlostí pohybu světelného bodu. Vzhledem k potřebě plynulé a lineární regulace rychlosti byl použit potenciometr exponencielní charakteristiky zapojený jako reostat. Pokud by průběh odporu byl lineární, měnila by se rychlost logaritmicky. (Při zmněně hodnoty odporu na polovinu se změní frekvence generátoru přibližně 2x a naopak). Proto je potřeba tento průběh kompenzovat exponenciálním průběhem potenciometru. Z *obr. 21* je nejlépe patrné, proč tomu tak je.

Úroveň logické jedničky obdélníkového impulsu je blízká napájecímu napětí a hodnota napětí log. nuly se blíží 0V. Vzhledem k stabilnímu napájecímu napětí +5V tyto úrovně vyhovují požadovaným hodnotám úrovní pro vstupy TTL logiky.

Obr. 21: Vlevo potenciometr s lineárním průběhem – rozložení nastavitelných rychlostí je silně nelineární. Napravo potenciometr s exponencielním průběhem.



Obr. 22: schéma řídící jednotky



Elektronický spínač START/STOP:

Byl využit integrovaný obvod 744066 obsahující celkem 4 elektronické spínače. Signál prochází při log. 1 na řídícím vstupu X1. Při log. 0 je cesta signálu přerušena. Řídící signál vychází ze Schmittova klopného obvodu ovládaného přepínacím tlačítkem s aretací ve zmáčknutém stavu (stav STOP). Pro návrat do nezmáčknutého stavu je třeba tlačítko opakovaně zmáčknout. Tak bylo dosaženo ovládání START/STOP jedním tlačítkem bez potřeby dalšího klopného obvodu.

Bezzákmitové tlačítko:

U jakéhokoliv mechanického spínače vzniká v určité míře zakmitávání pohyblivých součástí, případně i k drobnému jistkření mezi kontakty. Následkem toho se obvod několikrát spojí a zas rozpojí než dojde k již neměnému stavu. Kdybychom takovým spínačem rozsvěceli například svítivou diodu, těžko pouhým okem tyto impulsy zaregistrujeme, odehrávají se příliš rychle za sebou a po krátkou dobu. Pro čítače impulsů jsou však dobře detekovatelné a způsobovaly by nechtěné čítání nahoru nebo dolů. V případě mikroprocesoru lze korigovat zařazením časové prodlevy (doby po kterou není vstup procesoru citlivý na změnu stavu) po prvním impulsu. Toto bezprocesorové zapojení ale muselo být doplněno o zvláštní obvod.

Obvod bezzákmitového tlačítka je složen ze dvou logických hradel typu NAND zapojených do Schmittova klopného obvodu. Funkce je vysvětlena na obvodu tlačítka START/STOP, na celkovém schematu patrném vlevo dole:

V rozepnutém stavu je přepínač v poloze 2-3. Na vstup 12 hradla IC2D je tedy přivedena log. 0. Podle pravdivostní tabulky *(tab. 3)* pro hradlo NAND musí být tedy na jeho výstupu 11 log. 1, ať už je na druhém vstupu cokoliv. Vzhledem k tomu, že výstup 11 je zapojen na vstup 9 hradla IC2C a vstup 10 zůstává nezapojen (nezapojený vstup se chová jako vstup v log. 1), je va výstupu 8 dle pravdivostní tabulky log. 0. Výstup 8 je zapojen na vstup 13 hradla IC2D. A co se stane, pokud začneme mačkat tlačítko? Na chvíli nastane přechodná fáze, kdy je rozpojen kontakt 2-3 i 2-1. V tuto chvíli je na vstupu 12 sice už log. 1, ale na vstupu 13 stále zůstává log. 0 a výstupy jsou tedy stále ve stejném stavu. Změna nastane až když se dotknou kontakty 2-1. Na vstupu 10 2. hradla bude log. 0 a výstup se tedy překlopí do log. 1. Na obou vstupech 1. hradla bude teď log. 1 a jeho výstup se tedy překlopí do 0. Pokud dojde k zakmitnutí tlačítka mezi jednou polohou přepínače a jeho přechodnou fází, výstupy hradel zůstávají na stejné hodnotě.

Tab. 3: pravdivostní tabulka hradla NAND

vstup A	vstup B	výstup
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Elektronický přepínač INC/DEC:

Na základě požadovaného pohybu světla zleva doprava a naopak je třeba adekvátně přivádět impulsy z generátoru do vzestupného (INC) nebo sestupného (DEC) vstupu čítače X. Toho by bylo možné dosáhnout za pomoci speciálního obvodu, demultiplexoru. Demultiplexor přepíná jeden vstup do více výstupů, multiplexor naopak. Vzhledem k pouhým dvěma výstupům by použití specializovaného obvodu bylo zbytečné. Obvod byl nahrazen třemi elektronickými spínači (na schematu nahoře uprostřed), které zbyly nevyužity v pouzdru 744066, použitém pro tlačítko START/STOP. Signál je zaveden paralelně do dvou el. spínačů (vstup 1 a 4), jejichž výstupy jsou vyvedeny do vstupů UP a DOWN (INC a DEC) čítače X. Jeden spínač je ovládán přímo signálem z výstupu B čítače IC7 a druhý je zapojen přez zbylý spínač, vykonávající funkci invertoru. Pokud je na výstupu B logická 1, spínač „4/3“ bude sepnut a propustí impulzy do vstupu DOWN čítače X. Zároveň bude sepnut spínač „4/2“, přes který se uzemní řídící vstup spínače „4/1“ připojený přes odpor R1 k napájecímu napětí. Na jeho řídícím vstupu 13 se tedy objeví log. 0 a spínač bude rozpojen. V opačném případě, když bude na výstupu B čítače IC7 log. 0, budou spínače 4/3 a 4/2 rozpojeny a vstup spínače 4/1 bude přes odpor R1 v log.1. Signál z generátoru tak bude přiveden přes tento spínač do vstup UP čítače X.

Čítače X a Y:

Bylo použito dvou dekadických asynchronních čítačů 74192 v provedení LS, vyznačujících se oproti obyčejnému provedení nižší spotřebou a větší rychlostí odezvy (na schematu *obr. 22* vpravo nahoře). Tento obvod disponuje čtyřmi TTL výstupy (QA,QB,QC,QD), negovanými výstupy pro přenost řádu (CO – „carry on“ vyšle impuls při přechodu čítače z 9 do 0 při čítání směrem nahoru, BO - „borow“ naopak při přechodu z 0 do 9, při čítání směrem dolu). Vstupy čítače jsou:

UP – pro čítání směrem nahoru

DOWN – pro čítání směrem dolu

CLR – reset obvodu aktivní v log. 1 (pokud je aktivní, dojde k vynulování stavu čítače a jeho zablokování).

ABCD – programovatelné vstupy. Lze na nich přednastavit jinou, nenulovou, výchozí adresu čítače.

LD – nastaví čítač podle přednastavené adresy na vstupech ABCD. Je aktivní v log. 0.

Čítače pracují v asynchronním režimu, což znamená, že registrují impuls, ať přijde v jakoukoliv dobu. Zároveň je důležité připomenout, že reagují na náběžnou (vzestupnou) hranu impulsu. Na přechod 0 – 1. S tím muselo být při návrhu zapojení počítáno. Proto byly vzaty v úvahu katalogové [6] funkční diagramy použitých typů čítačů.

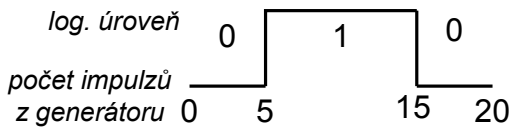
tab. 4: Pravdivostní tabulka dekadického a šestnáctkového čítače:

	Dekadický (74192)						Šestnáctkový (74193)				
Impulz č.	D	C	B	A	dekadicky		D	C	B	A	dekadicky
	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1		0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	2		0	0	1	0	2
3	0	0	1	1	3		0	0	1	1	3
4	0	1	0	0	4		0	1	0	0	4
5	0	1	0	1	5		0	1	0	1	5
6	0	1	1	0	6		0	1	1	0	6
7	0	1	1	1	7		0	1	1	1	7
8	1	0	0	0	8		1	0	0	0	8
9	1	0	0	1	9		1	0	0	1	9
10	0	0	0	0	0		1	0	1	0	10
11	0	0	0	1	1		1	0	1	1	11
12	0	0	1	0	2		1	1	0	0	12
13	0	0	1	1	3		1	1	0	1	13
14	0	1	0	0	4		1	1	1	0	14
15	0	1	0	1	5		1	1	1	1	15
16	0	1	1	0	6		0	0	0	0	0
17	0	1	1	1	7		0	0	0	1	1
18	1	0	0	0	8		0	0	1	0	2

Čítače jsou zapojeny za sebou do kaskády, čímž je zajištěno rozšíření na 100 možných hodnot výstupní adresy a pole 91 diod je pokryto s rezervou. Výstupy pro přenost řádu čítače X jsou zapojeny do vstupů čítače Y (CO – UP, BO – DOWN). Přednastavitelné vstupy čítačů jsou nastaveny tak, aby oba dohromady dávaly adresu 45 (rozsvícená 46. dioda uprostřed). Oba vstupy LD, zajišťující načtení přednastavených adres, jsou spojeny paralelně a připojeny na výstup hradlové logiky. V případě potřeby je tak zajištěno vystředění světelného bodu.

Sestupný čítač – přepínání UP/DOWN:

Pro návrh zapojení bylo nejprve zapotřebí si uvědomit, jaká je vlastně dráha světelného bodu. Pro požadavek zorného úhlu 10° (nejmenšího co lze na přístroji nastavit) se musí postupně rozsvěcet 5 led diod od středu směrem doprava, poté 10 diod směrem doleva přes střed a dále 5 diod opět doprava zpět do středu. Pokud se toto bude neustále opakovat, bude světlo cyklicky oscilovat kolem středu. Z výše popsané funkce přepínacího obvodu je jasné, pro pohyb doprava musí být na jeho vstupu log.0 a pro pohyb vlevo log.1. Průběh řídícího signálu pro jednu oscilaci kolem středu by potom vypadal takto: *(Obr. 23)*



Je tedy zřejmé, že nejkratší možná změna úrovně řídícího impulsu je právě 5 impulsů z generátoru. Proto se hned za výstupem ze spínače START/STOP signál rozděluje do 2 větví. Jedna vede beze změny do přepínače UP/DOWN a druhá na vstup DOWN čítače IC6, zapojeného jako dělička 5. Toho je dosaženo tak, že na vstupech přednastavení je nastaveno číslo 5 a signál je odebírán z výstupu BO, propojeného s LD.

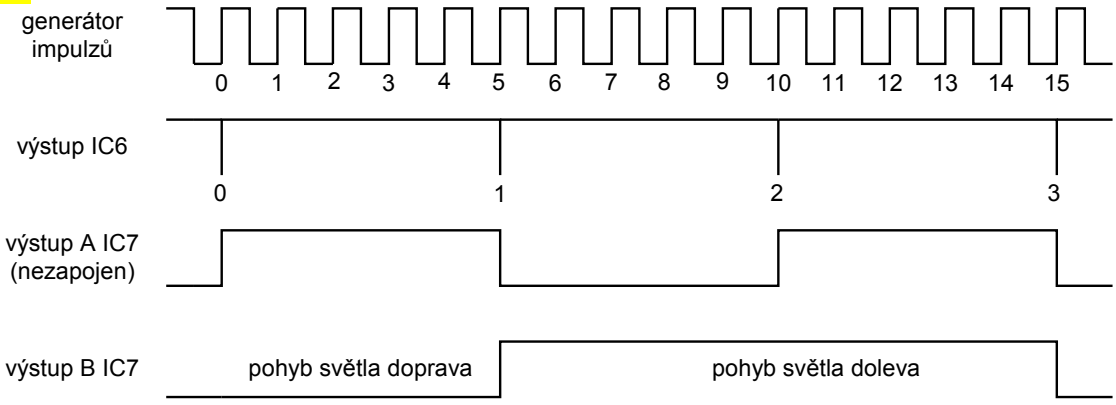
Popis funkce IC6: Po zapnutí je čítač nastaven na 0. 1. impuls na vstupu DOWN vyvolá „podtečení“ čítače a na výstupu BO se objeví krátký negovaný impuls, který nastaví přez vstup LD číslo 5. Od tohoto čísla je pak v dalších cyklech generátoru odečítáno celkem 5x, než se dostane zpět do 0 a dojde k dalšímu podtečení, k dalšímu impulsu na BO.

