

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra biomedicínské informatiky

Obor: Softwarové technologie



Podpora distanční rehabilitace v software RukaRUK

Distant rehabilitation support for RukaRUK software

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval: Bc. Ondřej Antoš
Vedoucí práce: Ing. Jan Mužík, Ph.D.
Rok: 2021



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Antoš** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **465562**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra biomedicínské informatiky**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická informatika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Podpora distanční rehabilitace v software RukaRUK

Název diplomové práce anglicky:

Distant rehabilitation support for RukaRUK software

Pokyny pro vypracování:

Cílem diplomové práce je zásadní přepracování software pro podporu rehabilitace ruky RukaRUK tak, aby jej bylo možné využít pro distanční terapii. Software RukaRUK v aktuální verzi slouží k ambulantní terapii pacientů s hemiparézou horní končetiny pomocí senzoru Leap Motion. Cílem úprav je, aby software umožnil vedle ambulantního použití v nemocnici i samostatné používání v domácím prostředí pacientů pod vzdálenou kontrolou terapeutů. Vedle úprav funkcionalit přepracujte software tak, aby odpovídal současným technologickým a metodickým standardům. Ve spolupráci s terapeuty z Rehabilitačního ústavu Kladruby (RÚ) vypracujte analýzu požadavků, které vyplývají z případu použití v distanční terapii. Na základě této analýzy vytvořte návrh změn v softwaru a následně tento návrh implementujte. Navrhněte protokol a dotazníky a ve spolupráci s konzultantem z RÚ proveďte uživatelské testování na skupině 5-10 terapeutů a cca 15 pacientů po dobu cca 1 týdne. Výsledky uživatelského testování zpracujte a zhodnoťte.

Seznam doporučené literatury:

- [1] František Vaverka, Základy biomechaniky pohybového systému člověka, ed. 2, Vydavatelství Univerzity Palackého, 1997, 40 s., ISBN 8070677279
- [2] Petzold, Ch., Programování Microsoft Windows v jazyce C#, ed. 1, Softpress, Praha, 2003, ISBN 80-86497-54-2
- [3] Patrick F. Dunn, Fundamentals of Sensors for Engineering and Science, ed. 1, Boca Raton : CRC Press, 2011, 98 s., ISBN 978-1-4398-6103-5

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Mužík, Ph.D.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Mgr. Kristýna Hoidekrová (RÚ Kladruby), Mgr. Jakub Pětioký (RÚ Kladruby)

Datum zadání diplomové práce: **15.02.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2022**

.....
doc. Ing. Zoltán Szabó Ph.D.
podpis vedoucí(ho) katedry

.....
prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
podpis děkana(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Podpora distanční rehabilitace v software RukaRUK“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

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), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne

.....
Bc. Ondřej Antoš

Poděkování

Děkuji Ing. Janu Mužíkovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily. Děkuji PhDr. Kristýně Hoidekové za dlouhodobou spolupráci a cenný pohled z praxe.

Bc. Ondřej Antoš

Název práce:

Podpora distanční rehabilitace v software RukaRUK

Autor: Bc. Ondřej Antoš

Studijní program: Biomedicínská a klinická informatika

Obor: Softwarové technologie

Druh práce: Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Jan Mužík, Ph.D.

Konzultanti: PhDr. Kristýna Hoidekrová (RÚ Kladruby)
Mgr. Jakub Pětioký, MBA, DiS. (RÚ Kladruby)

Abstrakt: Cílem práce bylo zásadní přepracování existujícího telemedicínského systému pro podporu rehabilitace ruky RukaRUK, jež vznikl jako součást autorovy bakalářské práce. Přepracování má umožnit využití systému i v distanční rehabilitaci. Systém RukaRUK kombinuje vlastní software a prostorový snímač pohybu ruky Leap Motion Controller. Terapeutický účinek systému je založen na použití metody zrcadlové terapie. Fáze sběru požadavků a uživatelské testování probíhaly ve spolupráci s Rehabilitačním ústavem Kladruby. Testování dotazníkovou formou bylo zaměřeno na hodnocení použitelnosti a uživatelské přívětivosti systému z pohledu terapeutů a pacientů.

Klíčová slova: Leap Motion, Unity, CMP, rehabilitace, zrcadlová terapie

Title:

Distant rehabilitation support for RukaRUK software

Author: Bc. Ondřej Antoš

Abstract: The aim of this thesis is a major rework of hand rehabilitation support system RukaRUK, which was created as part of the author's bachelor thesis. The RukaRUK system consists of a standalone application, spatial hand tracking sensor Leap Motion Controller. Therapeutic effect of this system is based on application of mirror therapy. Requirement discovery and user evaluation phases took place in collaboration with Rehabilitační ústav Kladruby. Questionnaire-based user evaluation was focused on evaluating usability and user friendliness from the perspective of therapists and patients.

Keywords: Leap Motion, Unity, stroke, rehabilitation, mirror therapy

Obsah

Slovník pojmů	viii
Seznam použitých zkratk	ix
Seznam obrázků	x
Úvod	12
1 Přehled současného stavu	13
1.1 Metodologie vývoje software	15
2 Uživatelský výzkum	17
2.1 Klíčové problémy	17
2.2 Scénáře	18
2.3 Hierarchická analýza úkolů	19
2.4 Analýza požadavků	19
2.4.1 Správa databáze pacientů	19
2.4.2 Správa databáze pohybů	20
2.4.3 Terapeutický plán	21
2.4.4 Zrcadlení ruky	21
2.4.5 Přehrávač cvičení	21
3 Návrh	22
3.1 Zásady objektově orientovaného designu	22
3.2 Architektura systému	23
3.2.1 Zrcadlení ruky	25
3.2.2 Komunikační modul	26
3.3 Model databáze	27
3.4 Návrh GUI	29
4 Implementace	32
4.1 Verzování	32
4.2 Unity aplikace	33
4.3 WinUI aplikace	35
4.4 Komunikační modul	36
4.5 Databázová vrstva	36
5 Výsledky	37
5.1 Software	37
5.2 Dotazníky	39
5.3 Uživatelské testování	39
6 Diskuze	43

Závěr	44
Bibliografie	45
Přílohy	48
Dotazník pro pacienty	48
Dotazník pro terapeuty	51
Vyjádření etické komise RÚK	53

Slovník pojmů

imerze Vjem fyzické přítomnosti ve virtuální realitě, pocit hlubokého soustředění či ponoření se do okolí. 18, 39, 42, 43

provázanost (angl. coupling) V softwarovém inženýrství označuje míru vzájemné provázanosti modulů. Nižší je lepší. 13, 24, 33

WinUI 3 WinUI 3 je nejnovější verze front-end frameworku WinUI, která dramaticky rozšiřuje jeho funkcionalitu a je součástí Windows App SDK. 23–26, 33, 35, 36, 43

Seznam použitých zkratk

- API** Application Programming Interface (rozhraní pro programování aplikací). 24, 33
- CMP** cévní mozková příhoda. 12, 14, 15, 44
- ER** Entity-Relationship. 27
- GUI** Graphical User Interface (Grafické uživatelské rozhraní). 23, 29
- HTA** Hierarchical Task Analysis (hierarchická analýza úkolů). 19
- IDE** vývojové prostředí (Integrated Development Environment). 33
- LMC** Leap Motion Controller. 14, 15, 44
- MVC** Model-View-Controller. 23
- MVVM** Model-View-ViewModel. 23
- RÚK** Rehabilitační ústav Kladruby. vii, 13, 39
- UML** Unified Modeling Language. x, 19, 20
- VBT** videogame-based training. 14
- VCS** Version Control System (verzovací systém). x, 32, 33
- VR** Virtual Reality. 14, 15
- WMFT** Wolf Motor Function Test (Wolfův motorický funkční test). 15
- WPF** Windows Presentation Foundation. 23, 25, 36, 43

Seznam obrázků

1.1	Vizualizace vývoje systému RukaRUK	13
1.2	Pohybový senzor Leap Motion Controller [7]	14
1.3	Leap Motion Controller – detail [8]	14
1.4	Časová osa vývoje softwarových procesů [15]	16
1.5	Diagram použitého softwarového procesu	16
2.1	HTA diagram cvičení s RukaRUK	19
2.2	Unified Modeling Language (UML) diagram užití – správa pacientů .	20
2.3	UML diagram užití – správa pohybů	20
2.4	UML diagram užití – patientský režim	20
2.5	UML diagram užití – přepínání Unity	20
3.1	Diagram architektury systému RukaRUK	24
3.2	UML component diagram – RukaRUK	24
3.3	UML component diagram – desktopová aplikace	24
3.4	UML activity diagram – zrcadlení ruky	26
3.5	UML sequence diagram – Request recording	27
3.6	Konceptuální ER diagram	28
3.7	Fyzický ER diagram	29
3.8	Návrh hlavního menu	30
3.9	Návrh View Databáze pacientů	30
3.10	Návrh view Pohyby	30
3.11	Návrh dialogového okna Přidat pacienta	31
3.12	Návrh potvrzovacího dialogového okna	31
4.1	Porovnání popularity verzovacích systémů [24]	32
4.2	Webové rozhraní VCS Azure DevOps Server 2020	33
4.3	Diagram grafu závislostí projektů v Unity sln	34
4.4	Ovládání parametrů zobrazení modelu rukou posuvníky	35
4.5	Diagram grafu závislostí projektů ve WinUI sln	36
5.1	Výsledné zobrazení databáze pacientů	37
5.2	Výsledné zobrazení databáze pohybů	38
5.3	Výsledné zobrazení nastavení aplikace	38
5.4	Výsledné zobrazení terapeutického plánu	38
5.5	Výsledné zobrazení hostované Unity aplikace	39
5.6	IKEA KLIPSK, podnos [27]	40
5.7	SKLZ Court Vision, tréninkové brýle na dribling [28]	40
5.8	IKEA BYLLAN, podpěra pro laptop [29]	40
5.9	Cvičení s okluzní deskou	41

5.10 Cvičení se stolečkem	41
5.11 Cvičení s okluzními brýlemi	41
5.12 Okluzní brýle – detail	41

Úvod

Cévní mozková příhoda (CMP) má obrovský celosvětový dopad na veřejné zdraví, je druhou nejčastější příčinou smrti a třetí nejčastější příčinou postižení. [1, 2] Každý rok se objeví 15 miliónů nových případů CMP a tato hodnota nadále poroste kvůli demografickým přechodům v rozvojových zemích i globálně stárnoucí populaci. Až polovina přeživších akutní CMP je následně chronicky postižena. Až u devíti z deseti pacientů dochází k hemiparéze – částečnému ochrnutí jedné poloviny těla. [3, 4, 5]

Přestože se léčba akutní CMP zdokonaluje, největší část péče připadá na rehabilitaci, a tedy na rehabilitační ústavy. [5] Počet pacientů roste rychleji než dostupnost péče, a proto je potřeba efektivněji využít čas terapeutů. Jak se ukázalo, rehabilitační péče musí pokračovat i během pandemie, což je jeden z dalších důvodů, proč je potřeba vyvíjet nové technologie, které umožní distanční rehabilitační péči v domácím prostředí.

