

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE



TEZE K DISERTAČNÍ PRÁCI



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra kybernetiky

**Petr Novák**

**Objektivizace a podpora pro  
diagnostiku a rehabilitaci strabismu**

Doktorský studijní program: Elektrotechnika a informatika  
Studijní obor: Umělá inteligence a Biokybernetika

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Praha, červen 2011

Disertační práce byla vypracována v prezenční/distanční/kombinované\*  
formě doktorského studia na katedře (*název*) Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

Uchazeč: Petr Novák

Katedra kybernetiky  
ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická  
Technická 2, Praha 6, 166 27

Školitel: Prof. RNDr. Olga Štěpánková CSc.

Katedra kybernetiky  
Fakulta elektrotechnická ČVUT  
ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická  
Technická 2, Praha 6, 166 27

Oponenti: .....

.....

.....

Teze byly rozeslány dne: .....

Obhajoba disertace se koná dne ..... v ..... hod. před komisí pro obhajobu  
disertační práce ve studijním oboru Umělá inteligence a Biokybernetika v zasedací místnosti  
č ..... Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

S disertací je možno se seznámit na děkanátu Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze, na  
oddělení pro vědu, výzkum a zahraniční styky, Technická 2, Praha 6.

Prof. Ing. Vladimír Mařík Dr.Sc.  
předseda komise pro obhajobu disertační práce  
ve studijním oboru  
Umělá inteligence a Biokybernetika  
Fakulta elektrotechnická ČVUT, Technická 2, Praha 6

## Abstrakt

Práce navrhuje, popisuje a testuje původní implementaci komplexního systému, který nabízí *SW alternativu pro některá vyšetření poruch vidění*. Vedle klasických příznaků, které při průběhu testu získává lékař, definuje a vyhodnocuje systém i některé *nové příznaky* spojené například s dynamikou chování pacienta v průběhu testu. Tyto výsledky jsou poté využity k návrhu *znalostního systému* pro podporu rozhodování lékaře při stanovení diagnózy. Výsledný systém kombinuje přístup založený na pravidlovém a případovém usuzování. Další část systému využívá navržené SW nástroje pro cílenou *adaptivní rehabilitaci* probíhající podle potřeb pacienta a aktuálního vývoje jeho poruchy, která je průběžně objektivně hodnocena. S tímto přístupem lze dobu léčby nejen zkrátit, ale současně i zkvalitnit (a to zvláště u pacientů předškolního věku) či přenést do domácího prostředí.

#### Abstract - Anotation

The thesis is dedicated to design, development and testing of a complex SW system that offers a software alternative to some classic tools and tests used for diagnosis of strabismus. Besides the usual symptoms that the doctor considers and evaluates during the classic version of these tests, the presented system introduces some new features related to the dynamics of patient's behavior during the test. The obtained results are then applied in the design of the knowledge-based decision support system for diagnosis of strabismus combining case-based and rule-based reasoning.

Moreover, the system applies the designed software tools for control of targeted adaptive rehabilitation that reflects patient's actual needs and state of his/her disorder as characterized by the provided on-line objective assessment. This approach allows to improve the treatment process, especially in patients of pre-school age, to make it shorter and even to transfer it into patient's home.

# 1 Obsah

2	Úvod .....	2
3	Hlavní cíle práce .....	3
4	Současný stav .....	3
5	Podstata a přínos navrženého řešení .....	5
5.1	Objektivizace vyšetřovacích metod.....	5
5.2	Ukládání naměřených dat .....	6
5.3	Podpora při stanovení diagnózy.....	7
5.4	Objektivizace průběhu rehabilitace.....	8
6	Zhodnocení.....	8
7	Literatura .....	10
8	Shrnutí .....	11
9	Seznam publikací.....	12

## 2 Úvod

V současné době se odhaduje v populaci okolo 25% lidí trpící nějakou poruchou správného vidění. Z toho **zhruba 16% představuje poruchy spadající do odvětví strabismu neboli šilhavosti**, představující převážně nesprávný souběh obou očí v různých pohledových směrech. Toto číslo se bohužel každým rokem pomalu zvyšuje.

**Poruchy správného vidění je nutno včas odhalit**, neboť lidský mozek má schopnost se s nimi v určitém smyslu „vyrovnat“. Toto vyrovnání bohužel velmi často nespočívá v jejich nápravě, ale v eliminaci jistých nepříjemných a rušivých vlivů pro člověka neboli jeho mozek.

V některých případech nejde nezbytně o včasnou, ale zejména o správnou a objektivní diagnózu vzniklé poruchy vidění. Neboť **nedostatečně objektivní hodnocení, z toho plynoucí nesprávná diagnóza a rovněž i nevhodně navržený léčebný postup mohou pacientu naopak ještě více ublížit**. Rehabilitace je v podstatě založena nejen na pouhém používání, ale zejména trénování postiženého oka nebo jeho okohybných svalů. Případně jiných částí nezbytných pro zajištění správného vidění [1].

**Přístroje využívané pro vyšetření poruch** správného vidění jsou však většinou **finančně velmi nákladné** neboť jde často o velmi sofistikované mechanické a optické přístroje vyráběné pro omezený počet uživatelů a tudíž nedostupné pro mnoho „běžných“ pracovišť.

**Výstup mnoha vyšetřovacích postupů je založen převážně na zkušenostech lékaře a jeho subjektivním usuzování ze slov nebo chování pacienta**. Nejen že jsou do takto získaných výsledků vnášeny možné subjektivní chyby lékaře, ale zejména stejný případ, tedy pacient, může být různými lékaři hodnocen poněkud odlišně.