Signál z výstupu BO obvodu IC6 je dále přiveden na vstup DOWN dalšího čítače (IC 5). Jeho zapojení i funkce je obdobná jako u IC6 s tím rozdílem, že jeho přednastavitelná adresa není nastavena na pevno, ale lze ji měnit od 0 do 9. Funguje tedy jako programovatelná dělička a její funkce se s děličkou IC6 násobí. Nastavíme-li na vstupech IC5 adresu 0, impuls z IC6 se přenese na výstup IC5 (dělení je tedy stále pěti). Nastavíme li však na vstupech adresu 1, celkový dělitel je 10.

Nastavíme-li 2, je to 15... až 8, což je 45 – konec řady světelných diod bráno od prostředka. Tak je v 9 skocích pokrytý celý rozsah možných změn úhlu světelné výseče. Zbývající 10. možnost (číslo 9) je využita pro rozsvícení jediné, střední diody.

Signál z IC5 však stále nemá požadovaný průběh patrný z *obr. 23* vhodný pro řízení přepínacího obvodu. K jeho úpravě slouží další čítač IC7 zapojený klasicky. Signál je přiveden na vstup UP a je odebírán z výstupu B. Ostatní vývody až na povinné napájení a RST nejsou zapojeny. Z *obr. 24* je patrno, jak se chovají výstupy děličky IC6 a tohoto čítače IC7 v případě, že je na IC5 nastavena 0. Po zapnutí je čítač IC7 vynulován. Na výstupu B, zapojeném na přepínač směru, je log. 0, čítače X,Y jsou tedy nastaveny pro pohyb světla doprava. První náběžná hrana z generátoru provede podtečení obou děliček, dostane se na vstup IC7 a provede změnu výstupu A na log.1. Výstup B je však stále v nule. Poté následuje 5 impulsů, světelný bod se posouvá vpravo. Poslední z nich však opět způsobí podtečení děliček a nastaví výstup A IC7 zpět na 0. Zároveň se však změní hodnota výstupu B na 1 a přepínač směru je nastaven doleva. Následuje dalších 10 impulsů, po které je B stále v log.1 a světelný bod se posouvá vlevo. Na dalších 10 impulsů se směr opět obrátí atd. Důležité je, aby čítač IC7 byl šestnáctkový a ne dekadický! - Nuly a jedničky na výstupu B se musí pravidelně střídat, aby nedošlo k posunu středu světelné výseče (Viz tab. 4, sloupec B)

Obr. 24:

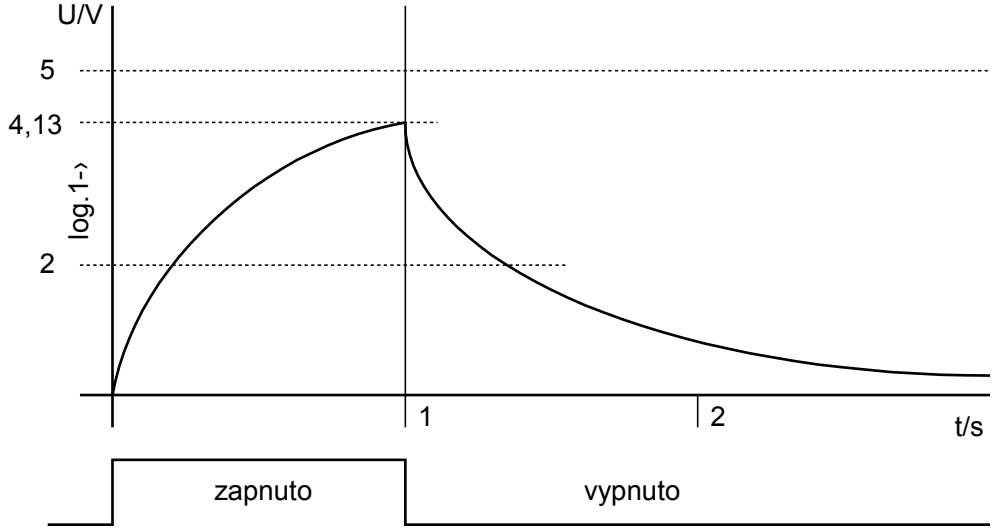


Nastavení úhlu světelné výseče (zorného úhlu):

Pro nastavení zorného úhlu slouží dekadický čítač IC4, jehož výstupy jsou připojeny na přednastavitelné vstupy sestupného čítače IC5. Adresa na těchto vstupech se nastavuje dvěma bezzákmitovými tlačítky, připojenými na vstupy UP a DOWN čítače. Tak lze nastavit libovolné číslo 0-9 krokováním nahoru a dolů. Po zapnutí přístroje se pomocí nabíjecího obvodu R3, R4, C1 podrží vstup LD na chvíli v log. 0 a proběhne načtení pevných předvoleb na vstupech ABCD.

(Obr. 25) znázorňuje průběh napětí na vstupu LD IC4 - nabíjecí a vybíjecí křivka kondenzátoru. LD je aktivní v log.0. Jen asi 100 ms po zapnutí, dokud napětí na kondenzátoru nepřekročí cca 2 V, dolní hranici log.1. Napětí stoupá jen na hodnotu 4,13 V danou poměrem hodnot odporů v děliči. Po vypnutí je kondenzátor pozvolně vybíjen přes odpor R4, aby byl za několik sekund opět schopen provést „load“ při případném opětovném zapnutí. Tak je po zapnutí nastaveno na tomto čítači číslo 9. V tomto režimu svítí jen LED dioda uprostřed oblouku a je brán jako výchozí stav. Jistě by bylo logičtější použít pro výchozí stav číslo 0. Potom by však nebylo možné nastavit nejmenší možnou výchylku 10, ale 15° a při čísle 9 by světelný bod na konci oblouku na chvíli zmizel, protože by se rozsvěcely neexistující diody. Protože však nebylo zpočátku jasné, jaká volba bude vhodnější, zůstala v zapojení i tato možnost, nastavitelná pomocí jumperů na řídící desce.

obr. 25: průběh napětí na vstupu LD IC4 při zapnutí nebo vypnutí přístroje



Zobrazení nastavené hodnoty úhlu světelné výseče:

Výstupy tohoto čítače IC4 jsou připojeny přes dekodér na display, jak je patrno na schématu dole uprostřed. Bylo použito sedmisegmentového jednomístného displeje se společnou katodou a odpovídající dekodér z BCD kódu na sedmisegmentový. Předřadné odpory k jednotlivým segmentům jsou již součástí integrovaného obvodu 74LS48.

Vyhodnocovací logika pro nastavení výchozího stavu čítačů a středu světelné výseče:

Aby při přenastavení úhlu světelné výseče nedošlo k posunutí jejího středu, musí se při každé změně zároveň vynulovat adresy dělicích čítačů i čítače IC7 a na čítačích X a Y nastavit střední adresu 45. Toho je dosaženo pomocí dvou třívstupových hradel NAND. Aby byla na výstupu takového hradla log.0, musí být na všech vstupech log. 1 – viz pravdivostní tabulka *(tab. 5)*. Jinými slovy, stačí jedna 0 na jakémkoliv vstupu, aby byla na výstupu log. 1, která způsobí vyresetování čítačů IC5, IC6 a IC7. Zároveň je tento výstup přes invertor zapojen na vstupy LD čítačů X a Y, kde tak ve stejnou dobu dojde k nastavení adresy 45. Invertor byl vytvořen spojením všech 3 vstupů hradla IC10B. Vstupy hradla IC10A jsou přivedeny k výstupům bezzákmitových tlačítek pro nastavení úhlu. Zde jsou v klidu log.1, při zmáčknutí log.0. Po dobu zmáčknutí tlačítka je tedy světelný bod vždy uprostřed výseče. Poslední vstup IC10A je připojen na výstup posledního třívstupového hradla NAND (použitý obvod 7410 obsahuje 3 tyto hradla) nebo, při přehození propojky, na výstup IC11B hradla OR. Hradlo IC10C je totiž zapojena tak, aby na jeho výstupu byla log. 0 pouze při nastaveném čísle 9. Jeho vstupy jsou připojeny na výstupy A a D nastavitelného čítače, kde jsou právě při 9 log. 1. (9 – 1 0 0 1) . Vstupy dvou dvouvstupových hradel OR jsou připojeny na výstupy ABCD téhož nastavitelného čítače. Nuly na obou výstupech hradel jsou pouze v případě všech 0 na čítači (0 – 0 0 0 0) a jedině tehdy je 0 také na celkovém výstupu 6 hradla IC11B (viz *tab. 5*).

Tab. 5:

Hradlo NAND						Hradlo OR			
vstupy	A	B	C	výstup Y		vstupy	A	B	výstup Y
	0	0	0	1			0	0	0
	0	0	1	1			0	1	1
	0	1	0	1			1	0	1
	0	1	1	1			1	1	1
	1	0	0	1					
	1	0	1	1					
	1	1	0	1					
	1	1	1	0					

Napájení:

Pro odzkoušení celého zapojení na nepájivém kontaktním poli byly využity staré integrované obvody Tesla MH74xx, vyznačující se velkou spotřebou proudu. Celá elektronika tak odebírala skoro 600 mA a produkovala poměrně značné množství tepla. Pro finální konstrukci byly proto použity obvody řady 74LSxx a 74HCTxx, což snížilo proudové nároky na méně než 200 mA.

Pro stabilizaci napětí byl použit stabilizátor 7805 vyznačující se úbytkem napětí cca 1,5 V a tedy i velkým ztrátovým výkonem (produkcí tepla). Pro 200 mA a napájecí napětí do 9 V jsou však tyto ztráty poměrně malé (cca 300mW) a bohatě stačil menší chladič přímo na desce plošných spojů. Napětí je ještě za stabilizátorem dodatečně vyhlazeno elektrolytickým kondenzátorem 1 mF. Integrované obvody jsou na plošném spoji mechanicky rozmístěny do 4 sekcí a napájení každé z nich je ještě preventivně vybaveno blokovacím kondenzátorem 220 nF, jak bývá u číslicové logiky dobrým zvykem. (Je to preventivní opatření zamezující vzniku rušivého signálu na napájecí sběrnici při náhlé změně proudové spotřeby některého integrovaného obvodu. Kondenzátor vyhlazuje takto vzniklý rušivý signál, který by mohl nepříznivě ovlivnit citlivé vstupy jiných obvodů). Mezi vstupem stabilizátoru a napájecím konektorem je kromě vypínače ještě vřazena ochranná dioda, zapojena v propustném směru, chránící celý přístroj proti přepólování. Byla použita nízkoúbytková rychlá dioda shottkyho typu. K napájení stabilizátoru a tím vlastně celé elektroniky postačí téměř jakýkoliv stejnosměrný adapter nastavený na napětí 7 – 9 V. Nižší napětí (asi pod 6 V) by již mohlo způsobovat chyby v TTL logice a vyšší zas zbytečné zahřívání stabilizátoru (v uvedeném rozsahu napětí je pouze vlažný).

3.3.5. Vývoj a testování elektroniky

Celé zapojení bylo nejprve odladěno na nepájivém kontaktním poli s menším počtem LED diod. Velká výhoda tohoto přípravku spočívá v možnosti rychlé změny zapojení, lze tak pohodlně vyzkoušet různé varianty a rychle provádět drobné změny *(viz příloha 3).*

Jednotlivé funkční části byly sestavovány a zkoušeny postupně a pak vzájemně spojeny a dále testovány. Hotový celek elektroniky byl dále ještě dlouhodobě testován ve všech režimech. Když ani poté nevykazoval žádnou funkční vadu, bylo přistoupeno ke konečné realizaci.