Takové řešení by mělo přínos pro terapeuty v úspoře jejich času a možnosti aplikovat novou rehabilitační metodu. Pacientům by to také přineslo časovou i finanční úsporu, jelikož by mohli rehabilitovat v pohodlí svého domova, což má rovněž potenciál zvýšit motivaci ke cvičení a tím pádem adherenci k terapeutickému plánu.

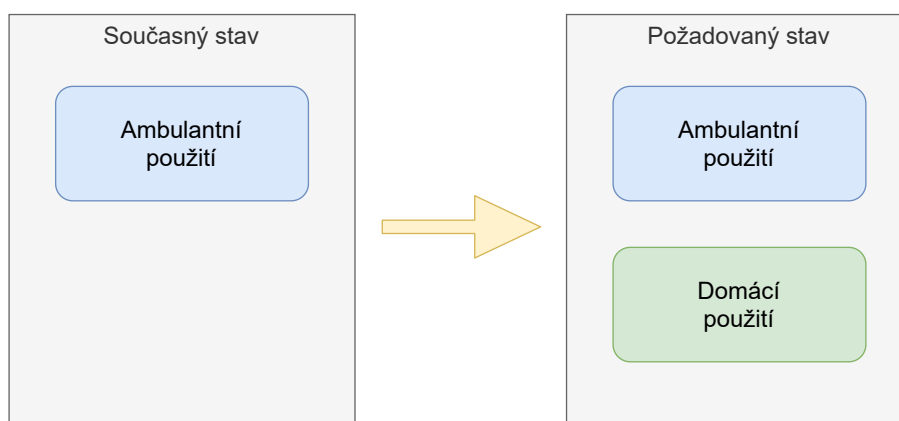
Cílem této práce je proto přepracovat stávající rehabilitační systém RukaRUK tak, aby umožnil kromě ambulantního použití také distanční terapii.

Kapitola 1

Přehled současného stavu

Systém RukaRUK je telerehabilitační systém, složený ze softwarové a hardwarové části, který vyvíjím v rámci dlouhodobé spolupráce s Rehabilitačním ústavem Kladruby. Systém využívá senzor Leap Motion Controller ke sledování pohybů ruky. Terapeutický účinek systému je založen na využití metody zrcadlové terapie a virtuální reality pro léčbu pacientů s ochrnutím ruky, zejména v důsledku cévní mozkové příhody. Účinek zrcadlové terapie je založen na vizuálně koordinovaném pohybu rukou a neuroplasticity mozku. [6]

V současném stavu je systém RukaRUK používán v Rehabilitačním ústavu Kladruby pro ambulantní rehabilitaci pacientů s hemiparézou (ochrnutí) horní končetiny. Software je technicky řešený jako desktopová aplikace v enginu Unity, která je monolitická a obtížně rozšiřitelná. Její využití je nyní možné pouze v ambulantním prostředí pod dohledem terapeuta, což je časově náročné. Na základě podnětu RÚK a z výše uvedených okolností vyplývá potřeba systém rozšířit o možnost jeho využití pro distanční terapii. Z důvodu monolitické architektury současné verze softwaru jsem vyhodnotil, že bude vhodné software od základu přepracovat do modulární architektury, ve které bude modul virtuální reality, tvořený Unity aplikací, oddělený od zbytku softwaru. Díky tomu bude software efektivněji rozšiřitelný a sníží se také provázanost.



Obrázek 1.1: Vizualizace vývoje systému RukaRUK

Leap Motion Controller

Prostorový senzor pohybu Leap Motion Controller (LMC) je komerčně dostupné zařízení, které snímá dvěma infračervenými kamerami stereoskopický obraz v zorném poli $150^\circ \times 150^\circ$. Ve svém zorném poli monitoruje pohyb rukou, identifikuje je a vytváří z nich trojrozměrný model. Ten je pak následně z prostorových bodů převáděn do podoby seznamu souřadnic všech kloubů ruky. Integrace senzoru je podporována do aplikací v enginech Unity a Unreal Engine, pro které výrobce senzoru poskytuje softwarové vybavení pro vývojáře.

LMC na rozdíl od Kinectu snímá menší prostor pro sledování pohybu a má řádově vyšší rozlišení. Kinect sleduje na rozdíl od LMC pohyb celého těla, ale má daleko horší parametry jako odchylku snímání, velkou odezvu. Ve sledování pohybu ruky tak dosahuje LMC mnohem lepších výsledků.



Obrázek 1.2: Pohybový senzor Leap Motion Controller [7]



Obrázek 1.3: Leap Motion Controller – detail [8]

Vanbellingen a kol. provedli studii 64 pacientů s CMP hospitalizovaných na neurorehabilitační klinice. Pilotní studie jako první hodnotila použitelnost videogame-based training (VBT) s využitím LMC ke tréninku jemné motoriky ruky v rané fázi rehabilitace pacientů s CMP. [9]

Fluet a kol. zkoumali účinek domácího rehabilitačního systému na 2 skupiny pacientů během tříměsíčního cvičebního plánu. Jejich systém se skládal ze senzoru Leap Motion, podpěry ruky a sadu tří vlastních rehabilitačních simulací. Skupina pacientů s obohacenou motivací cvičila všechny 3 simulace, jejichž obtížnost se krokově zvyšovala. Skupina pacientů bez obohacení motivace cvičila stejné simulace, ale jejich obtížnost byla řízena inkrementálním algoritmem, který dělal pacientem nepostřehnutelné přírůstky. Výsledek jejich studie ukázal na vyšší adhezenci k domácímu rehabilitačnímu programu pomocí jejich systému oproti adhezenci k rehabilitačním programům popsáných ve stávající literatuře o rehabilitaci CMP. Obě skupiny pacientů vykazovaly zlepšení funkčního stavu HK. [10]

Prevalence chronických onemocnění jako CMP roste poměrně s růstem průměrného věku. Wang a kol. předpokládají, že Virtual Reality (VR) rehabilitační

program s využitím prostorového snímače pohybu ruky LMC by vedl k usnadnění obnovy motorických funkcí zasažené HK a k neurální reorganizaci u pacientů se subakutní CMP. 26 subjektů bylo rozděleno do experimentální a kontrolní skupiny. Mezi skupinami nebyl apriorní rozdíl ve výsledcích Wolfova testu motorických funkcí WMFT. Po absolvování rehabilitačního programu se významně zrychlilo provedení úkolu ve WMFT. VR rehabilitační program má potenciál jako podpůrná léčebná metoda konvenční rehabilitační terapie. [11]

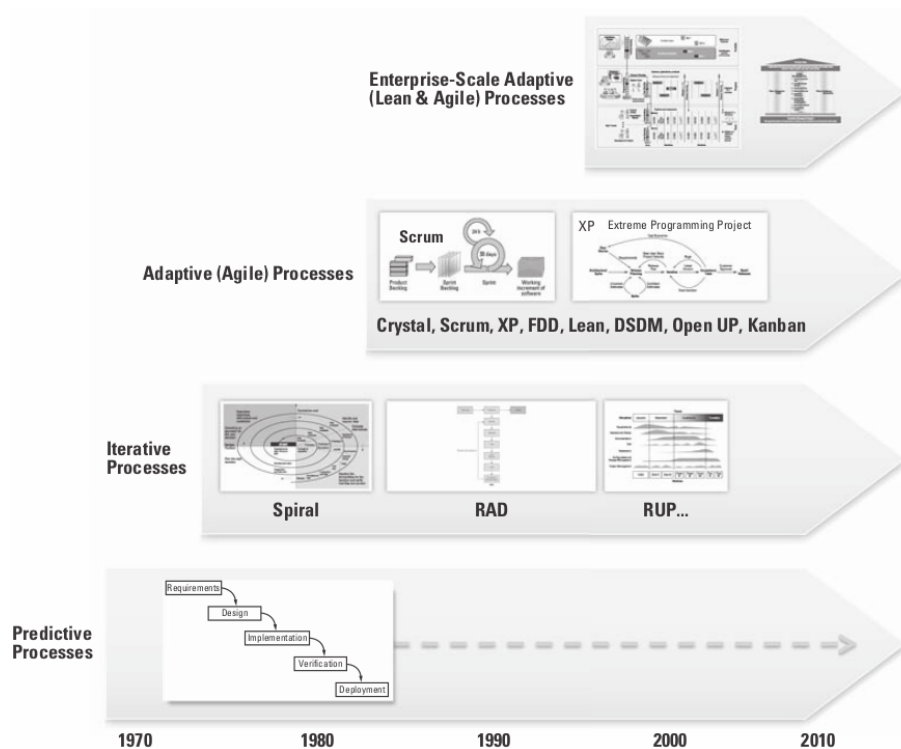
Ogun a kol. zkoumali účinky VR rehabilitačního programu na obnovu motorické funkce HK a funkční nezávislosti v porovnání s konvenčními metodami rehabilitace CMP. Výsledky párového t-testu ukázaly významné zlepšení skóre FMUE, ARAT, FIM a PASS v porovnání s kontrolní skupinou. Výsledky studie naznačují pozitivní dopad VR terapie na motorickou funkci HK a ADL. [12]

Rehabilitace HK je mimořádně důležitá k obnovení zbytkového postižení po CMP či po operaci. Placidi a kol. sestrojili zařízení využívající dva pohybové snímače LMC na hliníkovém ramenu, sloužící k přesnému prostorovému snímání ruky. Jejich systém dokázal snímat v reálném čase při 60 fps, snížit problematická slepá místa (autookluze ruky) a synchronizovat oba snímače tak, aby nevznikly časové ani prostorové nesouvislosti při přepínání mezi snímači. [13]

Kim a kol. se zabývali měřením funkčního rozsahu pohybu ruky pomocí LMC, jež umožňuje hodnocení svalového tonu při rehabilitační terapii. Rozhodování na základě objektivní analýzy pohybového vzoru a chování při rehabilitaci je důležitým prvkem při hodnocení kvality života pacienta. Rehabilitační terapie využívající LMC je limitována pouze na vizuální hodnocení terapeutem. Systém BBT (Box and Block Test) lze aplikovat na pacienty neurorehabilitační kliniky pro rozpoznání neobvyklých pohybových vzorů na základě objektivních dat. [14]

1.1 Metodologie vývoje software

Softwarový proces, jinak řečeno metodologie vývoje softwaru, je rámec pro organizaci a systematické řízení procesů vývoje informačních systémů. Během 60leté historie vývoje softwaru došlo k vývoji softwarových procesů, ze začátku podobných vývojovým procesům z ostatních inženýrských oborů, odkud se softwarové inženýrství zrodilo. Volba softwarového procesu má přímý dopad na kvalitu výsledného softwaru.