Rozvoj výpočetní techniky nabízí **možnost realizovat řadu existujících složitých mechanických diagnostických přístrojů formou relativně jednoduchých počítačových programů** a tím snížit jejich cenu a samozřejmě zvýšit dostupnost. Využití výpočetní techniky nepřinese pouze zkvalitnění, zpřesnění výstupu daného testu a zrychlení průběhu vyšetření, ale zejména disponuje schopností uchovávat naměřená data v elektronické formě a tím umožnit jejich využití pro další možnou analýzu. **K nesporným výhodám patří objektivizace výsledků a získání dalších nových informací** o stavu pacienta, které nelze pomocí stávajících přístrojů obdržet. Získáním většího množství informací bude možno určit diagnózu přesněji a tím se vyvarovat možných chyb nebo dokonce omylů, které nelze v případě lékaře, jako člověka, nikdy zcela vyloučit. Výsledek použitého testu již nebude závislý pouze na zkušenostech a úsudcích lékaře, ale půjde o exaktní výstup obsahující opakovatelný výsledek odpovídající aktuálnímu stavu pacienta.

**Objektivní výstup testů rovněž zajistí možnost „jednoznačného“ hodnocení průběhu rehabilitace** za určité časové období. Objektivní výsledky lze dále snadno matematicky pracovat a tím vytvořit systém, jenž bude lékaři nápomocen, aniž by jej nahrazoval. Lékař již nebude odkázán pouze na své zkušenosti, ale bude mít možnost svůj úsudek konzultovat s navrhnutým počítačovým výstupem a případně si uvědomit detaily, kterých by si sám nevšiml. Tyto informace mohou být pro lékaře velmi přínosné, neboť v oboru rehabilitace strabismu nelze příliš experimentovat.

Počítačové řešení nejen diagnostických, ale i rehabilitačních úloh však poskytuje jednu velmi důležitou vlastnost a tou je možnost ukládání skutečně všech informací z celého průběhu úlohy, nejen těch v současnosti využitelných. Takto **lze například kdykoli z uložených výsledků vytvořit přehled ve formě grafu, který je zejména pro lékaře, ale i pro pacienta**



**mnohem vypovídající než čísla** zapsaná na několika různých místech ve formulářích. Neocenitelnou výhodou počítačového řešení testů a vhodného uložení z nich získaných informací je možnost jejich pozdějšího využití pro hromadné zpracování a zejména výzkumné účely.

### 3 Hlavní cíle práce

- **Zhodnocení a analýza nejčastěji se vyskytujících nepřesností v klasickém diagnostickém procesu**, ve kterém podstatnou roli hraje subjektivním vjemu pacienta a subjektivní hodnocení lékaře.
- **Výběr testů a mechanických přístrojů určených pro standardní vyšetření poruch správného vidění, které lze vhodně nahradit pomocí takového SW řešení**, které zajistí objektivizaci výstupu.
- **Vytvoření a ověření dalších nových charakteristik, jež současné testy neposkytují**, ale které mohou znatelně přispět k celkovému zkvalitnění diagnózy.
- **Návrh architektury a vytvoření vhodného datové úložiště pro záznam dat a informací z různých typů SW realizovaných testů** s ohledem na vnitřní obsahovou strukturu dat.
- **Pilotní testování navrženého systému a následná analýza získaných experimentálních výsledků** s cílem ověřit význam nově navržených charakteristik z hlediska přínosu pro diagnostiku.
- **Návrh, vytvoření a testování znalostního systému pro podporu rozhodování lékaře při stanovování diagnózy poruch okohybného aparátu člověka**, který bude interpretovat výsledky získané z výše uvedeného systému pro diagnostiku oka a současně využívat databázi registrovaných příkladů.
- **Využití navržených znalostních diagnostických nástrojů pro objektivizaci hodnocení průběhu rehabilitačních úloh** za účelem nejen kontroly, ale rovněž sledování vývoje léčby pacienta.
- **Návrh a pilotní testování rehabilitačních pomůcek a nástrojů využitelných i v domácím prostředí**, jež by se adaptovaly podle vývoje léčby pacienta a tím ji vytvářely stále efektivní.

### 4 Současný stav

**Přístrojové vybavení.** I přes neustálý rozvoj lékařského oboru strabismu neboli šilhavosti jsou v současné době **stále ve velké míře využívány starší přístroje a subjektivní techniky** nejen pro diagnostiku jednotlivých poruch, ale rovněž k vlastní léčbě neboli rehabilitaci. **Největší překážkou je samozřejmě vysoká cena nových přístrojů a pomůcek**, které si ordinace nemohou dovolit. Další problém spočívá v prostorové náročnosti těchto přístrojů, nejen původních, ale i těch nových. Každý přístroj nebo pomůcka je vytvořena většinou jako zcela samostatná jednotka. Další důvod malého rozšíření nových pomůcek a přístrojů spočívá v jejich značně odlišném ovládní.

V současné době **prakticky nejsou dostupné levné přístroje a pomůcky pro diagnostiku a rehabilitaci strabismu**. Na jedné straně lze „zakoupit“ starší již vyřazené přístroje, případně

jejich novější „čínské nebo indické“ napodobeniny za cenu v řádu tisíců. **Na druhou stranu lze „celkem snadno pořídit“ moderní přístroje, jejichž cena je však od stovek tisíců do jednotek milionů.**

Samozřejmě existují nové a moderní mechanické přístroje, ale ty jsou však dostupné pouze pro velká zdravotnická zařízení. I přes jejich velmi moderní řešení však obsahují spoustu nevýhod a nedostatků jako například:

- **Mezi největší patří jejich uzavřenost.** Poskytují pouze jeden typ a způsob výstupu.
- **Existují však i levnější počítačové verze některých diagnostických testů** jako například Hessovo plátno a to převážně z akademického prostředí. Ty však mají tyto hlavní nevýhody:
  - o **Autor již svoji práci před několika lety uzavřel** a systém nebude vyvíjet [9].
  - o Tyto SW přístroje **jsou pouhými kopiemi původních přístrojů** a neposkytují žádné dodatečné informace, které by bylo možno pomocí výpočetní techniky snadno získat.
  - o **Jejich výstup je pevně daný.** Lékař obdrží výstup ve formě čísla na obrazovce, nebo vytištěný formulář v předem daném tvaru. K další informace jsou nedostupné.
- Jsou i situace kdy velká lékařská zařízení pořídí nákladný a drahý přístroj od renomované firmy, ale při jeho **prvním použití zjistí, že výstup neodpovídá jejich očekávání.**

**Objektivnost vyšetření.** Tato otázka je poněkud diskutabilní. Pokud by byly ordinace vybaveny moderními přístroji, tak je samozřejmě objektivnost vyšetření celkem vysoká. **Většina ordinací však stále využívá starší přístroje,** kde převážně záleží na zkušenostech a praxi lékaře a objektivnost testu je mnohem nižší nebo dokonce není vůbec zaručena. Často i **sami lékaři vykonávají příslušné testy poněkud odlišným způsobem.** Test stává velmi těžko opakovatelný se stejným výsledkem i v rámci jednoho pracoviště. Rovněž nelze snadno porovnávat výsledky téhož testu za různá časová období.