Po konečné realizaci na desce plošných spojů byl ještě celý přístroj celý den zahořován, aby se projevily případné skryté vady součástek, studené spoje apod. *(viz přílohy 4 a 5).*

3.4. Realizace

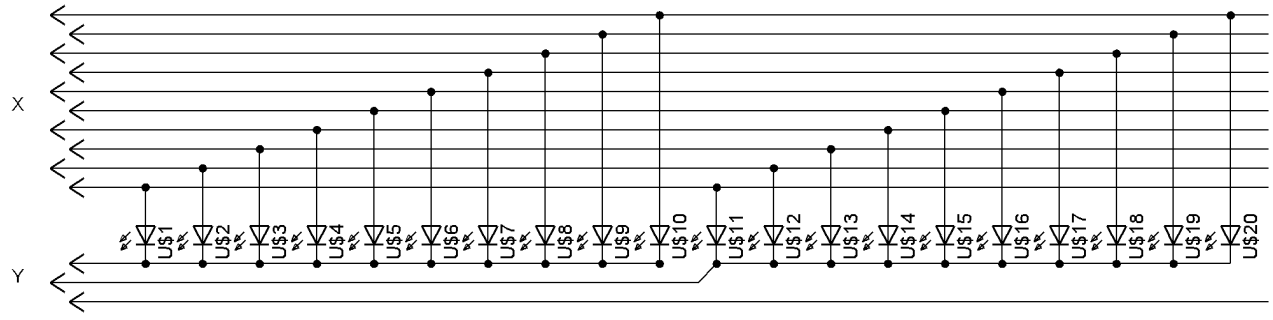
3.4.1. Praktická realizace elektroniky

Zapojení řídící elektroniky i dekodéru bylo realizováno na universální desce plošných spojů. Elektrotechnická schémata byla překreslena do programu Eagel, který umožňuje následný snadný návrh plošných spojů. To je podstatné pro případnou pohodlnou a profesionální výrobu dalších přístrojů *(obraz plošných spojů a osazovací výkres je uveden v příloze).*

Integrované obvody byly osazeny do patic, umožňujících jejich snadnou výměnu v případě poruchy.

Deska řídící elektroniky a destička dekodéru jsou opatřeny konektory a propojeny ohebnými kabely s potřebnou mechanickou odolností (kvůli natáčení oblouku se svítivými diodami). Jako napájecí kabel hlavní desky posloužila 2-linka, zakončená klasickým napájecím konektorem.

Dekodér je s vlastními LED diodami propojen napevno pomocí plochého kabelu využitého běžně v PC jako kabel k ATAPI periferiím do rychlosti ATA33 (40 pin.). Kabel byl rozdělen na svazky po 10 žilách a k těm pak byly přiletovány patřičné anody diod (napojení jednotlivých sloupců matice k výstupu X převodníku). Katody byly spojeny do sekcí po 10 a tyto pak byly přiletovány k jednotlivým vodičům druhého desetižilového svazku určeného pro Y výstup převodníku. *(Obr.26):*

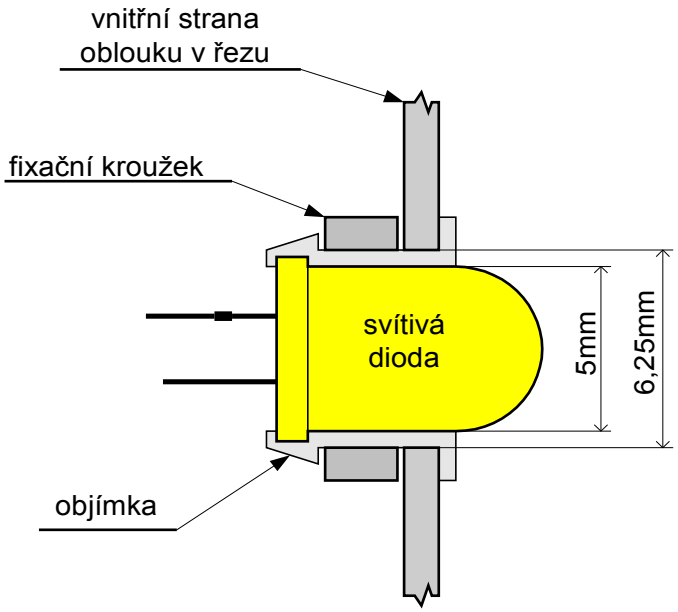


3.4.2. Montáž elektroniky

Oblouk s LED diodami:

Na začátku byla do každé z 91 vyvrtaných děr umístěna plastová patice o vnitřním průměru 5mm a vnějším 6,25mm. Díry o průměru 6mm byly předtím jemným kulatým pilníkem nepatrně zvětšeny přesně na tento průměr, aby v nich nebyly patice zbytečně volné. Do těchto patic pak byly instalovány žluté LED diody 5 mm a nakonec zajištěny fixačním kroužkem proti nechtěnému vymáčknutí zvenčí viz obr.

Obr. 27:



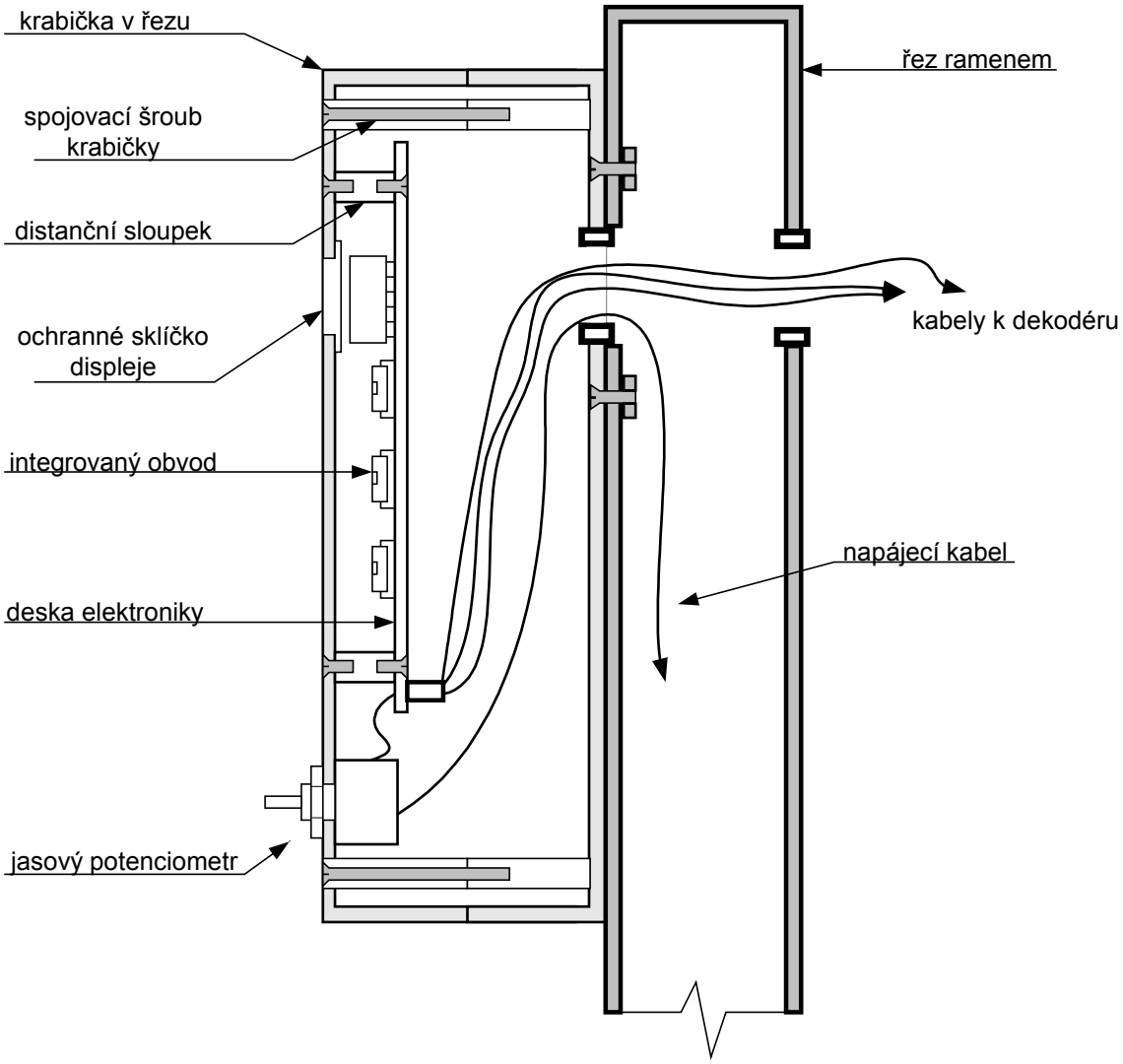
Jednotlivé diody byly poté pospojovány do matice pomocí plochého kabelu přiletováním dle postupu uvedeném v praktické realizaci. Na několika místech byl kabel k vnitřní stěně oblouku fixován tavným plastem. Destička s dekodérem byla umístěna do středu oblouku a kabely, vedoucí k ní z obou stran, byly přiletovány na odpovídající výstupy. Pro uchycení dekodéru bylo využito opět tavného plastu, vzhledem k malé hmotnosti i rozměrům destičky je však toto řešení dostatečně mechanicky odolné. Pomocí oboustranné lepicí pásky byla k dekodéru přilepena izolační fólie ze strany plošných spojů a kusem nalepovacího suchého zipu přichycena k dolní stěně oblouku. Celek pak byl dodatečně fixován tavnou pistolí. (V případě potřeby vyjmutí dekodéru jde plast snadno odlepit pomocí lihu).

Instalace desky řídící elektroniky:

Řídící elektronika byla umístěna do černé plastové krabičky o rozměrech 11x15x7 cm. Krabička se skládá ze dvou stejných částí spojených dohromady pomocí 4 samořezných šroubů. Plošný spoj s řídící elektronikou nese zároveň všechny ovládací prvky přiletované na plošný spoj s výjimkou regulátoru jasu a hlavního vypínače. Proto musela být přesně rozměřena poloha těchto prvků a do jedné poloviny krabičky byly na základě toho vytvořeny odpovídající otvory. Do okénka pro LED display bylo vlepeno ochranné čiré plexi sklíčko. K vnitřní stěně této poloviny krabičky pak byly pomocí krátkých zápustných šroubků M3 přišroubovány 4 kovové distanční sloupky zkrácené na vhodnou délku. Deska k nim pak byla přišroubována. Tlačítka jsou opatřeny černými kulatými hmatníky, dole s rozšířením bránícím případnému vyskočení nebo vytažení tlačítka z krabičky. Potenciometr regulátoru rychlosti je ještě dodatečně přišroubován matkou k čelní stěně krabičky a opatřen knoflíkem. Zbývající jasový potenciometr, který není součástí desky, byl také k čelní stěně takto připevněn a jeho vývody byly přiletovány na odpovídající místa plošného spoje. Vypínač drží ve vyříznutém obdélníku vlastním mechanismem . Pro kabely vedoucí k dekodéru a napájecí 2-linku byla vyvrtána díra v druhé části, zadní stěně krabičky.

Při konečné montáži pak byla zadní polovina krabičky přišroubována k rameni přístroje. Kabely k dekodéru byly prostrčeny otvorem v krabičce a rameni skrz vnitřek hřídele otočného kloubu do otvoru v krycím plechu vnější strany oblouku. Napájecí 2-linka otvorem ve stěně dutého hřídele do dutiny ramene a pak byla svedena dolů k napájecímu konektoru přišroubovaném do otvoru v zadní stěně stojanu. Aby se zabránilo poškození izolace kabelů, byly na ostré hrany otvorů navlečeny gumové průchodky.

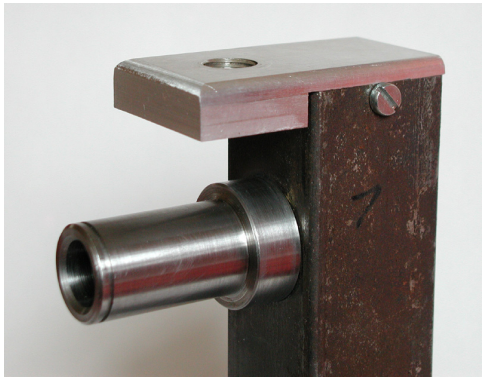
Obr. 28: Zjednodušený řez krabičkou elektroniky ukazující montáž řídící desky, připevnění krabičky k ramenu a vedení kabelů.