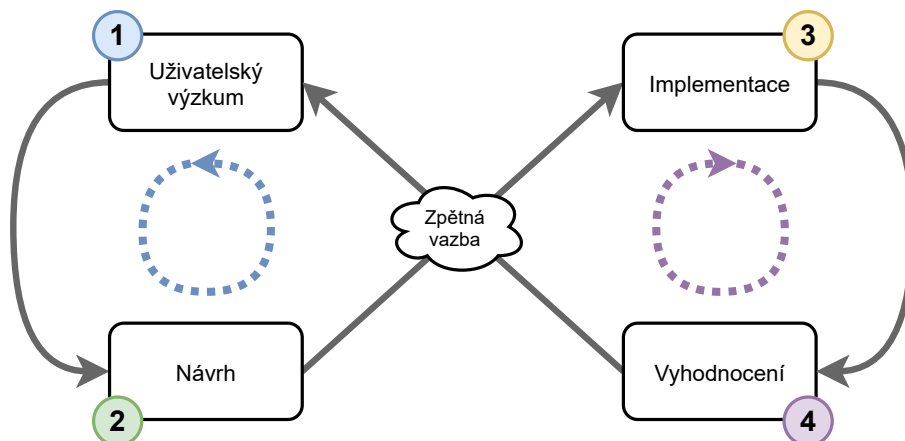


Obrázek 1.4: Časová osa vývoje softwarových procesů [15]

Bylo by chybné tvrdit, že vývojově novější softwarové procesy (Agile, SCRUM, atd.) jsou vždy lepší než ty starší (vodopád, spirála, atd.). Softwarové procesy jsou nástroj, a jako každý nástroj jsou proto vhodné pro různé typy úloh. V této práci se softwarový projekt vyznačuje těmito znaky:

- malý tým vývojářů (1 člověk)
- předem vyhrazený čas (v rámci závěrečné práce)
- do značné míry předem definované požadavky (vyplývající ze zadání)

Na základě těchto charakteristik jsem se ve svojí práci rozhodl držet se iterativního procesu, který je znázorněn na obrázku 1.5.



Obrázek 1.5: Diagram použitého softwarového procesu

Kapitola 2

Uživatelský výzkum

Přestože jsou požadavky do jisté míry předem známé, chtěl jsem na začátku projektu provést úvodní uživatelský výzkum, aby vznikla společná představa o obecném fungování budoucího systému. Tato fáze, v angličtině nazývaná *user research*, je ve všech softwarových procesech stěžejní, protože její špatné provedení má negativní kumulativní efekt na výsledek celého projektu. Výstupem z této fáze by měl být seznam požadavků, na základě nichž se následně vytvoří návrh systému. Požadavky jsem specifikoval a upravoval na základě schůzek s konzultantkou PhDr. Kristýnou Hoidekrovou z Rehabilitačního ústavu Kladruby, která také reprezentovala typického uživatele-terapeuta a zprostředkovala i názor uživatele-pacienta, jelikož nebyl možný přímý přístup k pacientům.

Na začátku uživatelského výzkumu jsem nejprve definoval tři klíčové problémy, na které se vývoj zaměřoval a které sloužily jako kotevní body pro návrh systému. Požadavky byly shromažďovány nejdříve velmi obecné, aby vznikla prvotní představa o struktuře celého systému.

2.1 Klíčové problémy

Motivace pacienta

Motivace pacienta je stěžejní faktor ovlivňující efektivitu léčby. Při nízké motivaci dochází k nepravidelnosti cvičení, což může snižovat terapeutický účinek rehabilitace. Tato nepravidelnost může nastat např. při absenci viditelného pokroku, únavě, příliš složitému ovládní. Motivovaný pacient pravděpodobně bude mít lepší adherenci a perzistenci k terapii.

Jednoduchost ovládní

Úroveň počítačové gramotnosti uživatelů může být velmi různá. Ovládní by mělo být intuitivní, konzistentní a jednoduché jak pro různé věkové skupiny tak i pro uživatele se sníženou úrovní kognitivních funkcí. Jednoduché ovládní může zvýšit použitelnost systému pro pacienty i terapeuty.

Imerze ve virtuální realitě

Imerze, neboli „ponoření se“ do virtuální reality je zcela subjektivní pocit hlubokého soustředění, který má potenciál znásobit terapeutické účinky systému. Navodit tento pocit může být obtížné nejen z důvodu jeho subjektivní podstaty, ale také kvůli různým technickým problémům, např. prodleva mezi pohyby skutečné a virtuální ruky nad 30 *m.s* [16], pocit nepohodlí či nebezpečí při cvičení.

2.2 Scénáře

Po definici klíčových problémů jsem vytvořil několik scénářů, které popisují nejčastější interakce se systémem. Tzv. uživatelské scénáře se objevují v různých softwarových procesech nebo např. v oboru UX designu. Efektivita této techniky spočívá v tom, jak dokáže zachytit formou krátkého příběhu realistickou interakci uživatele a systému. Scénáře se vyznačují také tím, že můžou být obohaceny o kontext prostředí dané postavy, což při modelování scénáře usnadňuje vžití se do popisované situace.

Ambulantní režim

Ráno přijíždím do práce, nasadím si roušku a jdu do své ordinace. Koukám do svého kalendáře a vidím, že mám dnes rehabilitovat se třemi pacienty. První pacient, 62letý muž, má lehce poškozenou hybnost levé ruky po mozkové mrtvici, druhý, 31letý muž, má sníženou hybnost a bolesti ruky po nehodě na motorce, třetí, 54letá žena, má snížený rozsah pohybu zápěstí a sníženou sílu úchopu po mozkové mrtvici. Vytvářím pro ně profily v databázi pacientů a připravím si notebook, senzor a okluzní brýle.

Předání pacientovi

Dnes dopoledne má přijet pacientka kvůli vyzvednutí zařízení. Notebook zabalím do obalu a přibalím ještě senzor Leap Motion a všemožné kabely a okluzní brýle. Pacientka přichází se čtvrt hodinovým zpožděním a já mam za 5 minut schůzi. V rychlosti jí vysvětluji nejdůležitější věci a dávám ji svoje telefonní číslo běžím na schůzi.

Domácí režim

Ráno se nasnídám, přečtu si zprávy a připravím se na dnešní rehabilitaci. Posadím se do svého křesla v obýváku, zapnu notebook s rehabilitační aplikací a chvíli zápasím s držákem na senzor, který se mi včera rozštěloval, po seřízení začínám s dnešní terapií. S rukou cvičím asi půl hodiny, než se unavím. Některé cvičení jsou na mě moc rychlé. Jdu si odpočinout k televizi a za dvě hodiny obědvám. Po obědě si dám kávu a připravuji se na další cvičení. Jdu se posadit do křesla, zapínám notebook a cvičím další hodinu. Terapie je docela zábavná a cítím se motivován se v ní zlepšovat.

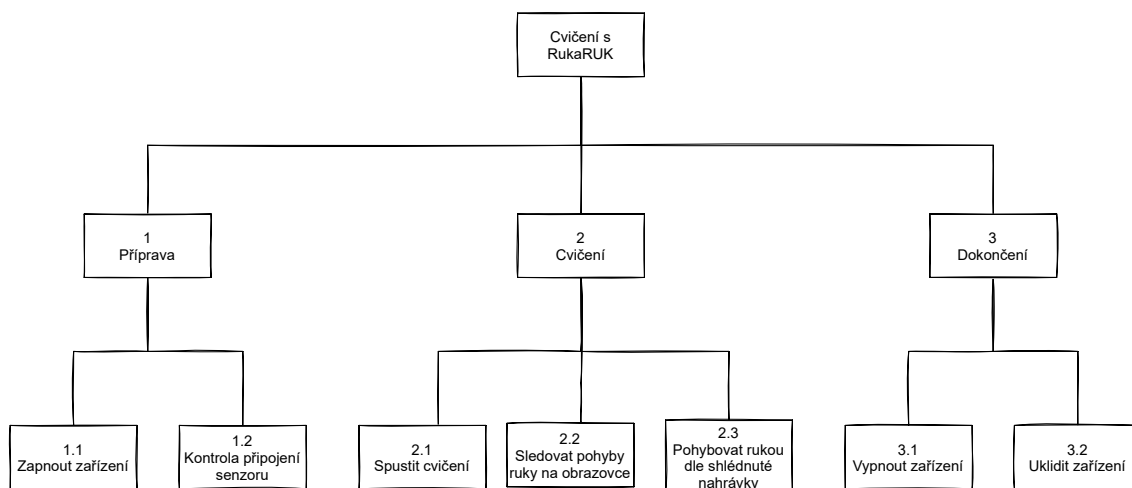
Technický problém

Dnes mám poprvé rehabilitovat doma s novým systémem RukaRuk. Moje terapeutka mi vysvětlila základní informace k používání. Vybaluji notebook s nabíječkou

a senzorem a zapojuji všechny kabely. Všechno vypadá dobře, spouštím první cvičení, ale na obrazovce nejsou vidět ruce. Sundávám okluzní brýle a kontroluji, zda senzor pohybu svítí zeleně. Je tomu tak, ale po druhém pokusu stále nevidím ruce na obrazovce. Sundávám okluzní desku. Pečlivě čtu instrukce ke zprovoznění, ale všechno sedí. Nezbývá mi nic jiného, než zavolat na technickou podporu.

2.3 Hierarchická analýza úkolů

Hierarchical Task Analysis (hierarchická analýza úkolů) (HTA) úkolů je funkční analytická metoda pro popis úkolů, které uživatel musí provést k dosažení určitých cílů. Úkoly lze rozdělit do více úrovní podúkolů, čímž vzniká stromová struktura, kde kořen stromu představuje požadovaný cíl. Pomocí této objektivní metody lze např. optimalizovat problematické interakce. Metoda HTA je velmi obecná a lze ji aplikovat v mnoha doménách.



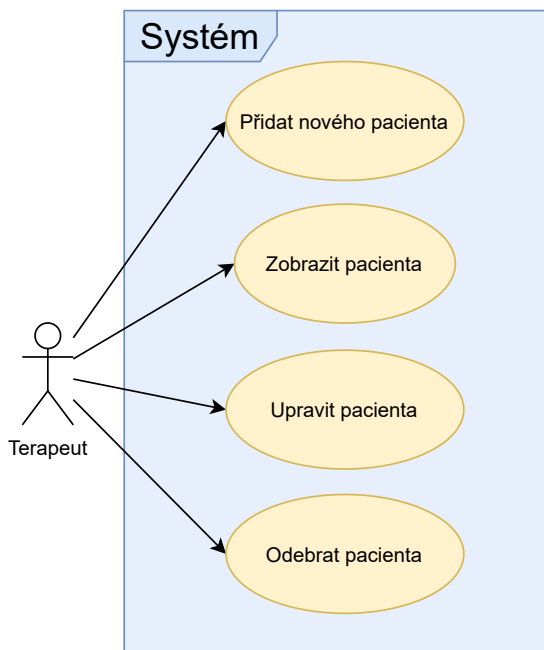
Obrázek 2.1: HTA diagram cvičení s RukaRUK

2.4 Analýza požadavků

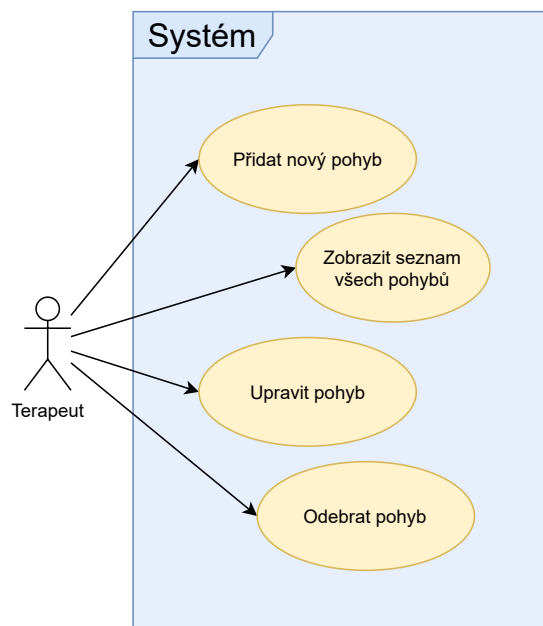
V této části jsem výstup z počáteční iterace uživatelského výzkumu převedl do podoby strukturovaných požadavků, ze kterých jsem mohl vytvořit návrh systému. Číslo v závorkách identifikuje jednotlivé požadavky v každé části. UML diagramy užití modelují chování systému z pohledu uživatele.