**Výsledky měření a testů.** Existují nemocniční lékařské informační systémy, v nichž jsou uloženy záznamy pacientů. Ty však **obsahují ve většině případů pouze konečné diagnózy** a v lepším případě výsledky některých dílčích testů. Konečnou diagnózu určí lékař a do informačního systému ji tedy vloží. Naměřené hodnoty z průběhu testů, již v informačním systému nejsou přítomny vůbec.

**Výstupy testů a úloha.** Výstupem každého testu a v podstatě i přístroje je příslušný formulář nebo grafické znázornění. Ve většině případů jde pouze o výsledný záznam, jenž zachycuje okamžitý stav pacienta. Tyto **záznamy neobsahují informace, jak pacient spolupracoval, jak si počínal, jak jistě a odhodlaně odpovídat** nebo jak časově dlouho konkrétní test trval. Výstup tedy zdaleka neobsahuje informace, **jak jsou udané výsledky věrohodné** a jakou váhu jím má lékař přisuzovat.

**Využití v domácí léčbě.** Existují, snad pouze zahraniční SW programy, jež jsou částečně zaměřeny na domácí rehabilitaci strabismu. Všechny **tyto SW pomůcky jsou bez jakékoli zpětné vazby pro pacienta, natož pro lékaře.** Pacient v podstatě řeší úlohu nebo hraje vhodně upravenou hrou, ale nemá žádnou informaci a o tom zda se jeho rehabilitace ubírá

správným směrem. Zmíněné SW nástroje, tedy **neobsahují žádný vyhodnocovací aparát natož vlastní adaptivnost** na stav pacienta.

**Zpracování výsledků.** I přes velký rozvoj výpočetní techniky jsou „počítače“ v lékařství v podstatě stále využívány pouze jako rychlejší a přesnější nástroje pro získání totožného typu informací, jaké by byly získány pomocí původních přístrojů. Jsou v podstatě zcela degradovány na dočasná záznamová zařízení s pořízením pevného typu výstupu nebo tisku výsledků.

**Podpora rozhodování lékaře.** Existující jak mechanické, tak i SW přístroje jsou zaměřeny pouze na vyšetření, tj. podání výsledků z testů [2]. **Neobsahují žádnou podporu pro lékaře při stanovování diagnózy.** Lékař sice obdrží přesnější a podrobnější údaje neboli informace, ale **rozhodnutí při stanovení diagnózy je stále zcela na lékaři.** V akademickém prostředí lze najít snahy o vytvoření určité podpory pro rozhodování lékaře při stanovování diagnózy [3] [4] [5] [6] [7]. Ty jsou však většinou několik let staré bez dalšího vývoje. Nebo jsou určeny pro velmi omezené typy případů a uživatelů [8].

## 5 Podstata a přínos navrženého řešení

### 5.1 Objektivizace vyšetřovacích metod

Nejvýznamnějším přínosem navrhovaného SW řešení je **objektivizace výstupu některých diagnostických testů a postupů**, jež jsou běžně používány pro diagnostiku strabismu. Při manuální diagnostice jde do velké míry o subjektivní hodnocení stavu pacienta ze strany lékaře, který v současnosti nastavuje parametry přístroje, stanovuje výstup podle informací od pacienta, nebo klade otázky a možnosti. Výstup podléhá vícenásobné iteraci a mnohdy není podle představ pacienta ani lékaře. Zde velmi záleží na zkušenostech lékaře, jak aktuální stav zhodnotí. Tuto subjektivní složku lékaře je potřeba co nejvíce odstranit.

Ve výstupu je rovněž přítomna subjektivní složka pacienta, ale tu nelze odstranit vždy, protože nějaké testy jsou na tomto principu přímo založeny, například kdy pacient informuje, co skutečně vidí. U jiných testů lékař rovněž „nepřímo“ ovlivňuje výpověď pacienta svými dotazy.

SW konstrukce diagnostických testů umožňuje **přenést aktivitu na stranu pacienta, a tak výrazně omezit lékařův vliv**: pacient sám podle vlastního uvážení nastavuje výstupní parametry, nebo stanovuje výstup testu. SW testy jsou tedy navrženy v podstatě „opačným“ stylem než doposud.

Příkladem může být test fuze, kdy původně lékař podle informací od pacienta nastavoval parametry přístroje, aby z pohledu pacienta dosáhl překrytí dvou obrazců. Nyní přímo sám pacient pomocí tlačítek, případně myši nastavuje výstupní obraz. Subjektivní složka lékaře je tedy vhodně, někdy i zcela odstraněna a výstup testu je poté mnohem objektivnější a spolehlivější.

U jiných testů byla relativně velká možnost ovlivnění výstupu pacienta lékařovou otázkou (Worhova světla) typu: vidíte světla ..., nebo ...? Všechny možnosti ani lékař třeba neuvedl a pacient si nějakou vybral. Lékař vždy navrhl možnost, avšak tu nejběžnější a pacient, často neznalý všech variant si měl vybrat. Test je nyní koncipován jako zcela obrázkový a pacient ze všech zobrazených možností volí pacient tu nejvhodnější. Lékař dotazy již neklade a tím pacienta neovlivňuje.

**Odstranění nevhodných vlivů ze strany lékaře a částečně i pacienta** přineslo však i další výhody. Průběh testu je **časově rychlejší**, pacienti jsou **klidnější** během testu, protože odpadá

strach z nesprávné odpovědi. Výstupy jsou mnohem **přesnější**, protože výstup tvoří přímo pacient, nikoli lékař. Problémy s mechanickými pomůckami byly převedením na SW programy zcela odstraněny.