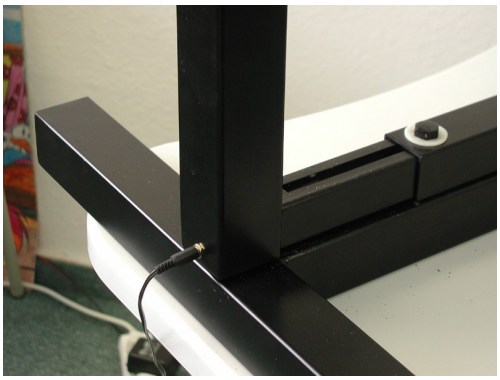
3.4.3. Konečná mechanická montáž

Nejprve byl do horního otvoru nasunut a následně přibodován dutý hřídel kloubu tak, že otvor pro napájecí kabel směřoval do delší části ramene. Poté byl tímto otvorem protažen již zmiňovaný kabel na konci opatřený konektorem a konektor byl přišroubován do otvoru v dolní části ramene. Bylo též provedeno nasazení držáku aretačního mechanismu do horní části ramene a jeho fixace třemi šrouby *(Obr. 29)*.

Obr. 29: - hřídel kloubu a držák aretačního mechanismu



Obr. 30: spojení stojanu a ramene



Poté již mohlo být rameno zasunuto do stojánku a proti vysunutí zajištěno aretačním šroubem *(Obr. 30)*. (Zde je dobré zmínit, že v případě transportu přístroje je vhodné oblouk natočit do vertikální polohy a stojánek odmontovat. Přístroj tak zabírá mnohem méně místa).

Následovala montáž kloubu s aretací v těchto krocích:

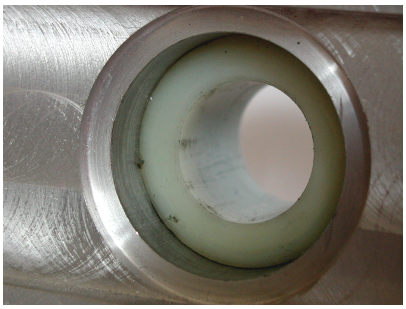
a) vtlačení silonového třecího ložiska „futra“ do náboje kloubu *(Obr. 31)*

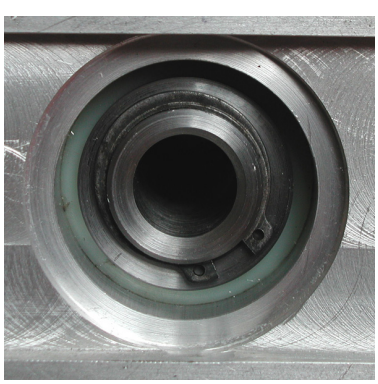
b) nasunutí kloubu na hřídel

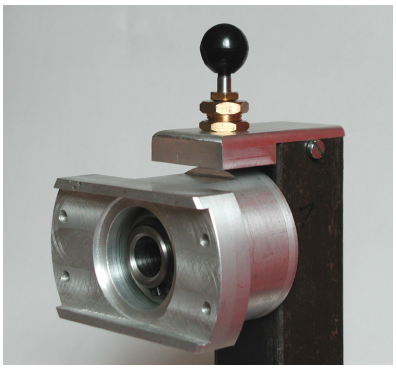
c) nasunutí podložky a zajištění „segerovou“ pojistkou *(Obr. 32)*

d) našroubování aretačního mechanismu do držáku, nastavení správného rozsahu aretačního kolíčku stavěcí matkou a její dotažení. *(Obr. 33)*

Obr. 31, 32, 33:







Pak již mohl být ke kloubu přimontován oblouk s LED diodami a dekodérem v těchto krocích:

a) Připevnění krycího, zadního plechu oblouku pomocí 4 šroubů M6 k přírubě kloubu (mezi plech a matky byla vložena nejprve zpevňující obdélníková podložka z *(obr. 34)*, poté na každý šroub obyčejné podložky a nakonec pérové podložky). Hlavy šroubů s drážkou pro šroubovák směřují směrem k rameni.

Obr. 34:

b) Nalepení gumového těsnění šířky 8mm a tloušťky 1,5mm na okraje zadní části oblouku s vysekanými otvory v místech otvorů pro samořezné uchycovací šroubky zadního krytu.

c) Prostrčení kabelů mezi řídící jednotkou a dekodérem otvorem v hřídeli kloubu.

d) Připojené kabelů ke konektorům dekodéru a následné přišroubování oblouku ke krycímu plechu (zde byla nutná spolupráce dvou osob).

Následovala montáž krabičky s řídící elektronikou k zadní části ramene:

a) Otvorem v zadní části krabičky byly prostrčeny kabely a ta byla následně přišroubována k zadní části ramene.

b) Všechny kabely byly zapojeny do příslušných konektorů na desce elektroniky přišroubované již dříve k přední části krabičky.

c) Krabička byla smontována čtyřmi šrouby v jeden celek.

Nakonec byla k již hotovému přístroji přišroubována tovární podpěrka hlavy pacienta – headrest.

3.5. Možná vylepšení

Již mnoho let se k řízení téměř čehokoliv s výhodou využívají mikroprocesory. Na trhu je k dispozici nepřeberné množství druhů, lišících se hlavně počtem programovatelných vstupů, výstupů, či dalšími doplňky (integrovanou Flash pamětí, EPROM, EEPROM, vestavěnými A/D a D/A převodníky atd.). Jejich využití by zde bylo nepochybně velice praktické z hlediska případné dodatečné modifikace funkcí (řešené pouhým přepsáním ovládacího softwaru), i úsporné co do počtu součástek.

V případě sériové výroby tohoto přístroje by přepracování elektroniky na mikroprocesorové řízení bylo dobrou možností.

4. Závěr

4.1. Provoz přístroje na pracovišti

Svalový trenažer byl po dokončení instalován v ortoptické cvičebně na půdě základní a mateřské školy Jih v Hradci Králové (adresa: Luční 838, Hradec Králové 3). I přes přítomnost tohoto specializovaného pracoviště (v ČR je jich jen 37 (registrovaných ve společnosti ortoptistek [4])) se jedná o normální školu bez cílené integrace dětí se zdravotním postižením. I zde se však nachází mnoho dětí se strabismem a ty ostatní docházejí na terapie z jiných škol v Hradci. Většinou se jedná o děti staré 6 – 9 let (z 1. až 3. třídy), občas i o děti starší (do 9. třídy). Přicházejí několikrát týdně v průměru na ½ hodiny.

Děti zde cvičí hlavně simultánní percepci, fůzi a stereopsi na troposkopu, centrální fixaci na Cüppersově stolním koordinátoru a centroforu, relaxaci akomodace a konvergence na Rémyho separátoru, nebo trénují čtení s překážkou pomocí mřížky na čtení. Nyní i okohybné svaly na novém trenažeru (obr. 35). Vzhledem k velkému počtu dětí je jich někdy ve cvičebně i více zároveň. Na přístrojích či pomůckách se střídají. Stejně je lepší, aby necvičily dlouhou dobu na jedné, neboť cvičení je pak už únavné a některé děti ani neudrží tak dlouho pozornost. Ortoptistka potom dohlíží, jestli děti cvičí správně.

Obr. 35: Trenažer okohybných svalů při terapii. Ortooptistka MUDr. Hronková nastavuje vhodnou rychlost a úhel výseče na ovládacím panelu zezadu přístroje.

I přesto, že většina sem docházejících pacientů trpí běžnější formou konkomitujícího strabismu, je zde trenažer okohybných svalů hojně využíván. Vlivem šilhání jsou totiž některé okohybné svaly částečně atrofované a jejich procvičení je tedy důležité. Obecně lze říci, že se jedná hlavně o svaly ležící v protisměru úchylky strabujícího oka. Zároveň si děti trénují fixaci pohyblivého bodu. Díky jeho tvarové jednoduchosti a velkému kontrastu to jde snadno. U dětí se strabující odchylkou větší než 10° je většinou indikována operace. Také zde se přístroj s úspěchem používá při docvičování svalů po operaci.

4.2. Terapeutický přínos přístroje

Na tomto konkrétním pracovišti zatím nebyla provedena žádná kvalitativní studie dosažených výsledků. Ani by zatím nešly vyvozovat výsledky, neboť je zde přístroj instalován a využíván pouze do doby dopisování této dipl. práce (4 měsíce) . Nicméně jsou už patrné pozitivní výsledky.

Například byl operován chlapec s odchylkou 16°. Zákrokem se podařilo úchylku snížit na 9° a následným docvičováním na trenažeru zatím na 5°.

Konzervativní léčba strabismu v ortoptické cvičebně je mnohdy kombinací několika cvičebných postupů. U jednoho pacienta může být také určitá metoda účinější než u jiného díky rozdílné etiologii jeho postižení. Nebo také třeba proto, že některé cvičení je pro něho snažší a zábavnější než jiné a provádí ho tedy pečlivěji. Lze proto obtížně vyčíslit přínos jen jednoho konkrétního přístroje. Obecně ale už teď lze prohlásit, že cvičení na trenažeru vede objektivně ke zlepšení výsledků celé terapie.

4.3. Zhodnocení

I když se při realizaci přístroje vyskytly jisté komplikace, podařilo se vše dokončit v řádném termínu, který byl pro strabologické pracoviště důležitý kvůli přidělení grantu na tento projekt. Téměř ve všech aspektech se podařilo také dodržet požadavky na přístroj kladené a tak může sloužit svému účelu. Velmi mě těší, že je trenažer na pracovišti hojně využíván a doufám, že přispěje k zefektivnění léčby strabismu u co nejvíce pacientů. Zároveň si cením všech zkušeností, které jsem takto získal.

Petr Matějíček, Praha 21.5.2006

5. použitá literatura

[1] : Divišová Gabriela a spolupracovníci – Strabismus, Avicentrum, Praha 1979

[2] : Kvapilíková Květa – Anatomie a embryologie oka, Institut pro další vzdělávání pracovníku ve zdravotnictví v Brně, Brno 2000

[3] : Duke-Elder, S. - System of Ophtalmology, Vol. VI - Ocular Motility and Strabismus, H. Kimpton, London 1973

[4] : http://www.ortoptika.cz

[5] : Hromádková Lada – Šilhání, Institut pro další vzdělávání pracovníku ve zdravotnictví v Brně, Brno 1995

[6] : Katalog elektrotechnických součástek, konstrukčních dílů, bloků a přístrojů 5, Tesla Eltos 1989

[7] : G.K.Noorden - Binocular Vision and Ocular Motility, Mosby, St. Louis 1990.