2.4.1 Správa databáze pacientů

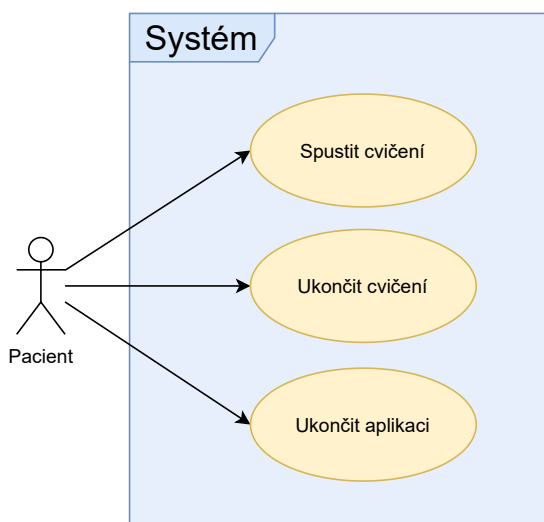
Aplikace bude umožňovat terapeutovi spravovat databázi pacientů. Databáze pacientů bude obsahovat základní identifikační údaje pacientů (Jméno, příjmení, pohlaví, postižená ruka). Terapeut bude moci zobrazit seznam pacientů, přidávat nové pacienty, upravovat stávající pacienty a odebírat pacienty. V seznamu pacientů bude možnost filtrovat a seřadit.



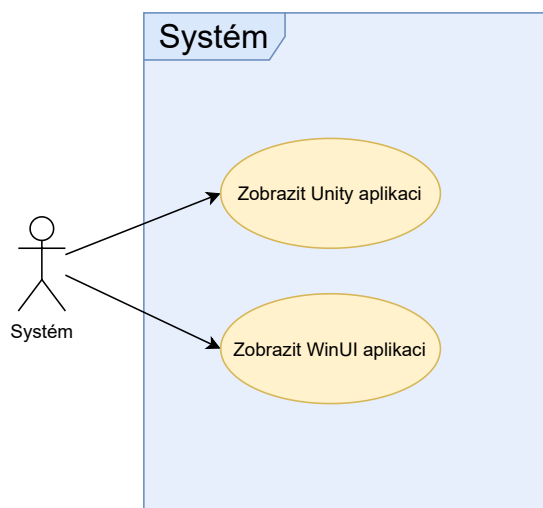
Obrázek 2.2: UML diagram užití – správa pacientů



Obrázek 2.3: UML diagram užití – správa pohybů



Obrázek 2.4: UML diagram užití – pacient-ský režim



Obrázek 2.5: UML diagram užití – přepínání Unity

2.4.2 Správa databáze pohybů

Software bude umožňovat terapeutovi spravovat databázi pohybů. Terapeut bude moci zobrazit (1) seznam pohybů, (3) přidávat, (4) odebírat a (5) upravovat pohyby. Databáze pohybů bude sloužit zatím jen k záznamu krátkých pohybů ruky, řádově jednotky sekund dlouhé, které budou shromažďovány do databáze pro využití v dalším vývoji systému jako kandidátní cviky.

2.4.3 Terapeutický plán

Terapeutický plán bude stejný pro všechny uživatele-pacienty. V aplikaci bude moci uživatel (1) zobrazit terapeutický plán. Obsah terapeutického plánu je převzat se svolením autorky z manuálu k zrcadlové terapii. [17]

2.4.4 Zrcadlení ruky

Aplikace bude umožňovat zobrazit levačku a pravačku nezávisle na vstupní ruce či rukou v zorném poli senzoru. Dále bude možné upravovat následující parametry zobrazení ruky: (1) posun nahoru–dolů, (2) dopředu–dozadu, (3) ruce od sebe–k sobě, a (4) úhel záběru kamery.

2.4.5 Přehrávač cvičení

Pacient bude moci: (1) spustit cvičení a (2) ukončit cvičení. Aplikace bude zaznamenávat (2) kumulativní dobu cvičení každého pacienta.

Kapitola 3

Návrh

3.1 Zásady objektově orientovaného designu

V porovnání s ostatními inženýrskými obory je softwarové inženýrství poměrně mladá disciplína. Zatímco například ve strojírenství je většina úloh standardizována a jen menší část vyžaduje zkušenosti a znalosti odborníků, v softwarovém inženýrství je to právě naopak. Jelikož software je stále více nasazován ve větším měřítku, má kvalita softwaru pro firmy reálné ekonomické dopady. Jedním ze způsobů, jak kvalitu softwaru zvýšit, je dodržovat ověřené postupy (angl. *best practices*). Ve své práci jsem se při vývoji softwaru řídil podle těchto ověřených postupů a zásad objektově orientovaného programování.

SOLID

Principy SOLID shromáždil a popsal Robert C. Martin kolem roku 2000 v článku „The Principles of OOD“ na svém webu. [18]

Single Responsibility Principle

Každá třída má právě jednu zodpovědnost.

Open-Closed Principle

Funkcionalitu třídy lze rozšířit bez nutnosti její modifikace.

Liskov Substitution Principle

Třídy musí být plně nahraditelné svými potomky.

Interface Segregation Principle

Používat malá a úzce zaměřená rozhraní.

Dependency Inversion Principle

Závislost na abstrakcích, nikoliv na implementacích. [19]

KISS

Keep It Simple Stupid, neboli nepoužívat kanón na vrabce.

DRY

Don't Repeat Yourself, neboli neopakovat se. Pokud potřebujeme stejnou funkcionalitu využít na více než jednom místě, je vhodné tuto funkcionalitu zmodularizovat.

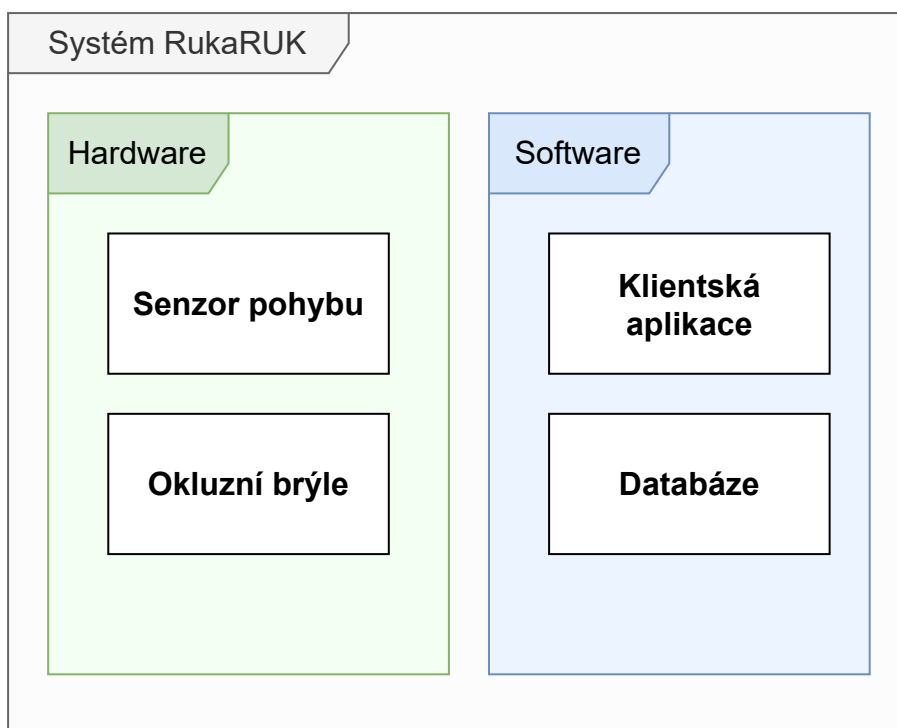
YAGNI

You Ain't Gonna Need It, neboli neimplementovat funkcionalitu předčasně – před tím, než ji opravdu potřebujeme.

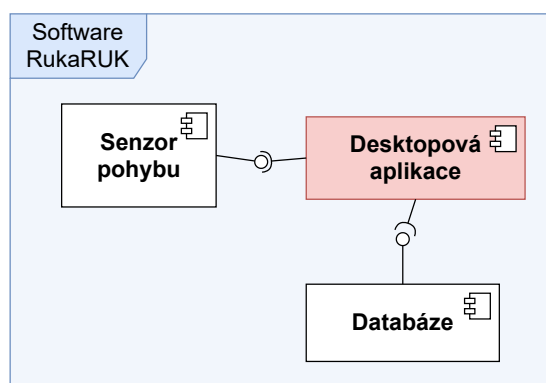
3.2 Architektura systému

Systém RukaRUK je složen z hardwarové a softwarové části. Software RukaRUK se skládá z klientské aplikace a lokální databáze. Klientská aplikace ze skládá z desktopové WinUI 3 aplikace pro Windows 10 a Unity aplikace. Hardwarovou část tvoří okluzní brýle a senzor pohybu Leap Motion Controller, ke kterému výrobce poskytuje vývojovou sadu pro Windows [20] a vývojovou sadu pro Unity [21]. Cílová platforma celého systému je Windows 10 64-bit.

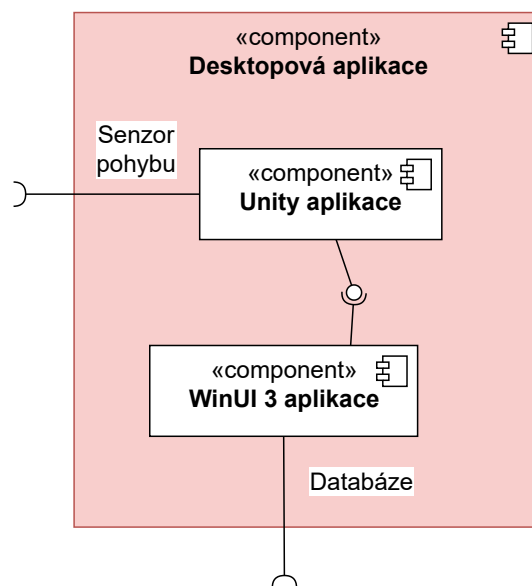
Architektura WinUI 3 aplikace je Model-View-ViewModel (MVVM), což je architekturní návrhový vzor umožňující oddělení prezentační vrstvy aplikace, podobně jako vzor Model-View-Controller (MVC). Microsoft vynalezl vzor MVVM pro svůj Graphical User Interface (Grafické uživatelské rozhraní) (GUI) framework Windows Presentation Foundation (WPF). S MVVM úzce souvisí i pojem data-binding, což je metoda synchronizace dat mezi objekty, hojně používaná pro synchronizaci dat View a ViewModelů v MVVM.