Kromě zpřesnění výstupu testu, což je u SW programů samozřejmé, došlo současně k získání velkého množství nových dynamických informací, jež mohou celkový výstup dále zkvalitnit. Byly **definovány dvě hodnoty vypovídající o věrohodnosti výstupu**.

A) *Nestabilita poruchy pacienta* – Indikuje, jak je udaný výstup z pohledu pacienta nestabilní. Zda pacient například při umístění bodu na obrazovce nastaví cílovou pozici okamžitě, nebo bodem značně pohyboval. Tedy nemohl cílovou pozici nalézt z důvodu nestability své poruchy.

B) *Nejistota pacienta* – Indikuje, jak si byl pacient jistý při stanovení výstupu. Zda pacient potvrdil svou odpověď nebo výstup okamžitě, nebo nějaký čas váhal.

Tyto hodnoty jsou získány z průběhu testu, poté vyčísleny a jsou tudíž porovnatelné. Výstupní hodnocení některých testů bylo tedy doplněno o tyto nové parametry. Jde o testy: test fixace, a Hessovo plátno, kde velikost bodu udává nestabilitu pacienta a barva nejistotu. Lékař tedy při hodnocení výstupu testů získá v podstatě **další „rozměr“ hodnocení**.

Jelikož jsou testy navrženy a vytvořeny jako SW programy, je rovněž dán jejich **„jednoznačný“ postup**. Test bude tedy vždy nejen **hodnocen**, ale rovněž **vykonáván jednotně**.

Pro účely této práce bylo vytvořeno 10 SW diagnostických testů a byly hodnoceny jejich přínosy, tedy objektivnost, vypovídací hodnota, čas potřebný pro vykonání. U většiny testů je čas potřebný pro jejich vykonání zkrácen na 1/2 až 1/3. U některých testů, zhruba dvou je však čas naopak nepatrně prodloužen z důvodu získání většího množství informací. Mnoho testů disponuje variabilitou, která není dostupná u žádných známých, ani komerčních řešení a jsou tedy vhodné pro mnoho typů pacientů. Samozřejmě i pro malé děti i handicapované občany.

Pro další zvýšení objektivizace vyšetření, zde asi spíše řečeno „vypovídací hodnoty a věrohodnosti“ výstupu, byla vytvořena kolekce odlehčených diagnostických testů, které jsou dostupné jako webové aplikace. Před vlastním diagnostickým testem je pacientům doporučeno se s těmito webovými testy seznámit a vyzkoušet si je. Jak bylo zjištěno, tak pro velmi malé děti je toto neocenitelným přínosem. Poté při aplikaci skutečných testů je proces vyšetření nejen mnohem rychlejší, ale zejména mnohem přesnější a tím současně mnohem přínosnější nejen pro lékaře, ale rovněž i pro pacienta.

## 5.2 Ukládání naměřených dat

V současné době nejsou data z průběhu testů v podstatě vůbec ukládána. Jsou zaznamenávány pouze koncové výsledky a to číselně, nebo pomocí obrázků. Výstup testu tedy nelze na základě měření opětovně zkontrolovat, nebo velmi těžko lze použít dílčí výsledky jednotlivých testů za účelem jejich společného zobrazení, případně hodnocení. Při diagnostických testech se hodnotí pouze výstup příslušného testu, avšak při hodnocení průběhu rehabilitace je nutno získat informace za celé období rehabilitace. Ty v případě potřeby zobrazit formou vhodného grafu a tak získat celkový přehled.

Byla tedy navržena a vytvořena **databáze** nazývaná „univerzální úložiště“, jež **stanovuje vhodný formát uložených dat** pro jejich automatické a hromadné zpracování a rovněž grafické zobrazení. Při hodnocení průběhu rehabilitace, byla tedy **odstraněna závislost na konkrétním přístroji nebo testu**. Informace ze všech testů jsou uloženy na jednom místě a

lékař již nemusí pracně obcházet několik přístrojů nebo databází, aby získal například graf průběhu testů na konkrétním přístroji. Rovněž lze **zobrazit výsledky všech rehabilitačních testů za určité časové období** současně v jednom grafu, což má pro **objektivní hodnocení pokroku v rehabilitaci** neocenitelnou výhodu.

Výhodou realizovaného datového úložiště je absolutní nezávislost uložených dat na jejich zdroji, tedy přístroji, což podporuje univerzální zpracování, hodnocení a zobrazení.

### 5.3 Podpora při stanovení diagnózy

V rámci této práce byl navržen a vytvořen **SW systém pro podporu rozhodování lékaře** při stanovení diagnózy pacienta, který kombinuje **příkladové usuzování s využitím rozhodovacích pravidel**.

Do systému jsou **průběžně vkládány případy**, které lékař řeší a stanovuje jejich diagnózu, a ty jsou **později používány jako příklady neboli vzory** při návrhu diagnózy pro nové případy. Posuzování vstupu od pacienta je **založeno na vyšetření pomocí Hessova plátna**. Výsledná data, odpovídající pozicím zkoumaných bodů, mají výrazně relační charakter: žádná jejich podmnožina sama o sobě nestačí pro charakterizaci některých diagnóz. Proto jsou odpovídající **obrazce charakterizovány pomocí nových dobře agregovaných atributů** a s jejich pomocí **převezeny na několik úrovní symbolického popisu**, který je vhodnější pro další zpracování. Stanovení některých hodnot a parametrů bylo provedeno experimentálně pomocí souboru dat od několika pacientů.

Nový **případ je porovnáván s příklady z databáze** systému a tím je hledán nejpodobnější a tady nejbližší vzor na nejobecnější úrovni, který je pak dále upřesňován. Systém lze rovněž obohatit o pravidla, jež mohou stanovení diagnózy zkvalitnit. **Některé případy neboli poruchy lze pomocí pravidel** popsat mnohem snadněji než pomocí příkladů. Například zdravý jedinec: posun obrazce = 0; natočení obrazce = 0; tvar obrazce = správný čtverec. V některých případech lze z dostatečného množství příkladů automaticky stanovit „experimentální“ pravidla pro danou poruchu.