[8] : Burian, HM., von Noorden, GK - Binocular Vision and Ocular Motility, The C. V. Mosby Company, Saint Louis, 1974

[9] : GM Electronic - Katalog elektrotechnických součástek, GM el., Praha 2000

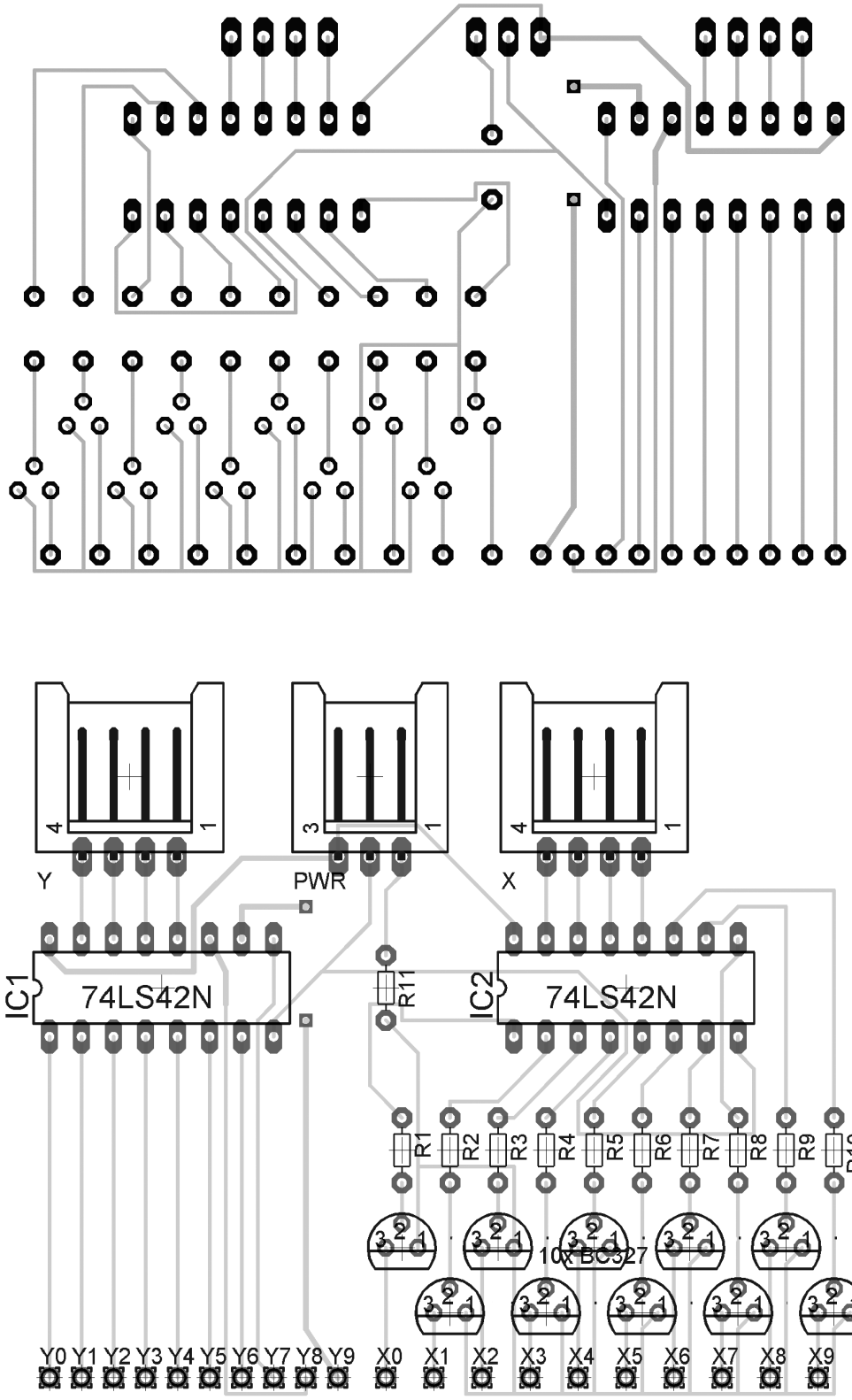
[10] : „555 – Universální IO“ Amatérské radio pro konstruktéry, ročník 43 číslo 5, A.R. 1994

[11] : L. Křišťan, V. Vachala – Příručka pro navrhování elektrotechnických obvodů, Nakladatelství technické literatury Praha 1982

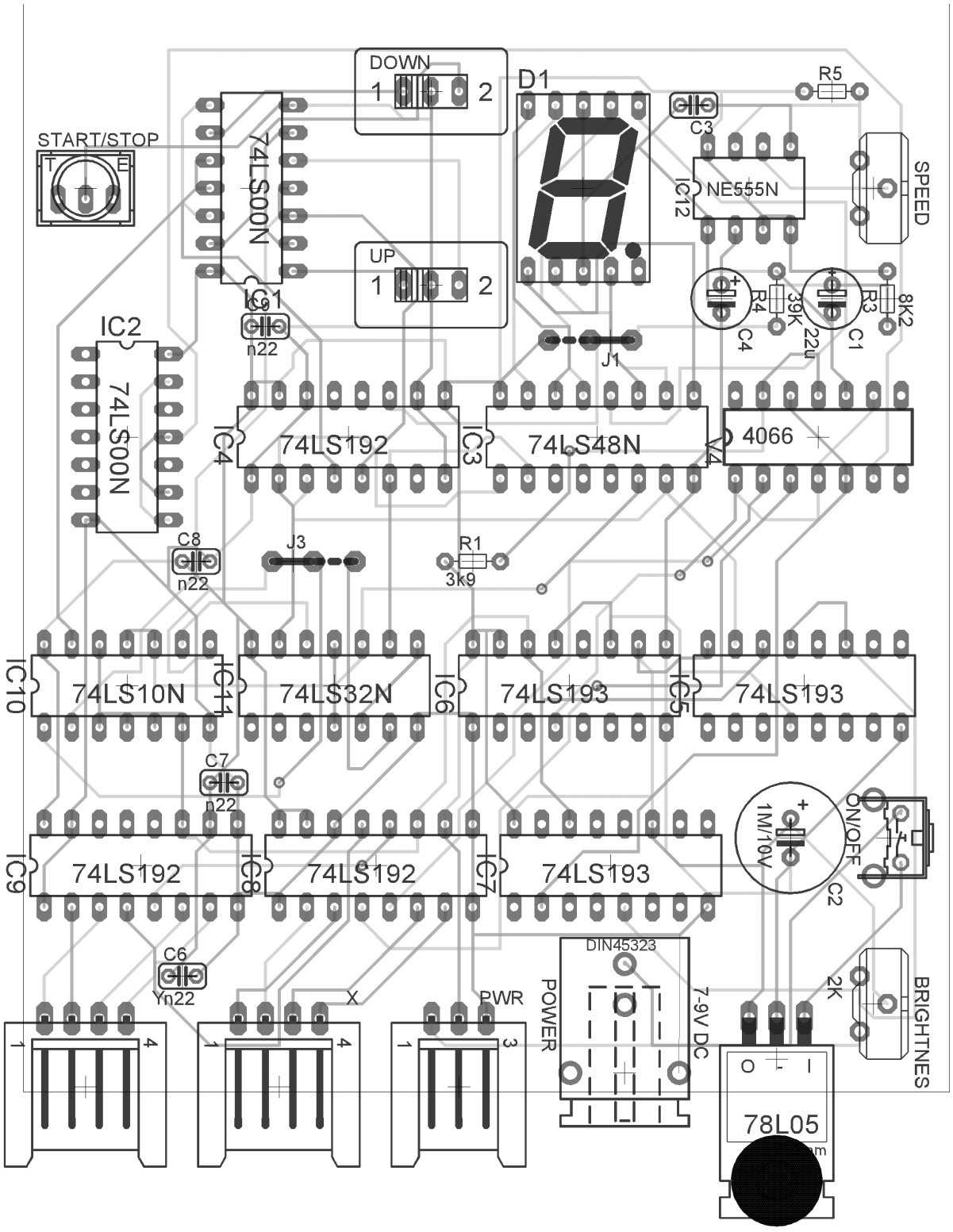
[12] : Kletečka, Fořt – Technické kreslení, CP Books, červen 2005

6. Přílohy

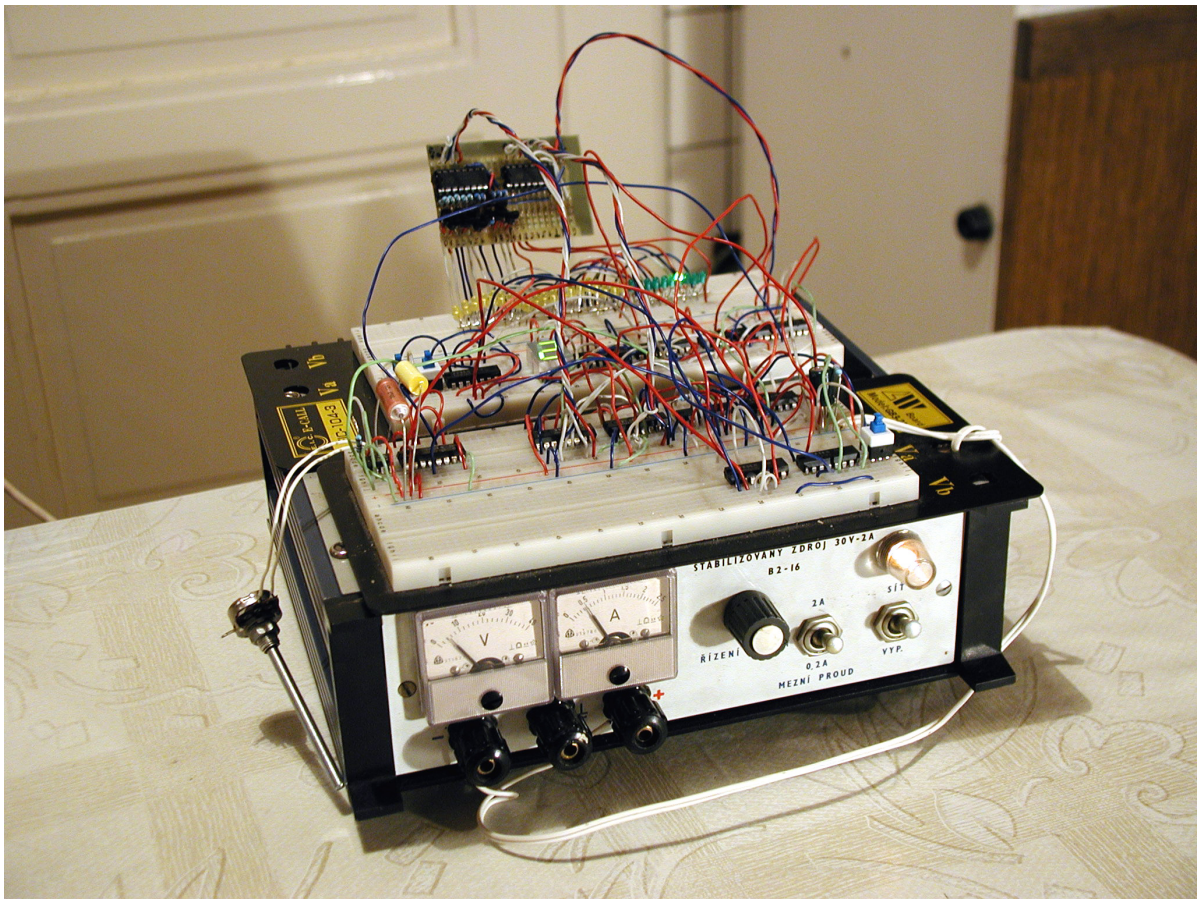
Příloha 1: deska plošných spojů dekodéru a osazovací výkres