Obrázek 3.1: Diagram architektury systému RukaRUK



Obrázek 3.2: UML component diagram – RukaRUK



Obrázek 3.3: UML component diagram – desktopová aplikace

Stávající verze softwaru RukaRUK je monolitická Unity aplikace, což znamená obtížně rozšiřitelná. Z tohoto důvodu jsem navrhl novou verzi softwaru RukaRUK jako dvě oddělené aplikace, které budou komunikovat přes sdílené Application Programming Interface (rozhraní pro programování aplikací) (API). Tato změna výrazně sníží provázanost (angl. *coupling*) mezi Unity aplikací a zbytkem aplikace. Unity aplikace bude hostovaná uvnitř procesu WinUI 3 aplikace aby celý software

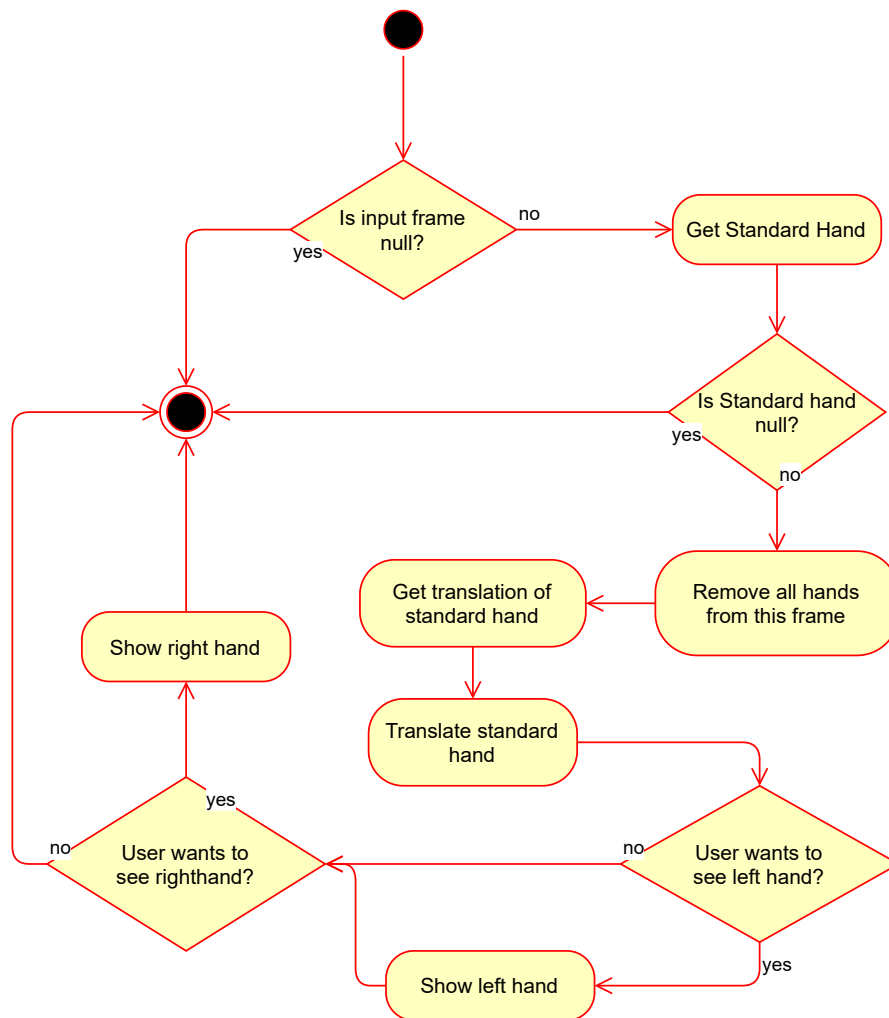
zůstal v jednom okně. Toto je jeden z důvodů proč jsem zvolil WinUI 3 pro klientskou aplikaci. Hostování Unity uvnitř jiného okna lze na platformě Windows provést pouze s využitím Win32 API, které je dostupné buď ve WPF, nebo ve WinUI 3 aplikaci (target framework .NET 5). Kombinací je hodně a bylo velmi složité najít fungující kombinaci, protože WinUI 3 je velmi mladá technologie, takže jsem musel většinu kombinací otestovat sám, viz tabulka 3.1.

Tabulka 3.1: Podporované kombinace technologií a typů výstupních aplikací

Technologie	Typ aplikace		
	Win32 x64	UWP	WPF
Leap Motion	✓		✓
Unity	✓	✓	✓
Unity Embedding	✓		✓
WinUI 3	✓	✓	

3.2.1 Zrcadlení ruky

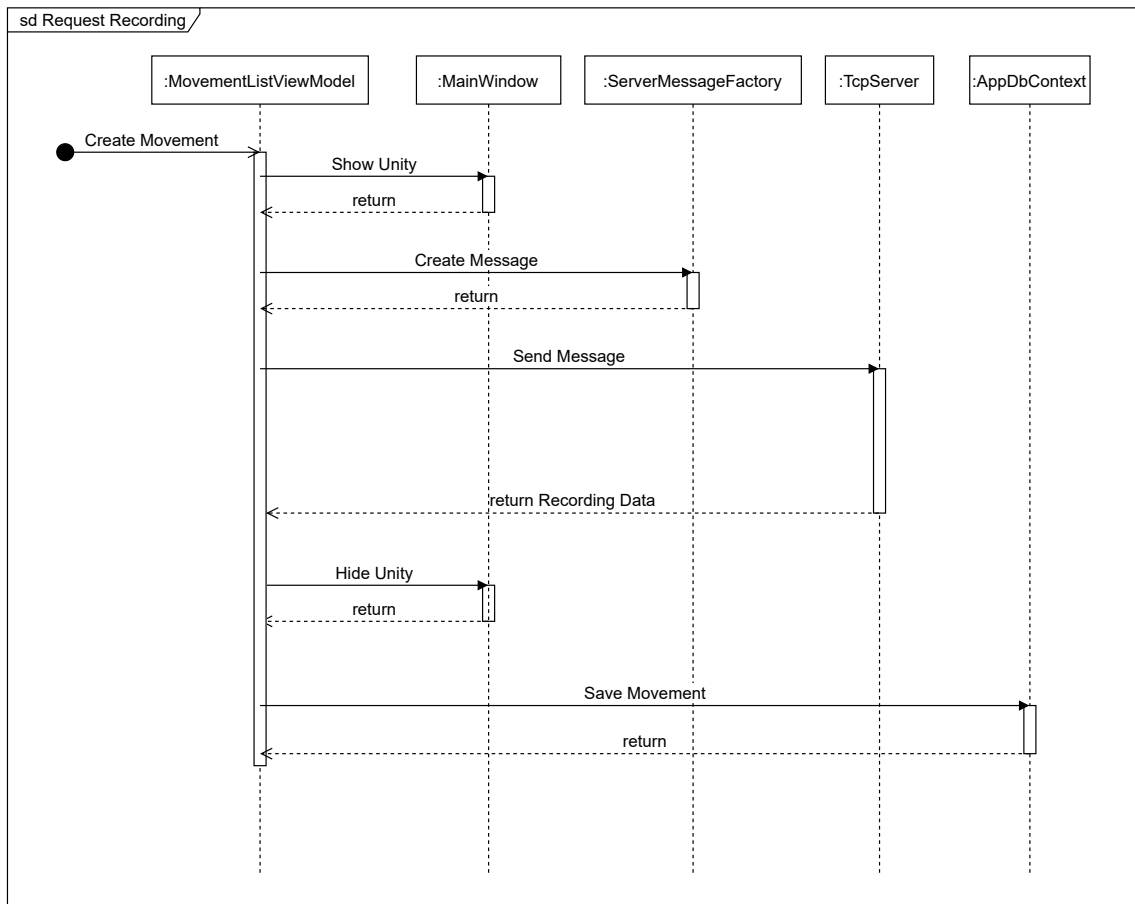
Zrcadlení ruky je dosaženo pomocí kombinace Leap Motion SDK [21] a vlastního kódu. SDK poskytuje abstraktní třídu `PostProcessProvider`, kterou lze využít pro stavovou i bezstavovou manipulaci s rukou pomocí override metody `ProcessFrame`. Na obrázku 3.4 je UML diagram aktivit nově navrženého algoritmu zrcadlení ruky. Termín `Standard hand` v diagramu označuje levou ruku. V algoritmu může dojít k velkému počtu možných stavů v zorném poli senzoru. `GetStandardHand` je pomocná metoda, která zjednoduší komplexitu tím, že vždy návratová hodnota je levá ruka, která je vstupem do samotné zrcadlící metody. Díky tomu je komplexita zrcadlící metody snížena.



Obrázek 3.4: UML activity diagram – zrcadlení ruky

3.2.2 Komunikační modul

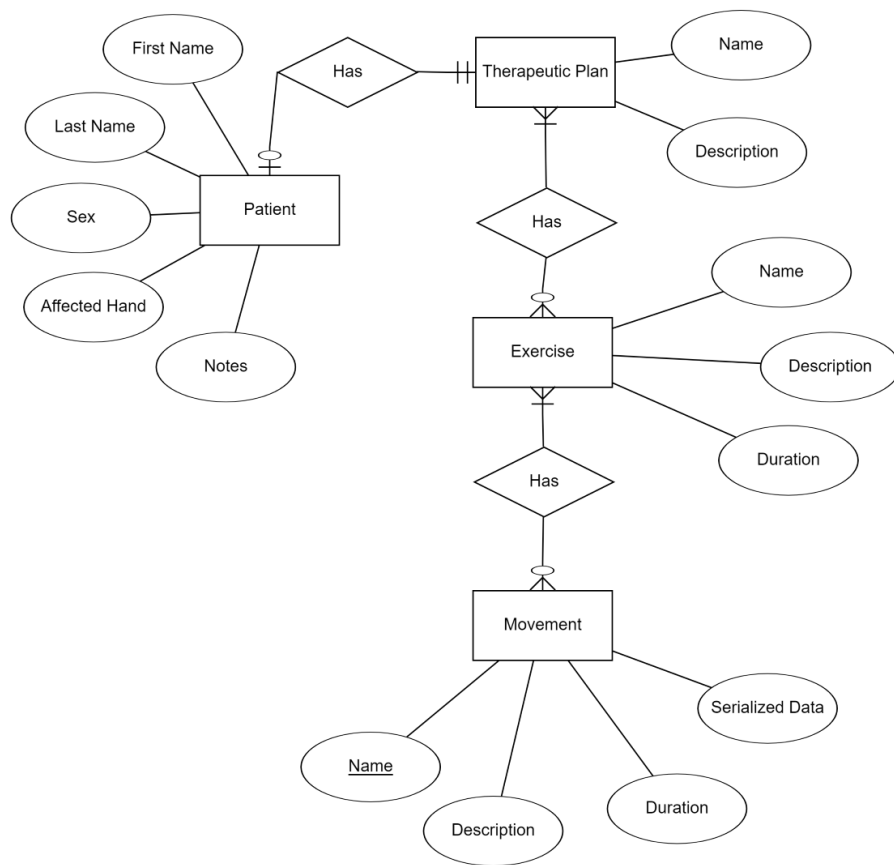
Komunikační modul je navržena jako sdílená knihovna, která bude obsahovat kód umožňující vzájemnou obousměrnou komunikaci mezi WinUI 3 aplikací a Unity aplikací. Pomocí zpráv budou moci obě strany posílat příkazy, např. cvičení skončilo, nebo si budou moci předávat data.