Lze se tedy rozhodnout, zda pro identifikaci diagnózy budou zadávány příklady a **systém bude hledat „nejbližší podobný“**, nebo bude **stanoveno „striktní“ pravidlo**. Oba způsoby návrhu diagnózy, podle příkladů a podle pravidel, se samozřejmě vzájemně doplňují pro zkvalitnění celkového výstupu. Každá **položka v systému**, příklad i pravidlo nese **informaci o své věrohodnosti** a tudíž lze i stanovit **celkovou věrohodnost** navržené **diagnózy**.

Výstupem systému však není pouze navržená diagnóza a jejich seřazení podle priority, ale rovněž **určitý protokol jak systém k dané diagnóze dospěl**, tedy **jaký příklad** byl vyhodnocen jako nejbližší, nebo **jaká pravidla** byla použita. Tato skutečnost může lékaři nejen velmi pomoci při rozhodování o diagnóze formou uvědomění si některých detailů, ale rovněž může **odhalit nepřesnosti v databázi příkladů a pravidel**.

I když již byly určité pokusy o automatické hodnocení výstupu Hessova plátna, tak zde **navržený a uskutečněný postup** využívající současně příklady a pravidla je **velkým krokem vpřed v tomto oboru**. V případě porozumění obrazci a možnosti zobrazení protokolu, jak byla navržená diagnóza získána, jde o skutečně velký přínos.

Vytvořený systém nelze otestovat pro všechny možné diagnózy, neboť nejsou k dispozici jejich příklady. Pro naučení a ověření činnosti systému bylo k dispozici zhruba 100 oklasifikovaných záznamů Hessova plátna obsahujících však pouze nejběžnější diagnózy. Systém je samozřejmě určen pro použití v běžných ordinacích a tím pro postupné naplnění potřebnými příklady.

## 5.4 Objektivizace průběhu rehabilitace

Nejen vyšetřovací testy, ale **současně průběh rehabilitace je nutno objektivně hodnotit**. Hodnocení pomocí „lepší“, „stejný“, nebo „horší“ není v mnoha případech postačující. Jelikož rehabilitace je již nyní uskutečněna pomocí několika SW programů, vytvořených většinou podle principu mechanických pomůcek, tak lze velmi **snadno získávat vhodné informace** z průběhu vlastní **rehabilitační činnosti**.

Jako příklady lze uvést: vzdálenost umístovaných bodů, obkreslování obrázků, průchod bludištěm bez kolize se stěnou nebo doplňování různých obrázků. **Testy jsou tvořeny formou her**, neboť nejčastějšími pacienty jsou děti. Neustále jsou **sbírány informace** z průběhu rehabilitace, **ukládány a poté vyhodnocovány**. Každý test tedy poskytuje určité informace o činnosti pacienta a ty lze **formou grafu prezentovat**. Lze tedy kdykoli **objektivně hodnotit celkový průběh** rehabilitace.

Hodnocení úspěšnosti průběhu rehabilitace však není ponecháno zcela na lékaři. Za uběhlé časové období se samozřejmě **automaticky hodnotí, zda žádoucí veličina směřuje ke stanovenému cíli**, zda obsahuje výkyvy, nebo se stav pacienta naopak zhoršuje. Po každé rehabilitační úloze neboli čase lze tedy **průběh léčby přehodnotit a případně upravit**.

Rovněž byly navrženy a vytvořeny **úlohy, jež se průběžně přizpůsobují stavu pacienta** a léčba je tedy efektivnější a cílenější. Toto je rovněž velkým přínosem této práce.

Zcela unikátním výstupem této práce je **návrh a prototyp systému pro domácí rehabilitaci**. Byla vytvořena kolekce vhodných webových aplikací, které nejen disponují **schopností automatické adaptace na stav pacienta** a tím vytvářejí rehabilitaci stále cílenou a účelnou, ale **současně odesílají své výsledky zpět lékaři**. Lékaři je poskytnuta nejen informace o aktivitě pacientů, ale rovněž přehled výsledků domácí rehabilitace od jednotlivých pacientů. Jde o zcela unikátní přístup k vytvoření **aktivní domácí rehabilitace strabismu**.

## 6 Zhodnocení

Všechny vytyčené cíle práce byly splněny. Některé byly již „zcela“ splněny u průběhu vlastního řešení práce například vytvoření SW diagnostických a rehabilitačních nástrojů pro zajištění dostatečné objektivizace. Jiné byly v průběhu práce v podstatě zahájeny a v současné době dochází k jejich skutečnému naplnění jako například hodnocení efektivnosti rehabilitace.

**Jedním z hlavních cílů byla tedy objektivizace diagnostických a rehabilitačních testů a úloh**. Tento bod byl splněn v rámci několika často využívaných testů a úloh. Na nich byl **demonstrován nejen princip jejich převedení na SW programy** a tím získání přesnějších a objektivnějších výstupů, ale rovněž byl vyzdvihnut přínos tohoto řešení v možnosti **získání dalších nových informací z průběhu vyšetření pacienta**. Bylo docíleno nejen zkrácení časové náročnosti některých testů, ale současně vyšší vypovídací hodnoty formou vhodného grafického výstupu. **Velkým přínosem je jistá standardizace některých postupů vyšetření**.

**Dalším cílem byl návrh a vytvoření datového úložiště**. Bylo vytvořeno univerzální datové úložiště pro mnoho typů získaných dat za účelem jejich nejen **snadné správy, ale zejména hromadného zpracování, průběžného hodnocení a grafického podání lékařům**.

**Dalším stěžejním cílem bylo navržení a vytvoření systému pro podporu lékaře při návrhu diagnózy**. Jelikož kvalita tohoto systému je přímo úměrná počtu vložených znalostí, v našem případě příkladů a pravidel, tak bylo uskutečněno v podstatě pouze jeho základní testování a ověřování. **I z relativně malého počtu příkladů a při současné podpoře několika základních pravidel systém vykazoval vcelku dobrou úspěšnost**. Běžné diagnózy

byly navrhovány s velkou úspěšností a při méně častých případech byly přinejmenším vhodně zobrazeny nápomocné informace. Navržený systém využívající jak příklady, tak současně i pravidla a disponující schopností podání navržené diagnózy je velkým přínosem pro podporu při rozhodování lékaře.