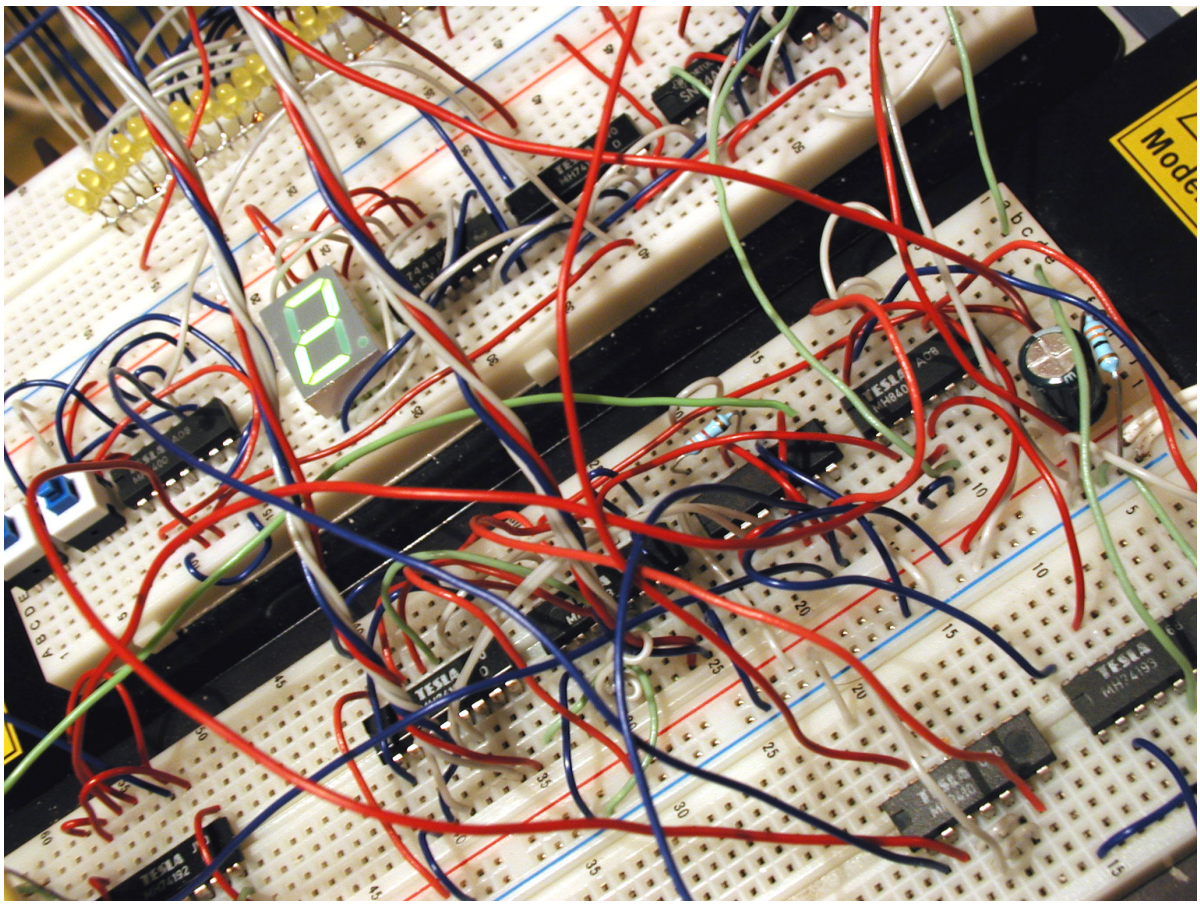


Příloha 2: deska plošných spojů a osazovací výkres řídící jednotky

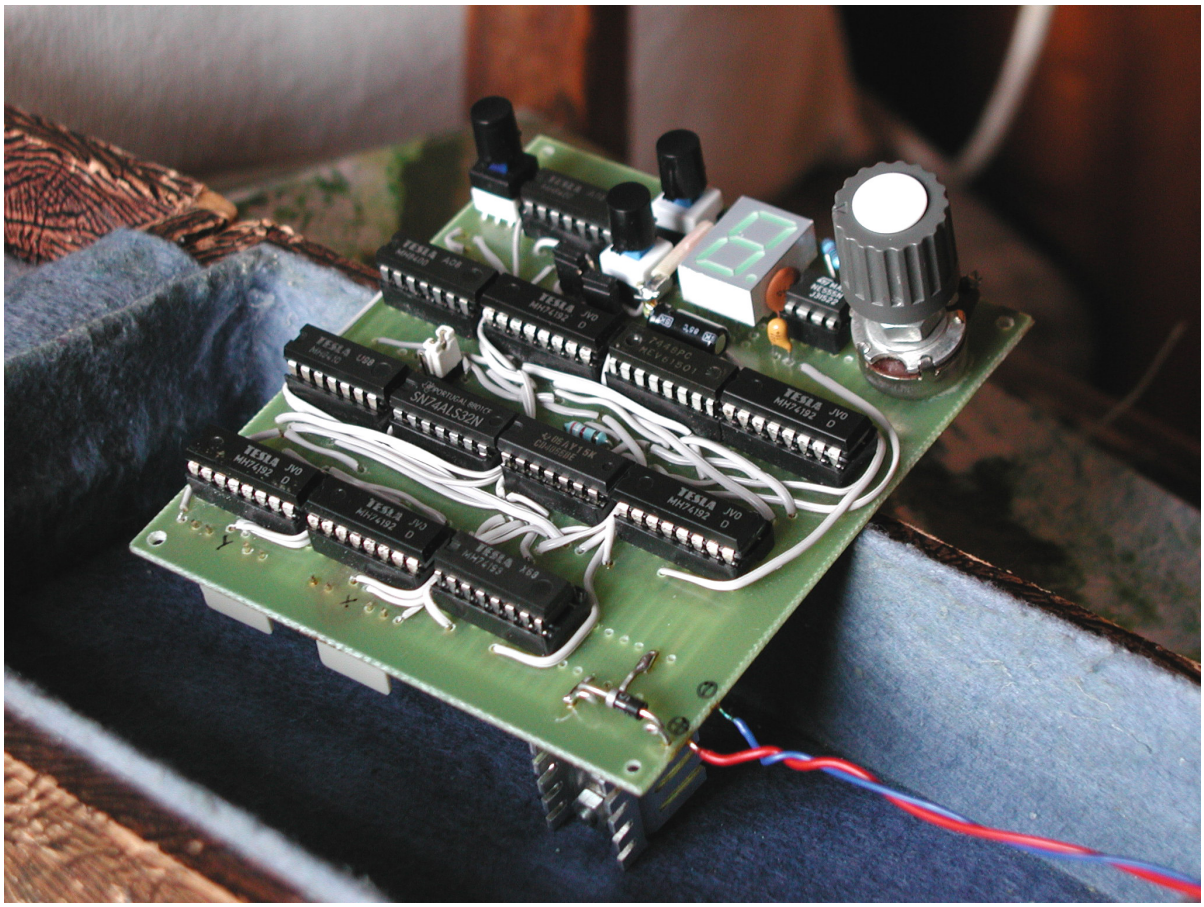


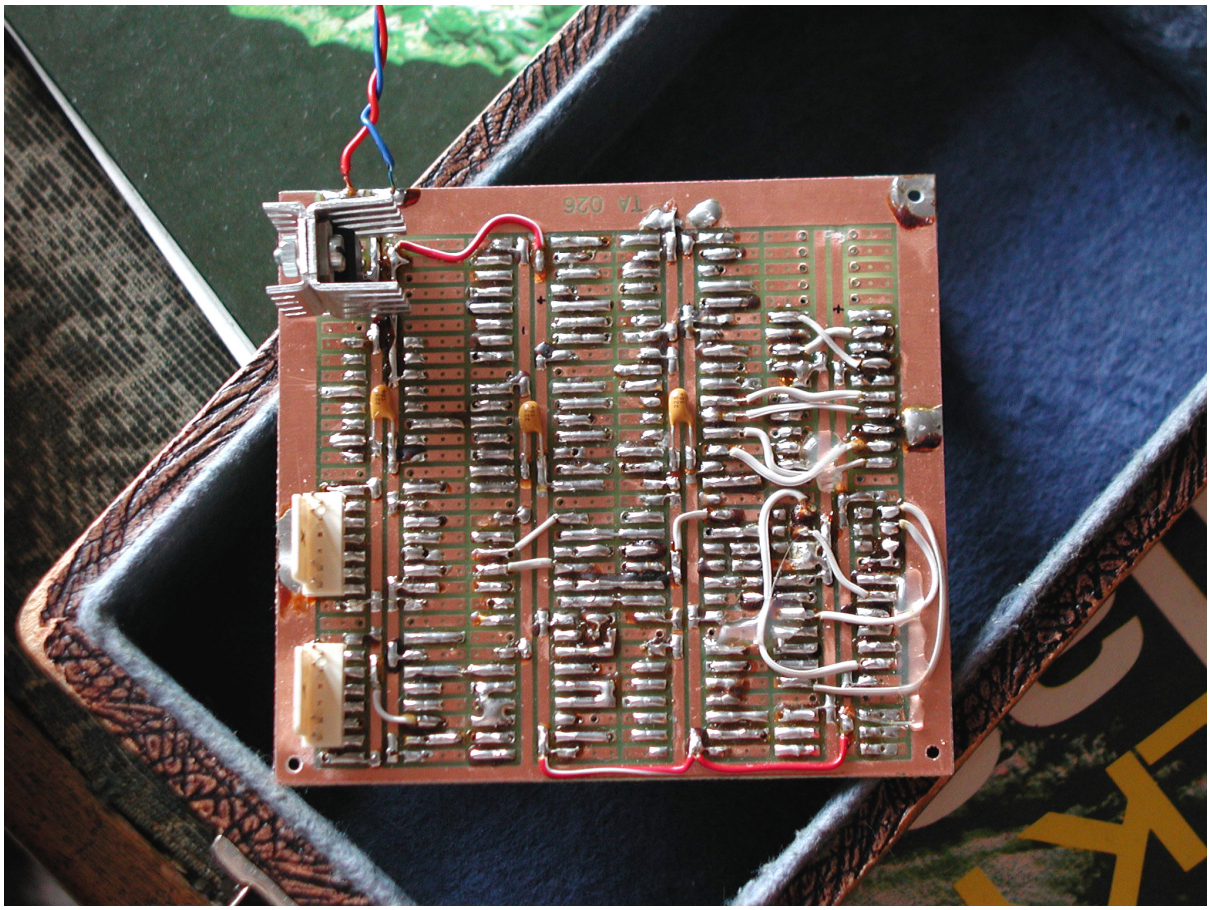
Příloha 3: odladňování zapojení na nepájivém kontaktním poli