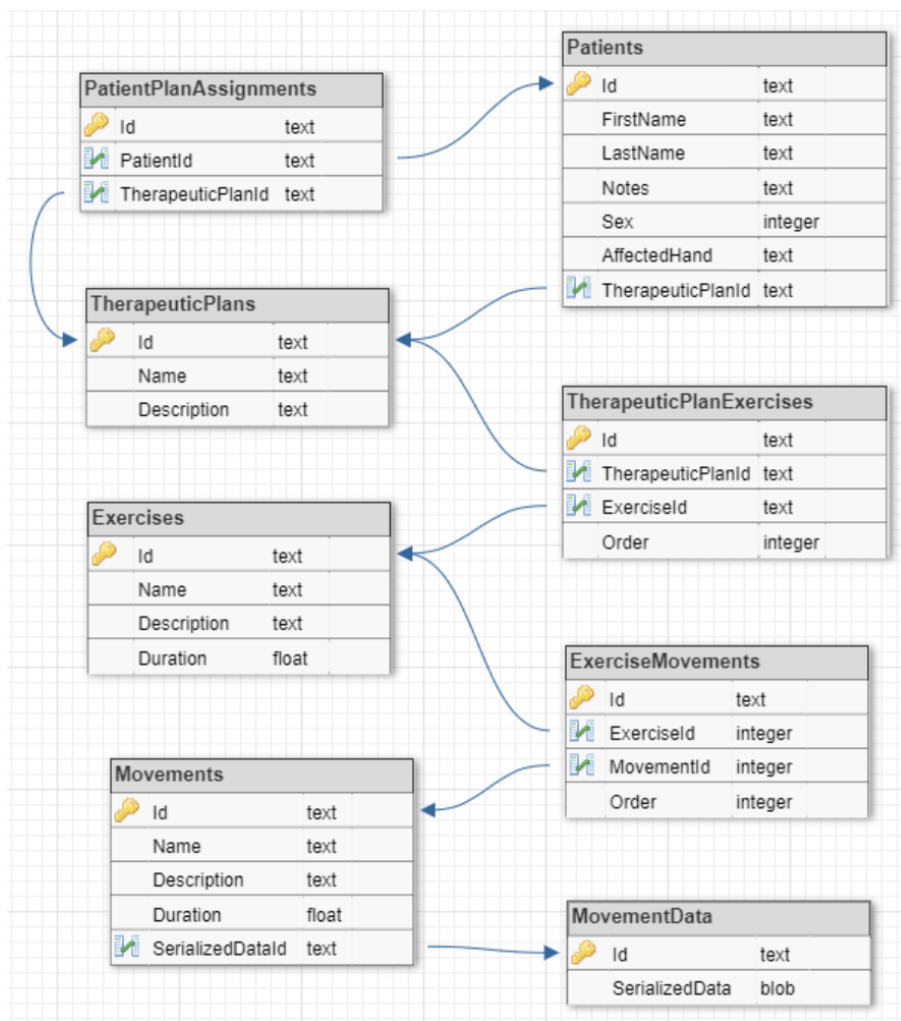
Obrázek 3.5: UML sequence diagram – Request recording

3.3 Model databáze

Konceptuální Entity-Relationship (ER) diagram na obrázku 3.6 ukazuje zjednodušený model doménových objektů a vztah mezi nimi. Fyzický ER diagram už je detailní model databáze, včetně datových typů a klíčů. Tento model už je tvořen v kontextu konkrétní databázové technologie.



Obrázek 3.6: Konceptuální ER diagram

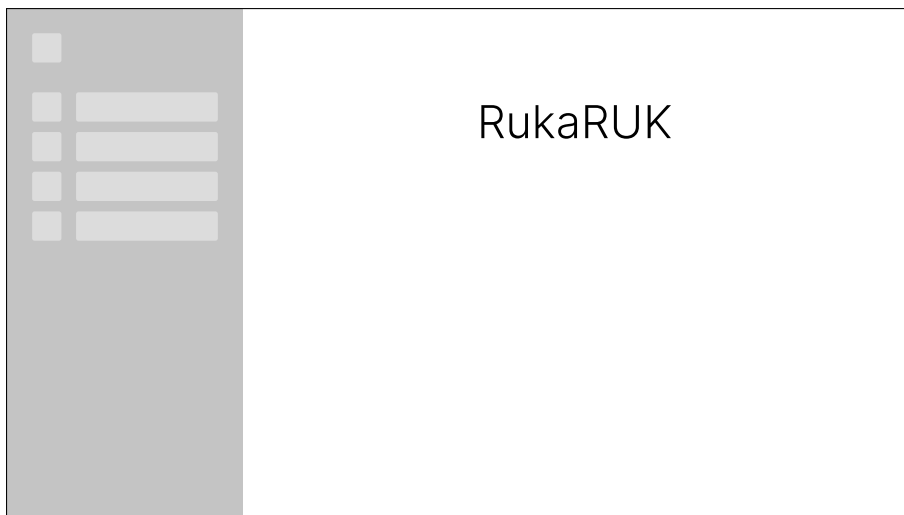


Obrázek 3.7: Fyzický ER diagram

Pohlaví pacienta je v databázi ukládáno převedené na `integer` podle standardu ISO 5218:2004 [22].

3.4 Návrh GUI

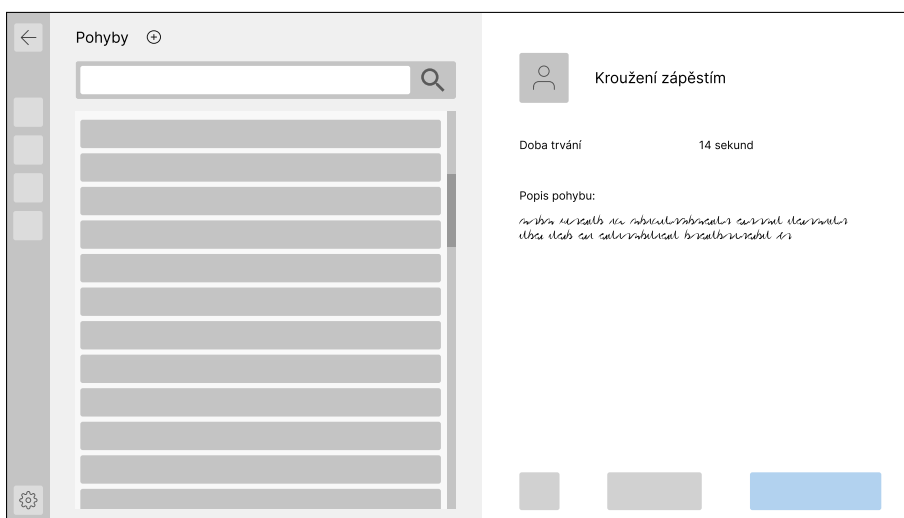
Návrh GUI jsem tvořil iterativně v úzké spolupráci s konzultantkou práce PhDr. Kristýnou Hoidekrovou, která reprezentovala roli uživatele-terapeuta. Počáteční návrh jsem kreslil tužkou na papír. Potom, co vznikla shoda na obecné podobě rozhraní, jsem návrh převedl do digitální podoby v softwaru Figma [23].



Obrázek 3.8: Návrh hlavního menu



Obrázek 3.9: Návrh View Databáze pacientů





Obrázek 3.10: Návrh view Pohyby

Nový pacient

Jméno

Příjmení

Pohlaví M F

Postižená ruka  Levá  Pravá

Datum narození

Obrázek 3.11: Návrh dialogového okna Přidat pacienta

Potvrdit akci

Opravdu chcete ?

Obrázek 3.12: Návrh potvrzovacího dialogového okna

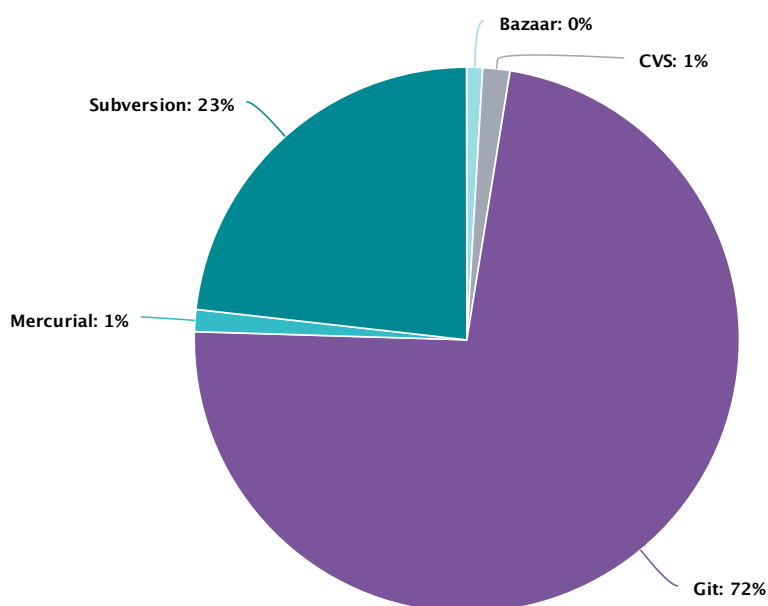
Kapitola 4

Implementace

V této části je rozepsáno konkrétní softwarové řešení na základě návrhu systému.

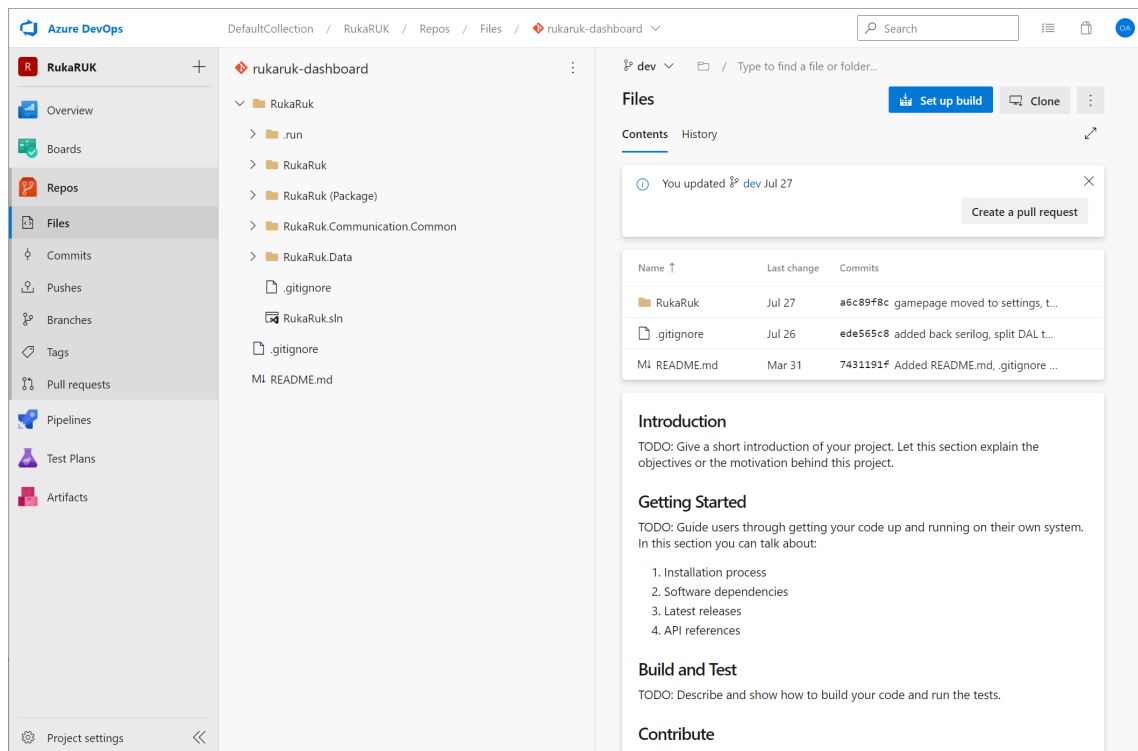
4.1 Verzování

Verzování je obecně praktika uchovávání historie verzí souborů, v softwarovém inženýrství zejména zdrojového kódu, ale verzovat lze jakýkoliv typ souborů. Proces verzování softwaru řídí tzv. Version Control System (verzovací systém) (VCS), z nichž nejpoužívanější je v současné době Git a druhý nejpoužívanější je SVN. [24]