**Posledním cílem byla podpora při návrhu a objektivním hodnocení průběhu rehabilitace.** Zde byl vytvořen unikátní systém pro domácí rehabilitaci pacienta **obsahující několik webových adaptivních úloh a poskytující lékaři komplexnější přehled o domácí rehabilitaci pacienta.**

Vzniklý unikátní SW systém, ať diagnostické tak rehabilitační úlohy, se v **současné době využívá aktivně na třech velkých lékařských pracovištích a dalších třech testuje.** Je udržován stálý kontakt se zhruba **deseti lékaři** a úlohy pro domácí rehabilitaci v současné době využívá **přes 100 pacientů.** Pro skutečné zhodnocení přínosu této práce je potřeba určité časové období, Domácí rehabilitace okohybných poruch je často záležitostí od několika měsíců a někdy až do několika let.

**Ohlas této práce je mezi lékaři a pacienty velký.** V současné době probíhá úspěšně jednání se „Společenstvím ortooptistů a ortooptistek“ za účelem získání určitého doporučení pro využívání výsledků této práce. Po ukončení testovacího období bude snaha o ochranu množství výsledků této práce **formou užitných vzorů nebo patentů.** Rovněž jsou již k dispozici návrhy na další spolupráci to i ze zahraniční.

## 7 Literatura

- [1] Strabismus (2. Upravené vydání), Doc. MUDr. Gabriela Divišová CSc. a spolupracovníci, AVICENUM, zdravotnické nakladatelství – Praha, 1979, ISBN 80-201-0037-7
- [2] Klinická neuro-oftalmologie, Jiří Otradovec, Grada Publishing a.s., 2003, ISBN 80-247-0280-0
- [3] Binocular Vision and Ocular Motility – Theory and management of strabismus (Sixth Edition), Gunter K. von Noorden, MD; Emilio C. Campos, MD; Mosby 2002, ISBN 0-323-01129-2
- [4] A digital diagnosis instrument of Hess screen for paralytic strabismus, Liping Wang – Dong Yu – Feiyue Qiu – Jiazhen Shen, Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2007. ICBBE 2007. The 1st International Conference on, 1234 - 1237, ISBN: 1-4244-1120-3
- [5] An Automated System of Strabismus Management, David Kaulr – Denis Stark – Kevin Starkt, Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol. 30, No. 2, 276-287, February 1989
- [6] Binocular Vision Impairments Therapy Supported by Contactless Eye-Gaze Tracking System, Łukasz Kosikowski – Andrzej Czyżewski, K. Miesenberger et al. (Eds.): ICCHP 2010, Part II, LNCS 6180, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 373–376, 2010
- [7] Computer Based System for Strabismus and Amblyopia Therapy, Łukasz Kosikowski – Andrzej Czyżewski, Proceedings of the International Multiconference Computer Science and Information Technology, IMCSIT. VOLUME 4, 2009, pp. 493 – 496, ISBN 978-83-60810-22-4
- [8] Three-Dimensional Hess Screen Test with Binocular Dual Search Coils in a Three-Field Magnetic System, Oliver Bergamin – David S. Zee – Dale C. Roberts – Klara Landau – Adrian G. Lasker – Dominik Straumann, Investigative Ophthalmology & Visual Science, March 2001, Vol. 42, No. 3, 660 – 667
- [9] Thomson Software Solution, Software for Eye Care  
[http://www.thomson-software-solutions.com/html/pc\\_hess\\_screen.html](http://www.thomson-software-solutions.com/html/pc_hess_screen.html)



## 8 Shrnutí

Vytvořením několika SW nástrojů pro diagnostiku a rehabilitaci strabismu se tyto pomůcky staly dostupné pro širší řadu oftalmologických pracovišť. Přispívají nejen ke zrychlení vyšetření, ale současně i ke zkvalitnění výstupů jednotlivých vyšetření.

Systém pro podporu lékaře při návrhu diagnózy nebo rehabilitačního procesu se nesnažil samotného lékaře nahradit, ale poskytnout mu množství podkladů pro objektivnější rozhodnutí. Z tohoto důvodu jsou jednotlivé výstupy prezentovány převážně grafickou formou na místo číselné nebo dokonce textové.

Výsledky práce jsou již dnes aktivně využívány na několika lékařských pracovištích, kde zdatelně přispívají ke zkvalitnění nejen diagnostického, ale i rehabilitačního procesu. Výstupy práce jsou jak lékaři, tak i pacienti přijímány s velkou ochotou. Počet lékařů využívající zejména vytvořené SW diagnostické nástroje v ordinaci a počet pacientů využívající zejména domácí SW aplikace pro rehabilitaci se neustále zvyšuje.

Dalším cílem do budoucna je rozšířit stávající soubor diagnostických a rehabilitačních SW nástrojů nejen pro pokrytí většího množství typů vyšetření, ale zejména pro získání většího množství informací o stavu pacienta.

## 9 Seznam publikací

### Publikace vztahující se k tématu práce

#### Časopisy:

#### **Hand-free Interaction with a Computer and Other Technologies**

Fejtová Marcela - Figueiredo L - Novák Petr - Štěpánková Olga - Gomes A  
Universal Access in the Information Society 2009 vol 8, ISBN 1615-5289, 277 – 295

#### Konference:

#### **SW podpora pro diagnostiku a léčení strabismu**

Černý, R. - Malec, J. - Novák, P. - Kozelková, L.  
In: Trendy v dětské oftalmologii a strabologii 2010. Praha: Česká společnost dětské oftalmologie a strabologie, 2010, s. 29. ISSN 1213-1032.

#### **SW podpora pro diagnostiku a léčení strabismu**

Černý, R. - Malec, J. - Novák, P. - Kozelková, L.  
Česká oftalmologická společnost ČLS JEP. 2010-10-15.