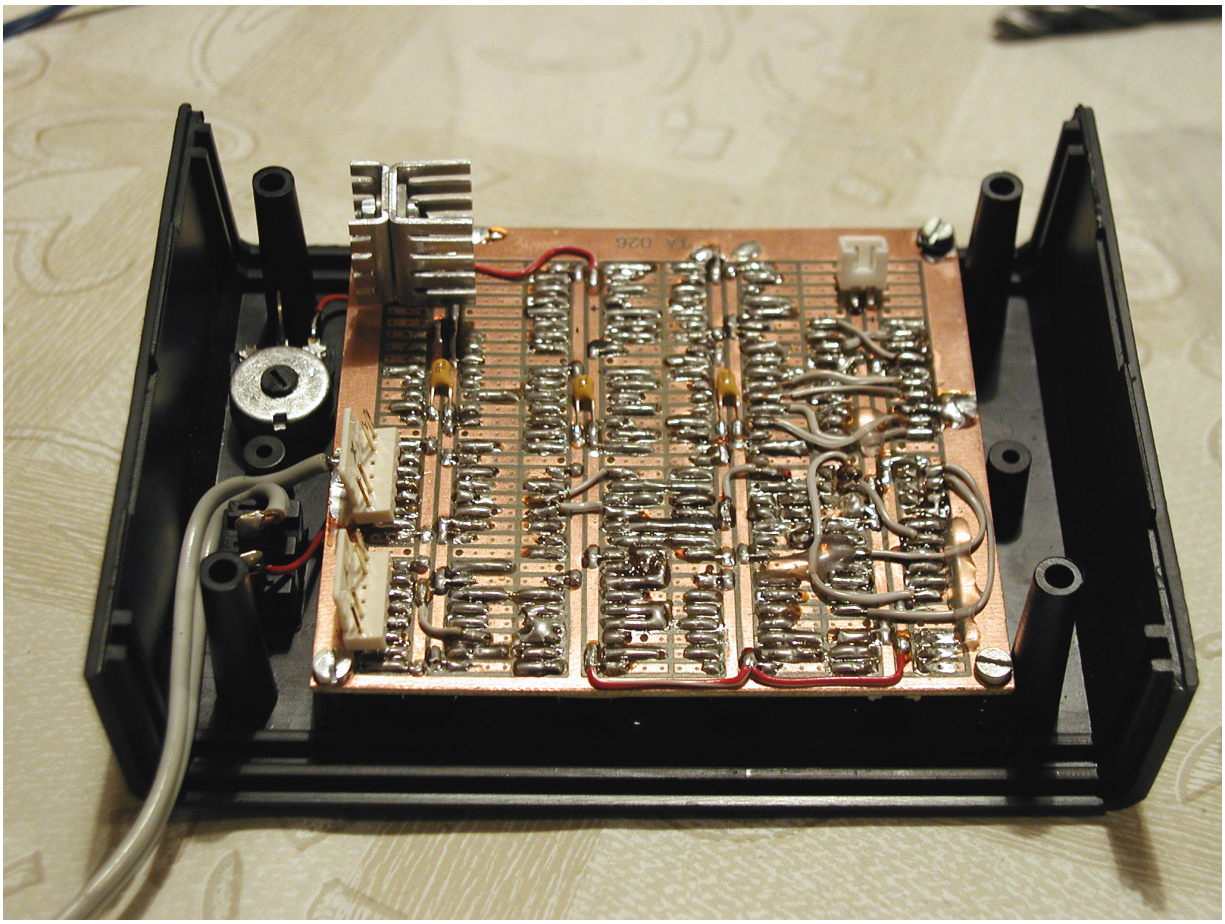


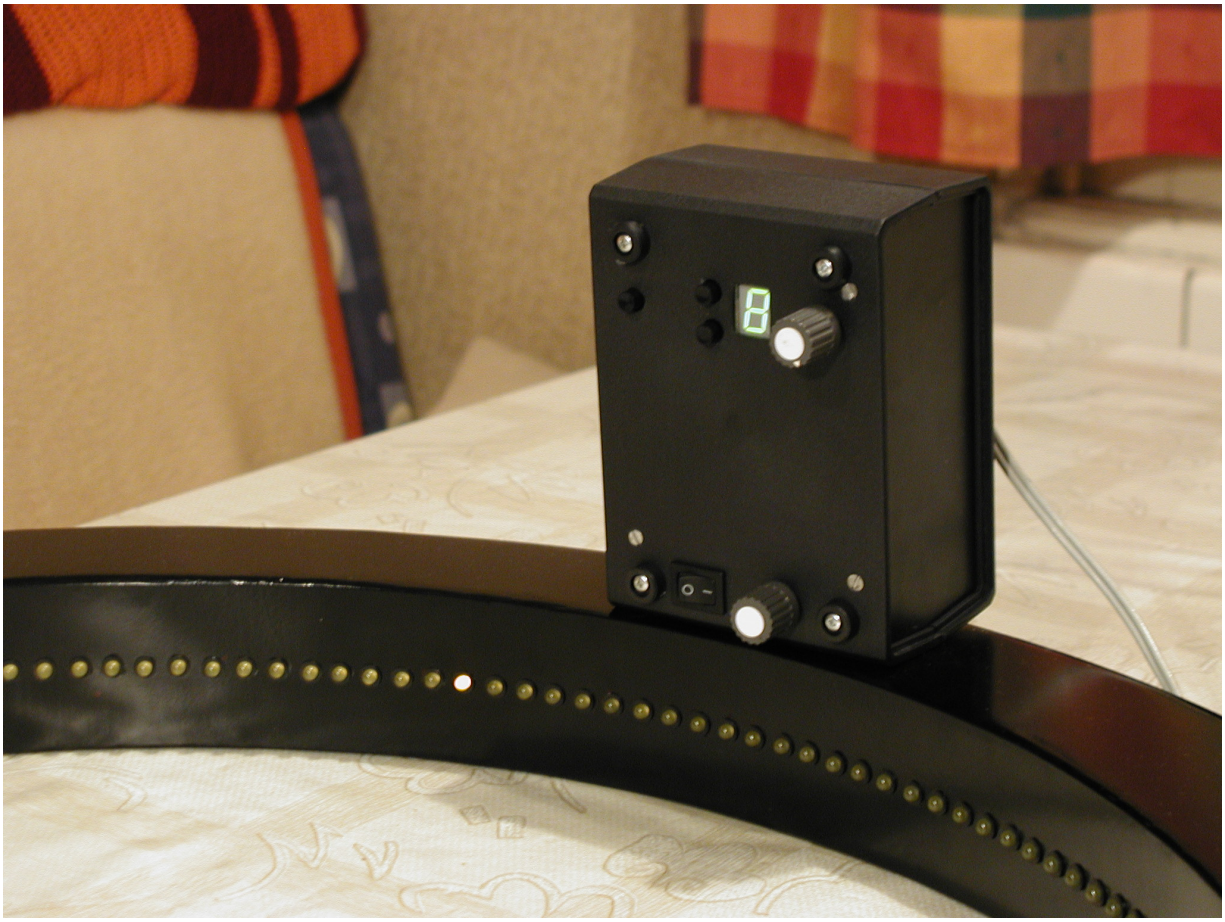
Příloha 4: osazená deska plošných spojů



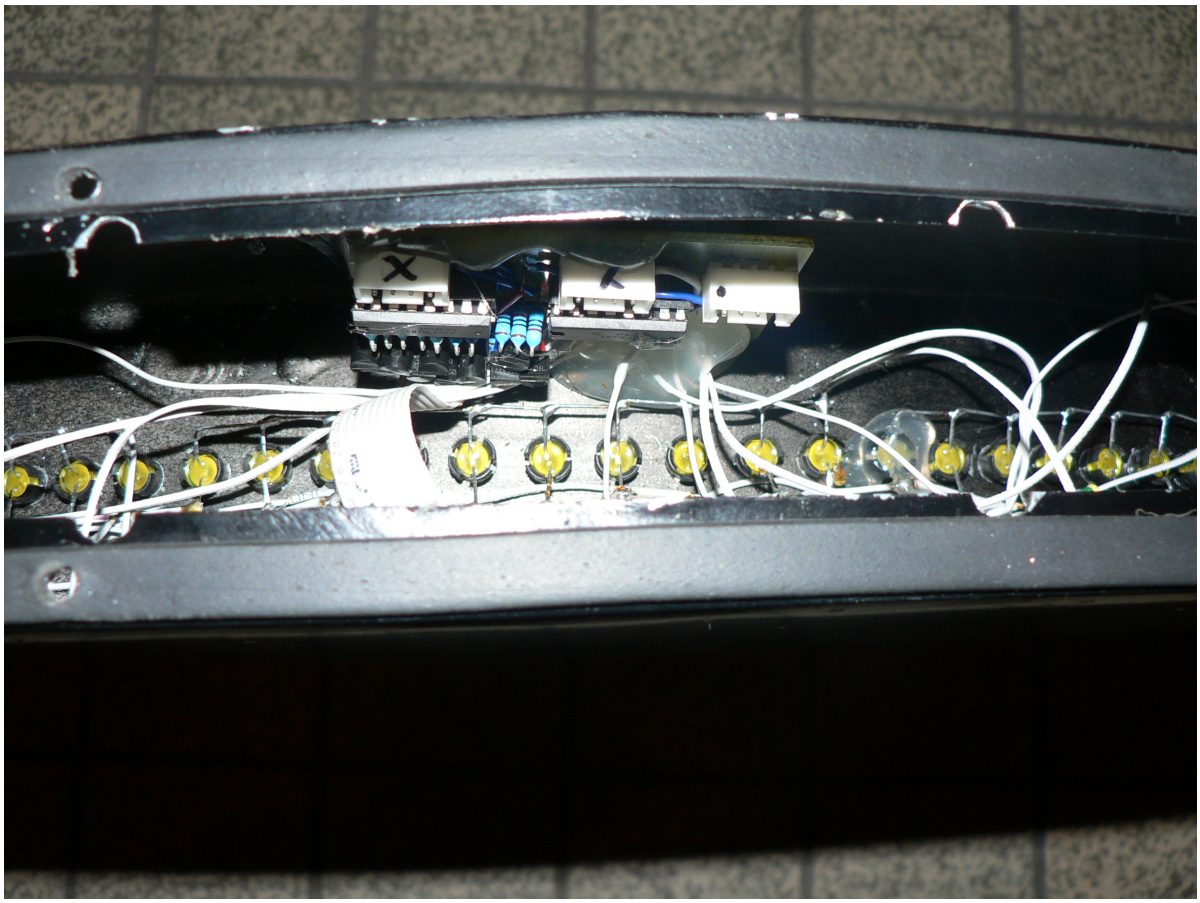


Příloha 5: montáž řídící elektroniky (nahoře) a celkové zahořování (dole)