Obrázek 4.1: Porovnání popularity verzovacích systémů [24]

Verzovací systémy uspořádávají související kód do tzv. repozitářů. Systém RukaRUK je od svého počátku verzován systémem Git na serveru Azure DevOps Server, který podporuje repozitáře typu Git a SVN. [25] Systém RukaRUK je rozdělen do dvou oddělených Git repozitářů `rukaruk-dashboard` a `rukaruk-unity`. Jejich rozdělení jsem zvolil z důvodu nové modulární architektury a také protože projekty nesdílejí přímo kód.

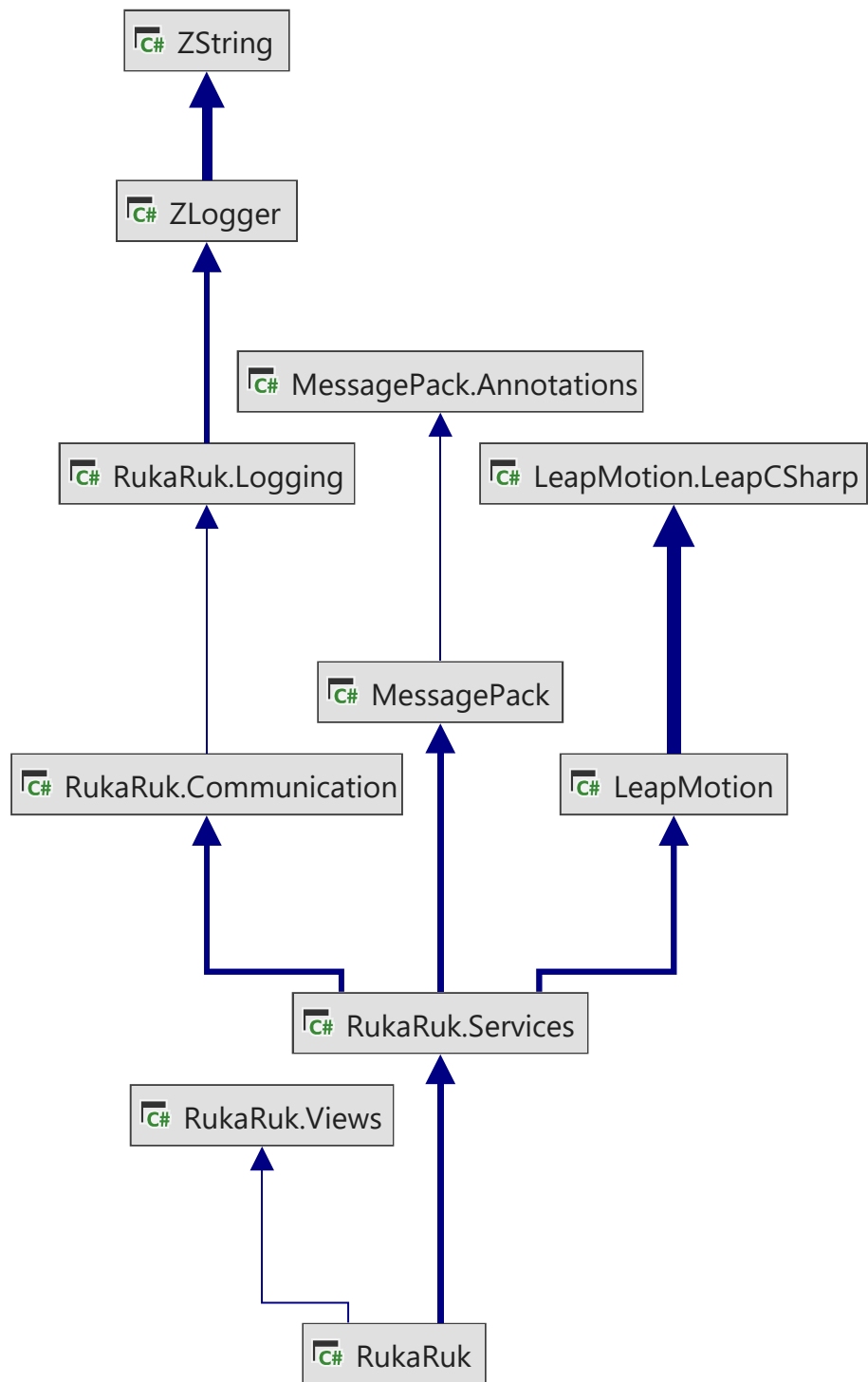


Obrázek 4.2: Webové rozhraní VCS Azure DevOps Server 2020

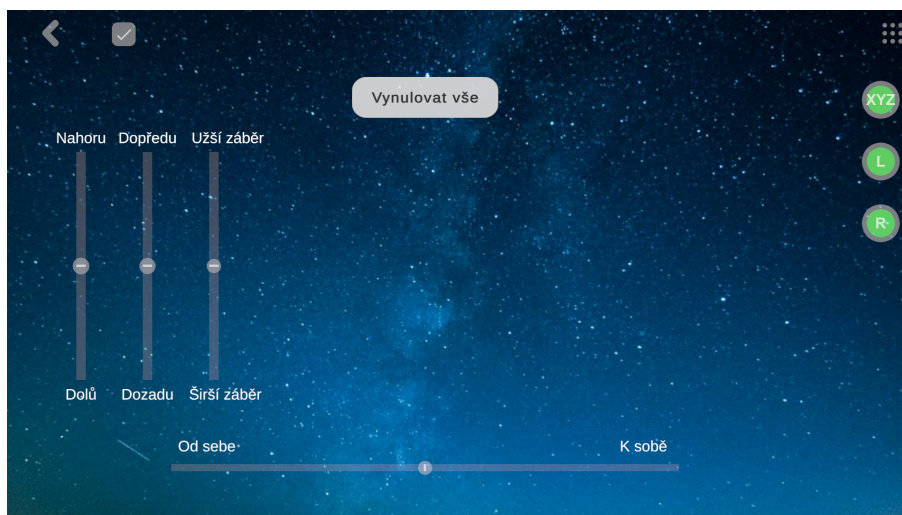
Klientskou aplikaci jsem implementoval jako WinUI 3 aplikaci, což je nejnovější front-end technologie Microsoftu, která odděluje verzi UI od verze OS a zároveň sjednocuje nativní Windows UI API – Win32 a UWP. Balíček WinUI 3 byl oficiálně vydán v preview verzi teprve v průběhu implementace a vydání jeho verze 1.0 Microsoft plánuje na konec roku 2021. WinUI 3 je součástí balíčku Windows App SDK, jehož cílem je sjednotit a zmodernizovat vývoj aplikací pro platformu Windows. [26]

4.2 Unity aplikace

Unity aplikaci jsem vyvíjel v Unity Editoru ve verzi 2021.1, scripting backend nastaven na Mono, mód kompatibility .NET Standard 2.0, build output Standalone Windows x86-64. Pro programování jsem používal IDE JetBrains Rider verze 2021.1.3. Modularitu a nízkou provázanost jsem se snažil dodržovat i zde, přestože bez vědomé snahy styl vývoje v Unity svádí spíše k monolitické architektuře. V tomto hodně pomohly externí open-source knihovny pro Unity `VContainer`, což je implementace svižného dependency injection kontejneru pro Unity, dále knihovna `UniTask`, která poskytuje možnosti `async/await` optimalizované pro specifika primárně herního engine Unity. Další užitečné knihovny pro vývoj a debugging jsem použil `ZLogger` a `ZString`, což jsou Unity implementace interfacu `ILogger<T>` bez alokací paměti a knihovna `MessagePackCSharp`, která je nejrychlejší serializační knihovnou pro Unity. K přehledné a logické struktuře projektů mi také pomohlo využití tzv. `asmdef` souborů, které v Unity rozdělují kód do modulů, podobně jako projekty v `sln` souboru.



Obrázek 4.3: Diagram grafu závislostí projektů v Unity sln



Obrázek 4.4: Ovládání parametrů zobrazení modelu rukou posuvníky

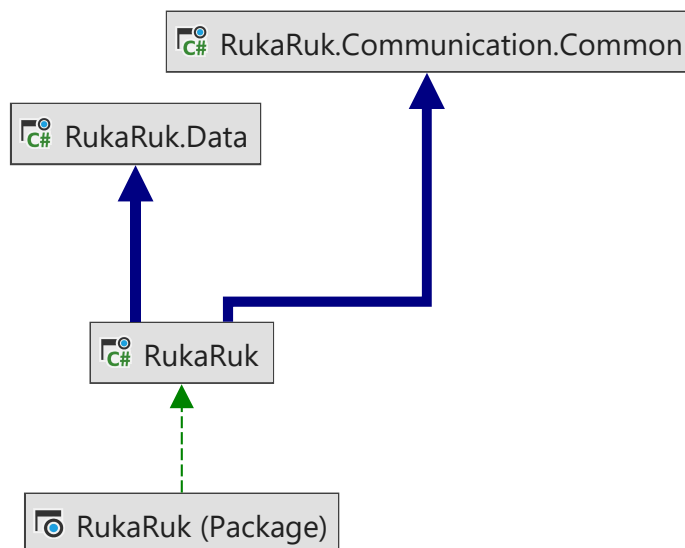
4.3 WinUI aplikace

WinUI aplikaci jsem vyvíjel ve Visual Studio Community 2019 Preview 16.11.0 Preview 3, protože JetBrains Rider tento typ projektů bohužel nepodporuje. Import balíčku WinUI 3 je zahrnut v NuGet balíčku Windows App SDK 0.8, nedávno ještě nazývaného Project Reunion. Rozšíření pro VS2019 poskytuje šablony projektů pro WinUI 3. Tento typ projektu je speciální tím, že jako target framework se musí specifikovat konkrétní verze Windows 10, podobně jako v UWP. V mém projektu jsem vyvíjel pro verzi Windows 10 (2020 May Update) a proto jsem musel specifikovat target framework na `net5.0-windows10.0.19041.0`, což znamená .NET 5 runtime na Windows 10 2004. V projektu `RukaRuk.Communication.Common` je sdílený kód komunikačního modulu, který je při kompilaci zkompilován také do .NET Standard 2.0 knihovny, která je relativní cestou přesunuta rovnou do repozitáře Unity aplikace na předem definované místo.