#### **Univerzální DB zejména pro lékařská data**

Petr Novák  
Znalosti 2010, Jidřichův hradec, s. 344-347. ISBN 978-80-248-1279-3

#### **TEDA, a SW tool supporting customization of eye cracking algorithms**

Novák Petr - Moc Pavel - Štěpánková Olga - Uller Miroslav - Nováková Lenka  
COGAIN 2009, Denmark, Copenhagen, ISBN 978-87-643-0475-6, 81 – 84

#### **Basic Applications for Handicapped people**

Petr Novák - Miroslav Uller - Olga Štěpánková  
AAL Forum, Denmark 2010, Odense, (přijato, před vydáním sborník)

#### **EasyControl - Universal Control System for People with Limited Mobility**

Novák, P. - Fejtová, M.  
In: Proceedings of Workshop 2008 [CD-ROM]. Praha: Czech Technical University in Prague, 2008, vol. A, p. 164-165. ISBN 978-80-01-04016-4.

#### **EasyControl - Universal Control System**

Fejtová, M. - Novák, P. - Štěpánková, O.  
In: Computers Helping People with Special Needs. Berlin: Springer, 2008, vol. 1, p. 1024-1029. ISBN 978-3-540-70539-0.

#### **Univerzální úložiště dat převážně pro lékařské aplikace**

Novák Petr - Nováková Lenka.  
In: Znalosti 2007 Sborník příspěvků 6. ročníku konference. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, 2007, s. 344-347. ISBN 978-80-248-1279-3.

#### **The Universal Data Storage Primary For Medical Applications**

Novák Petr - Nováková Lenka

In: Proceedings of Workshop 2007 [CD-ROM] Prague CTU, 2007, 502-503. ISBN 978-80-01-03667-9.

### **Přístrojová podpora pro rehabilitaci strabismu**

Fejtová Marcela - Novák Petr

In: Trendy v biomedicínském inženýrství. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství, 2007, s. 316-319. ISBN 978-80-01-03777-5.

### **Programová podpora pro rehabilitaci strabismu**

Fejtová Marcela - Novák Petr - Uller Miroslav

In: Trendy v biomedicínském inženýrství. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství, 2007, s. 320-323. ISBN 978-80-01-03777-5

### **Možnosti využití moderních senzorů pro měření v medicíně**

Fejtová, M. - Novák, P.

In: Lékař a technika. 2006, roč. 36, č. 2, s. 76-79. ISSN 0301-5491.

### **Tool for Data Visualization in 3D**

Nováková Lenka - Novák Petr

In: Proceedings of Workshop 2006 [CD-ROM]. Prague: CTU, 2006, vol. B, ISBN 80-01-03439-9.

### **Kapitola v knize:**

#### **Asistivní technologie**

Štěpánková, O. - Fejtová, M. - Novák, P.

In: Umělá inteligence (5). Praha: Academia, 2007, s. 497-512. ISBN 978-80-200-1470-2.

### **Nepublikované přednášky:**

#### **Systém I4Control(R) = řízení počítače okem**

Fejtová, M. - Novák, P. - Štěpánková, O.

Czech SIGCHI (Special Interest Group on Computer-Human Interaction). 2007-05-29.

#### **Systém pro sběr, přenos a vyhodnocení patientských dat**

Fabián, V. - Fejtová, M. - Novák, P.

Radiologická klinika LF MU, Fakultní nemocnice Brno. 2007-03-29.

### **Získaná významná ocenění:**

**2006, Zlatá medaile veletrhu MSV Brno** – Systém I4Control pro bezkontaktní ovládání technických zařízení.

### **Ostatní publikace**

#### **Konference:**

#### **Výukový model inteligentní budovy**

Sova, J. – Novák, P. – Uller, M. – Strašrybka, T. – Kovář, J.

Sborník příspěvků 10. ročníku konference ZNALOSTI 2011, VŠB-TUO, Ostrava, p. 313 – 316, ISBN 978-80-248-2369-0

### **Simple Framework for Logic Games**

Petr Novák - Tibor Strašrybka - Miroslav Uller - Olga Štěpánková  
AAL Forum, Denmark 2010, Odense, (přijato, před vydáním sborník)

### **Application for Home Environment Control**

Petr Novák , Miroslav Uller, Pavel Štastný, Olga Štěpánková  
AAL Forum, Denmark 2010, Odense, (přijato, před vydáním sborník)

### **Ambient intelligence for the disabled**

Petr NOVÁK, Tomáš KRAJNÍK, Miroslav ULLER, Olga Štěpánková  
Ambient Intelligence Forum 2010 (přijato, před vydáním jako vybrané články v knize)

### **Home and environment control**

Novák Petr - Štěpánková Olga  
COGAIN 2009, Denmark, Copenhagen, ISBN 978-87-643-0475-6, 35 - 38

### **MULTI-AXES FORCE TRANSDUCER WITH SUPPORT THE ROBOTIC SYSTEM FOR ACTING PRESSURE IMAGE VISUALISATION**

Volf, J. - Vitek, K. - Novák, P. - Novák, M. - Vlček, J. - et al.  
In: XIX IMEKO World Congress 2009 - Fundamental and Applied Metrology [CD-ROM].  
Lisbon: Instituto Superior Técnico/Instituto de Telecomunicações Portugal, 2009, p. 2278-2281. ISBN 978-963-88410-0-1.

### **OLDES: new solution for long-term diabetes compensation management**

Novák, D. – Štěpánková, O. – Uller, M. – Maly, K. – Novaková, L. - Novák, P.  
30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vancouver 2008, p. 4346 – 4349, ISBN 978-1-4244-1815-2

### **Víceosý snímač rozložení tlaků a smyku**

Volf, J. - Vitek, K. - Děd, P. - Novák, P. - Štastný, J. - et al.  
In: Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky.  
Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008, s. 40-42. ISBN 978-80-01-04087-4.

### **EasyControl - Universal Control System**

Fejtová, M. - Novák, P. - Štěpánková, O.  
In: Computers Helping People with Special Needs. Berlin: Springer, 2008, vol. 1, p. 1024-1029. ISBN 978-3-540-70539-0.