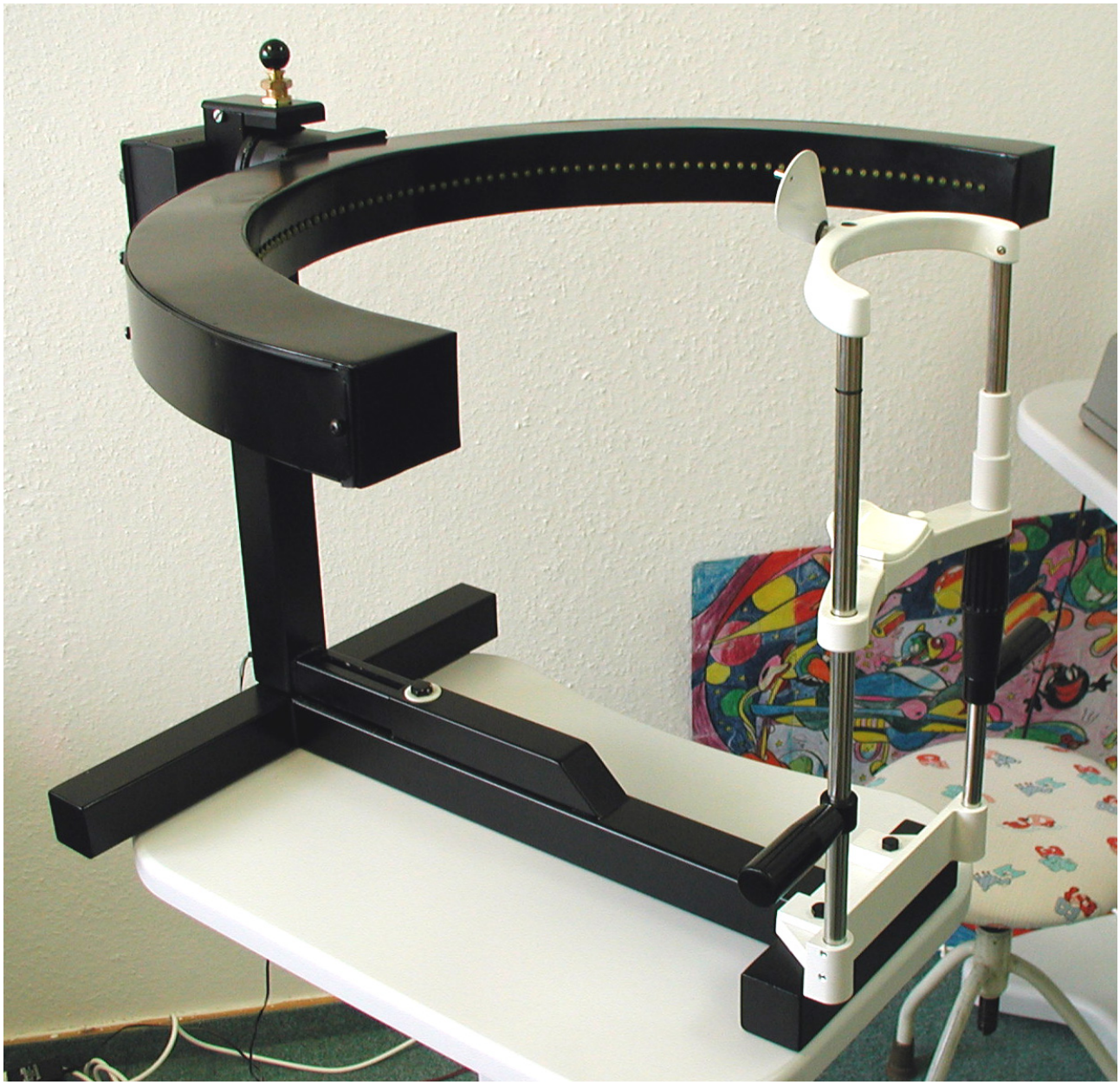




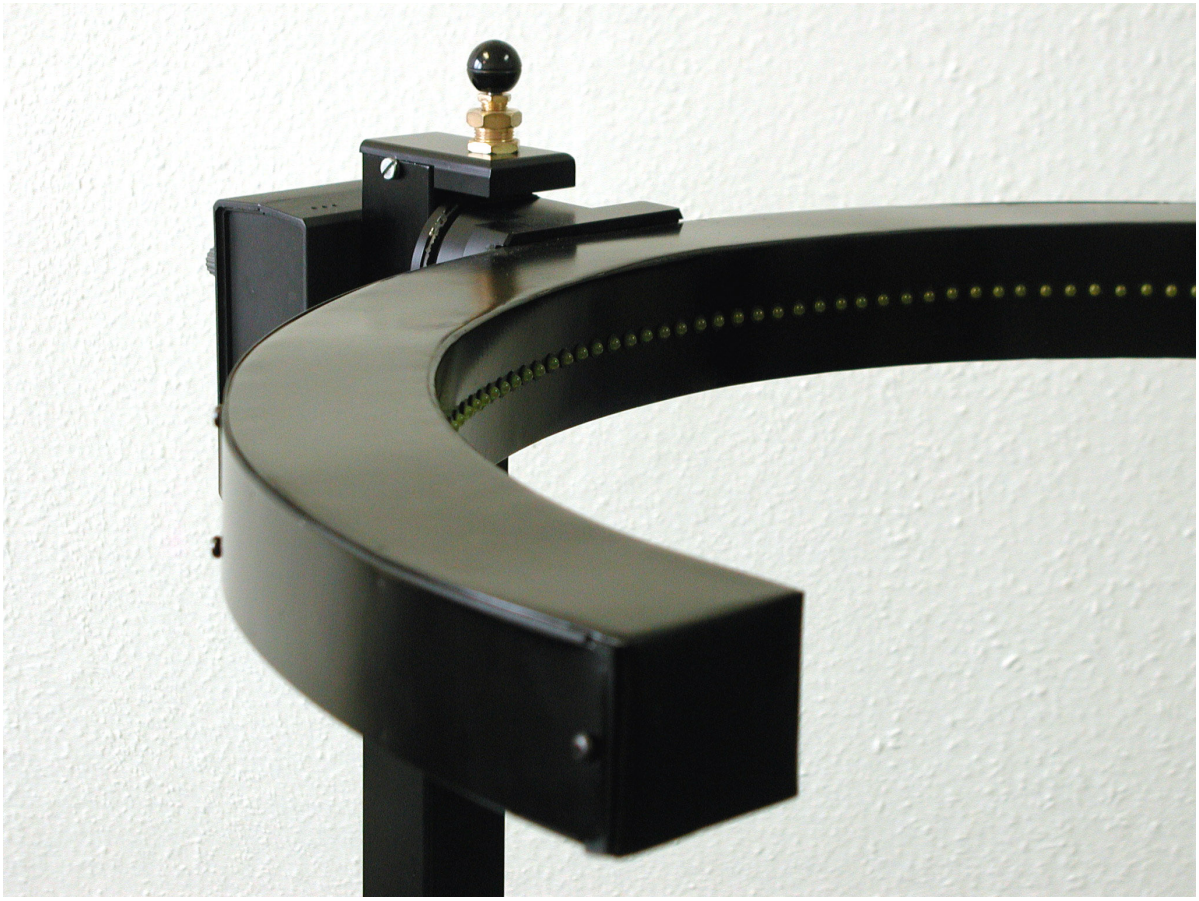
Příloha 6: vnitřek oblouku a jeho montáž k rameni

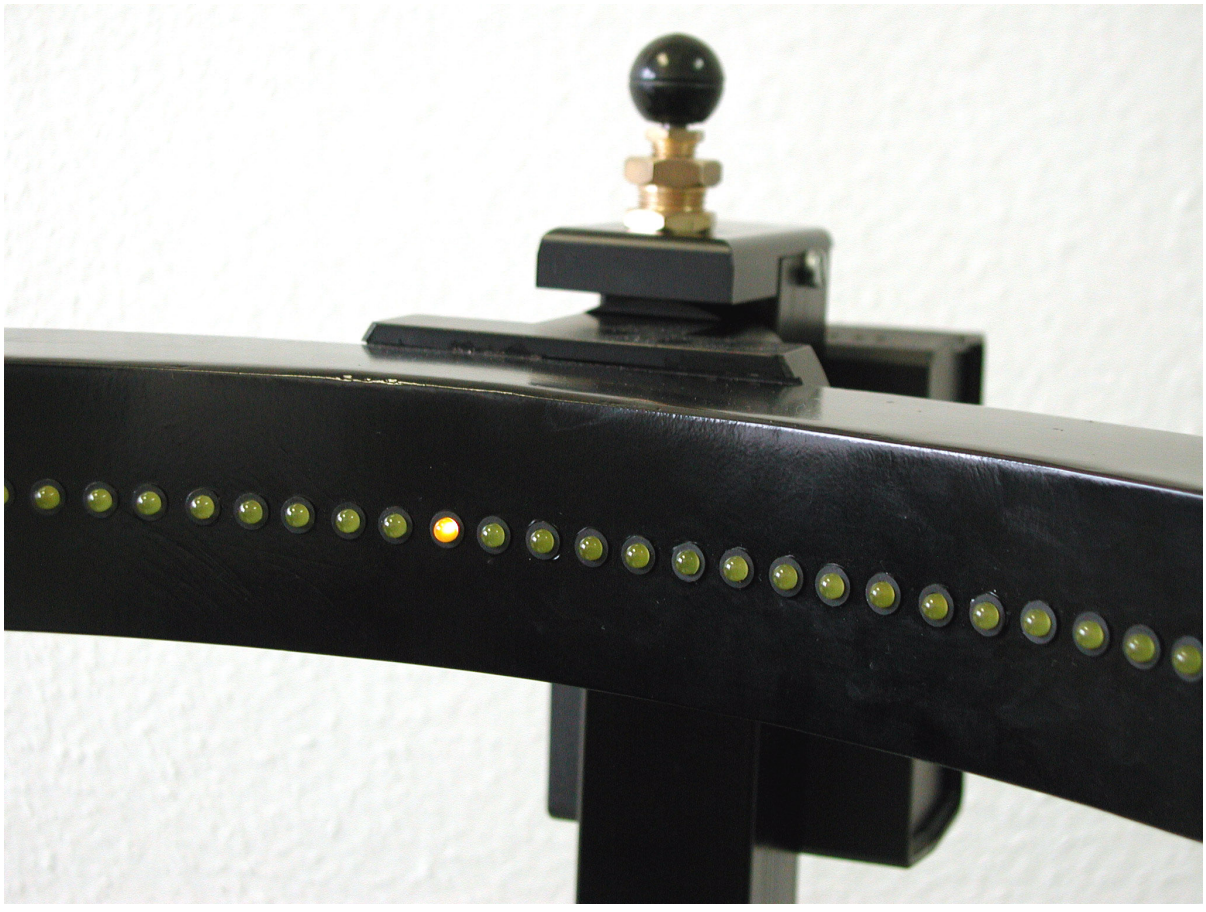


Příloha 7: hotový přístroj – celek

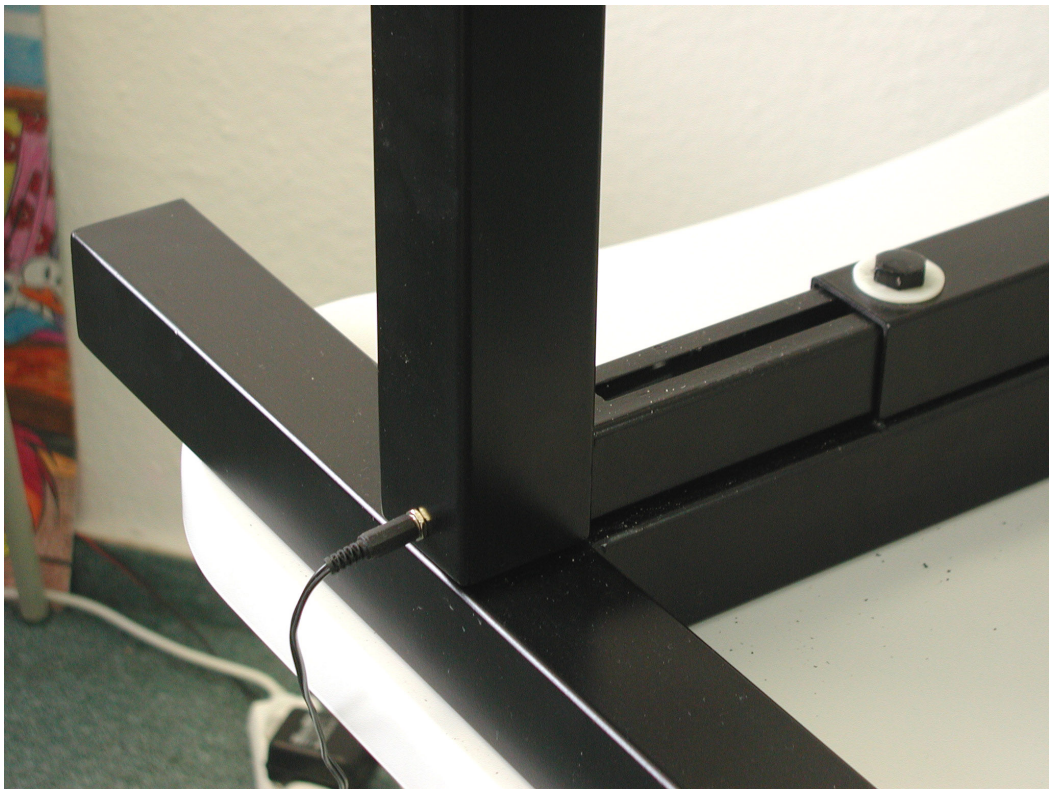
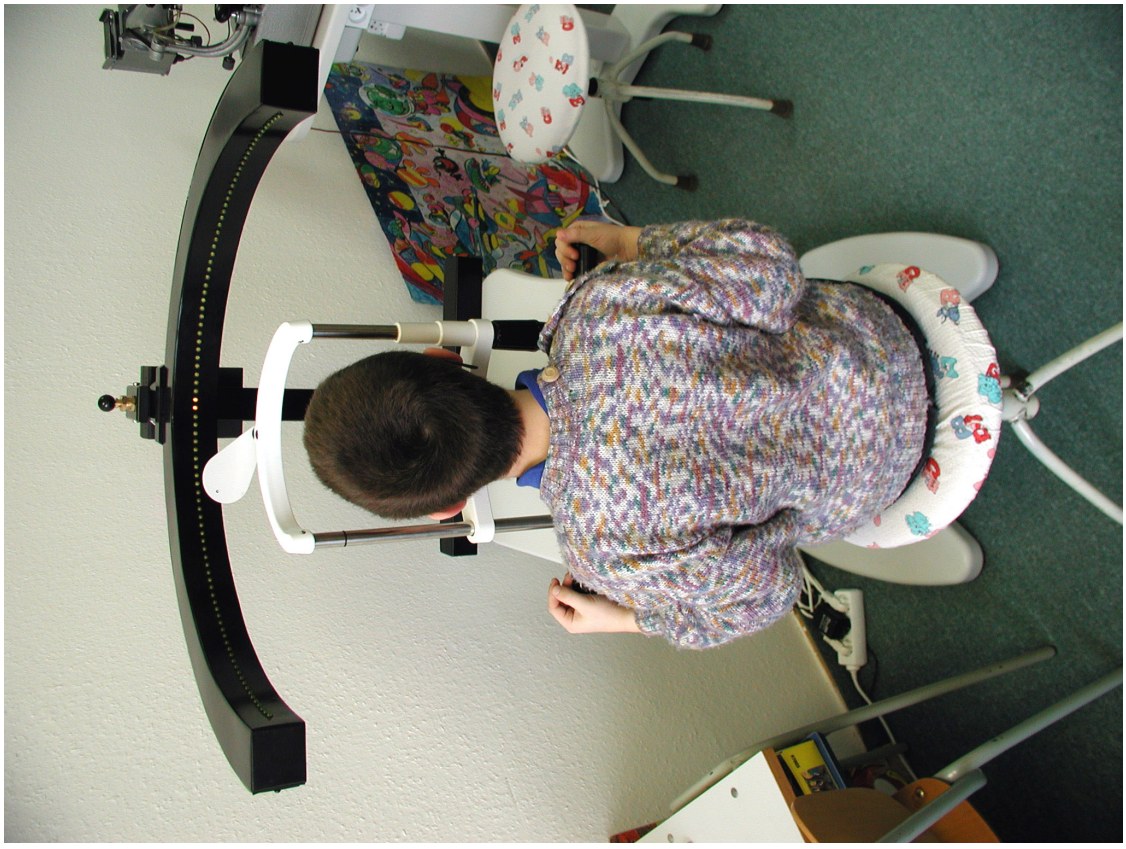


Příloha 8: detaily oblouku





Příloha 9: přístroj zezadu – řídící jednotka (nahoře) a posuvné spojení ramene a stojanu (dole)



Příloha 10: cvičení okohybných svalů v horizontální a diagonální rovině