### **Multi-axes Transducer of Pressure Distribution and Slip**

Volf Jaromír - Vitek K - Novák Petr - Děd Pavel - Štastný J - et al.  
In: 25th Symposium on Advances in Experimental Mechanics. Prague: Czech Technical University - Fac. of Mechanical Engineering, 2008, vol. 1, p. 85-86. ISBN 978-80-01-04162-8

### **AI Support for a Gaze Controlled Wheelchair**

Novák Petr - Krajník Tomáš - Přeučil Libor - Fejtová Marcela - Štěpánková Olga  
COGAIN 2008, Czech republic, Prague, ISBN 978-80-01-04151-2, 19 - 22

### **Methodical Handbook for Creating Multimedia Courses**

Fejtová, M. - Novák, P.

In: Proceedings of Workshop 2007 [CD-ROM]. Prague: CTU, 2007, ISBN 978-80-01-03667-9.

### **Gait Locomotion Analysing System for Relevant Measurement Pressure Cognition**

Volf, J. - Papežová, S. – Vlček, J, Novák, P.

The 3rd International Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions, Faculdade de Motricidade Humana, Lisbon 2007, p. 155 – 161, ISBN 978-972-735-145-9

*When can eyes make up for hands?*

Fejtová Marcela - Novák Petr - Fejt Jan - Štěpánková Olga,  
COGAIN 2007, Itali, Torino, 46 – 49

### **System I4Control: Contactless control PC**

Fejtová, M. - Fejt, J. - Novák, P. - Štěpánková, O.

In: Proceedings of IEEE 10th International Conference on Intelligent Engineering Systems 2006 [CD-ROM]. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2006, ISBN 1-4244-9709-6.

### **Orthopaedic Investigation System For Medical Non-Invasive Diagnostics**

Volf, J. – Vlček, J. – Papežová, S. – Novák, P.

IMEKO - XVIII World Congress and IV Brazilian Congress of Metrology, Rio de Janeiro 2006, IMEKO, p. 120 – 123

### **Plantrograf V05**

Volf, J. - Vlček, J. - Novák, P. - Papežová, S.

In: Sborník odborného semináře Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky. Praha: Ústav přístrojové a řídicí techniky FS ČVUT, 2006, s. 37-41. ISBN 80-01-03491-7.

### **The Design of Architectures for Multiagents Systems**

Novák, P. – Fejtová, M.

Proceedings of Workshop 2005 - Part A,B, WORKSHOP 2005, ČVUT Praha 2005, p. 784 – 785, ISBN 80-01-03201-9

### **Simulation of Underwater Surveillance by a Team of Autonomous Robots**

Rollo, M. - Novák, P. – Jisl, P.

2nd International Conference on Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, Copenhagen 2005, Springer, p. 207 – 220, ISBN 3-540-28237-8

### **Strategies for Distributed Underwater Survey**

Rollo, M. - Novák, P. – Jisl, P.

4th International Central and Eastern European Conference on Multi-Agent Systems, Budapest 2005, Springer, p. 657 – 660, ISBN 3-540-29046-X

### **Communication Security in Multi-Agent Systems**

Rollo, M. - Novák, P.

In: Workshop 2004 [CD-ROM]. Prague: CTU, 2004, vol. A, p. 276-277. ISBN 80-01-02945-X.

#### **Alarm Root Cause Detection Systém**

Rollo, M. - Novák, P. - Kubalík, J. - Pěchouček, M.

In: Emerging Solutions for Future Manufacturing Systems. New York: Springer, 2004, p. 109-116. ISBN 0-387-22828-4.

#### **Agent Exchange - Virtual Trading Environment**

Hodík, J. - Rollo, M. - Novák, P. – Pěchouček, M.

Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing, HoloMAS 2003, Prague, Sprinreg, p 179 – 188, ISBN 3-540-40751-0

#### **Bezpečný přenos dat v multiagentních systémech**

Novák, P. - Rollo, M.

Znalosti 2003, Ostrava, ISBN 80-248-0229-5, p 362 - 367

#### **Communication Security in Multi-Agent Systems**

Novák, P. - Rollo, M. - Hodík, J. – Vlček, T.

3rd International Central and Eastern Conference on Multi-Agent Systems, Multi-Agent Systems and Applications III, CEEMAS 2003, p 454 – 463, ISBN 3-540-40450-3

#### **Agent Exchange - an Agent Trading Environment**

Rollo, M. - Hodík, J. - Novák, P. – Pěchouček, M.

[Výzkumné zpráva]. Praha: ČVUT FEL, Katedra kybernetiky - Gerstnerova laboratoř

#### **Diagnostické zařízení pro identifikaci kontaktních sil**

Otáhal, J. - Novák, P. - Chalupová, M. - Otáhal, S. - Volf, J.

In: Lékař a technika. 2001, roč. 32, č. 4, s. 100-104. ISSN 0301-5491.

#### **Získaná (významná) ocenění:**

**2010 The IFIA Gold Innovation Medal**, For excellent Invention Deemed to Represent Significant Innovation – New Products, Plantograf V07 (snímač plošného rozložení tlaků), Nuremberg

**2010 IENA Silbermedaille**, International Trade Fair „Ideas-Inventions-New Products“, IFIA International Federation of Inventors' Association IFIA Collective presentation UNGARN, Plantograf V07 (snímač plošného rozložení tlaků) Nuremberg

**2009, Stříbrná medaile**, Moskevský mezinárodní salón inovací a investicí, Snímač plošného rozložení tlaků (ve spolupráci s ČVUT FS, Ústav přístrojové a řídicí techniky)

**2007, 3. Místo Ceny Inovace** – Za účast v soutěži INOVACE ROKU 2007 za Víceosý snímač rozložení tlaků a smyku (Plošný snímač kontaktních sil, ve spolupráci s ČVUT FS, Ústav přístrojové a řídicí techniky)

**2005, 2. Místo Ceny Inovace** - Čestné uznání v rámci soutěže o cenu INOVACE ROKU 2005 za Plantograf V05 (Plošný snímač kontaktních sil, ve spolupráci s ČVUT FS, Ústav přístrojové a řídicí techniky)