V době implementace bylo nutné, aby WinUI 3 solution obsahovala balíčkovací projekt `.wapproj`, aby aplikace šla debugovat a nasadit na koncové zařízení. Tento projekt zabalí soubory deklarované v tzv. manifestu do MSIX balíčku, což je nejnovější balíčkovací technologie Microsoftu. Tyto balíčky jdou vydat např. do Microsoft Store, nebo ručně nainstalovat při povoleném *sideloadingu* aplikací.

S MVVM architekturou WinUI 3 aplikace mi velmi pomohla .NET Standard 2.0 knihovna `MVVM Toolkit` od Microsoftu, která poskytuje základní třídy nutné pro implementaci MVVM vzoru, jako `ObservableObject` a `RelayCommand`.

Solution `RukaRuk` obsahuje 8810 řádek kódu.



Obrázek 4.5: Diagram grafu závislostí projektů ve WinUI sln

Hostování Unity

Hostování Unity v okně WinUI 3 aplikace jsem implementoval díky prvotnímu nasměrování z oficiální dokumentace Unity, ale dokumentace je velmi stručná a oficiální demo `EmbeddedWindow.sln` je projekt typu WPF. Svoji verzi jsem pozměnil využitím knihovna `PInvoke.User32`, namísto přímého importování C/C++ funkcí. Hostované Unity okno má často grafické artefakty, které snad časem opraví novější verze WinUI 3.

4.4 Komunikační modul

Pro implementaci komunikačního modulu jsem využil vestavěného `.NET TcpClient` a `TcpListener`. WinUI aplikace je server a Unity aplikace je klient, a oba mají obousměrnou komunikaci přes TCP/IP protokol na loopback adrese (`localhost/127.0.0.1`) a portu 8087, který je napevno definován v kódu. TCP server zvládne pokračovat i při kritické chybě klienta, a dokáže po restartu klienta navázat nové TCP spojení. TCP zprávy jsou pro odchozí směr vkládány do tzv. kanálu z knihovny `System.Threading.Channels`, což je zjednodušeně řečeno buffer s podporou thread-safe read/write operacemi. Sdílený kód komunikačního modulu je kompilován také do Unity projektu ve formě dll, protože Unity nemá permanentní sln soubor, takže nefungují klasické reference na projekt.

4.5 Databázová vrstva

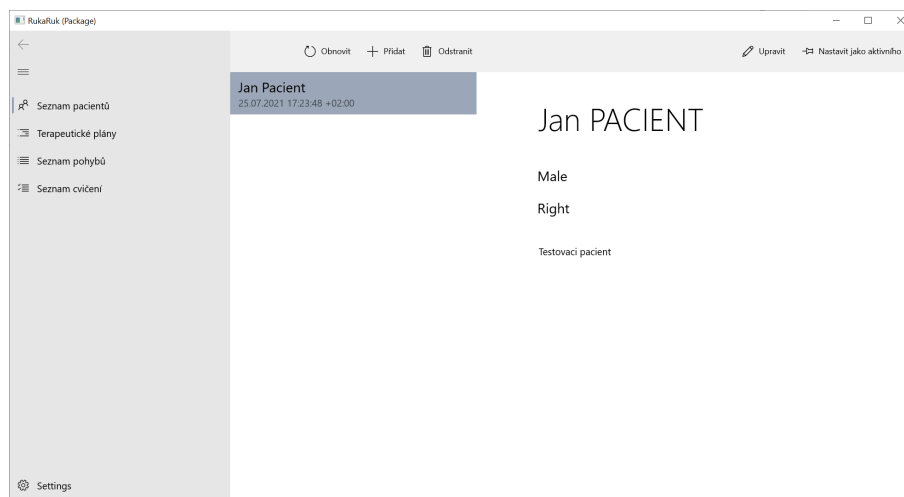
Databázová vrstva se od minulé verze softwaru nezměnila. Kód databázové vrstvy je v oddělen do samostatného projektu `RukaRuk.Data`. Ponechal jsem z minulé verze RukaRUK i lokální souborovou databázi `SQLite3`, pro svoji jednoduchost a vyhovující výkonnostní parametry.

Kapitola 5

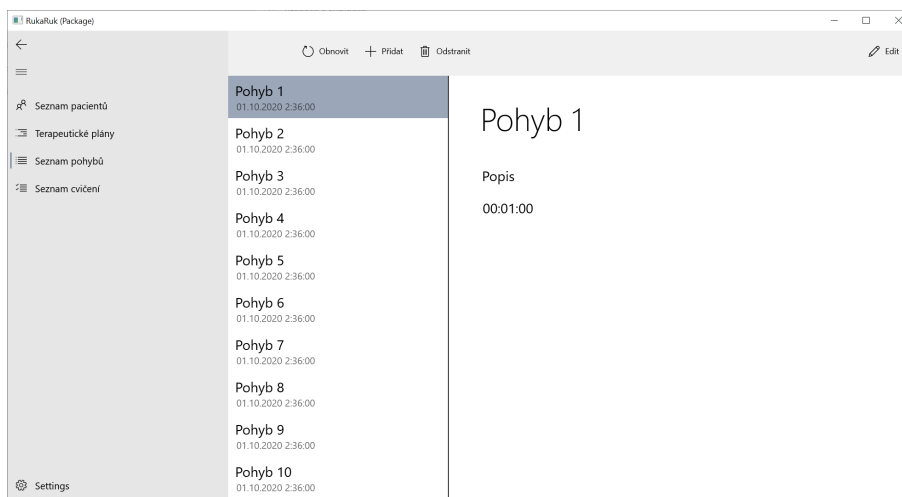
Výsledky

V této části jsou ukázky výsledné podoby softwarové aplikace, použitých pomůcek při cvičení a shrnutí výsledků uživatelského testování.

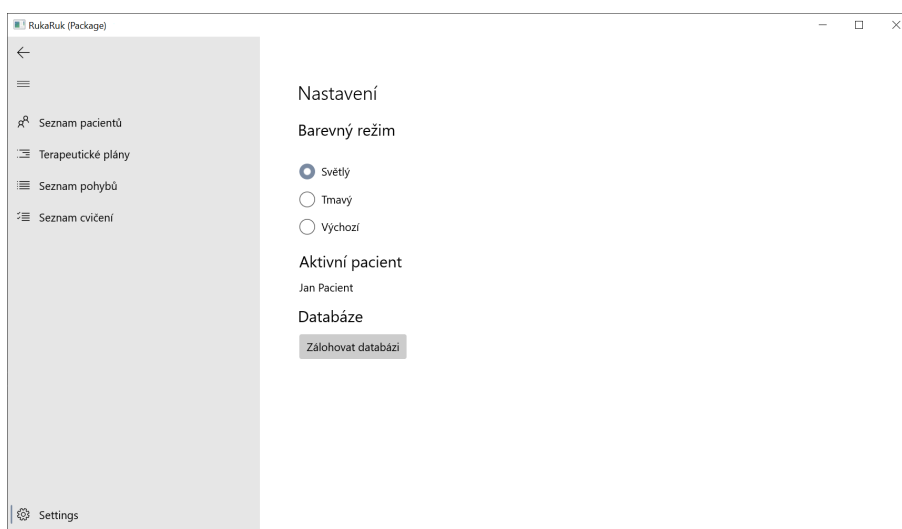
5.1 Software



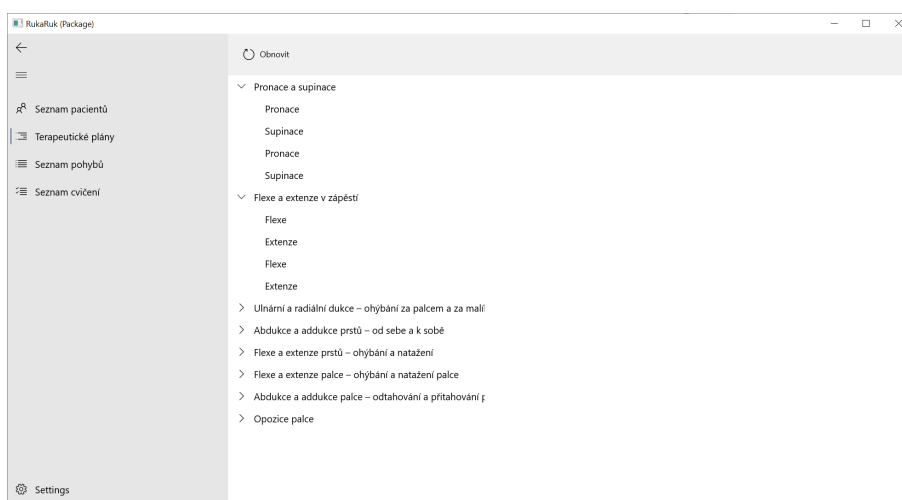
Obrázek 5.1: Výsledné zobrazení databáze pacientů



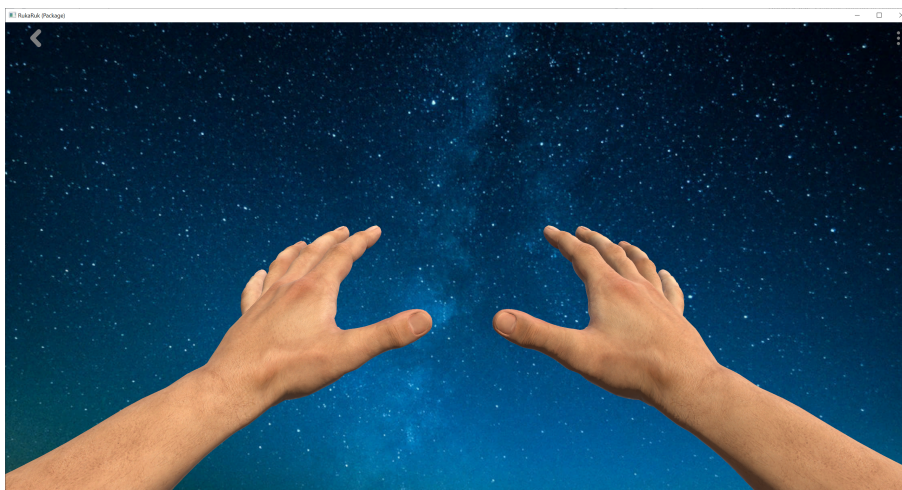
Obrázek 5.2: Výsledné zobrazení databáze pohybů



Obrázek 5.3: Výsledné zobrazení nastavení aplikace



Obrázek 5.4: Výsledné zobrazení terapeutického plánu



Obrázek 5.5: Výsledné zobrazení hostované Unity aplikace

5.2 Dotazníky

Dotazníky jsem navrhl, dle zadání, k účelu zhodnocení systému RukaRUK z hlediska pacienta a z hlediska terapeuta, při použití v ambulantním režimu. Zaměřil jsem se zejména na hodnocení uživatelské přívětivosti a použitelnosti. Vzhledem k časové vytíženosti jsem omezil počet povinných otázek na minimum, aby se dotazník dal vyplnit během pár jednotek minut. Další část dotazníku jsem naplnil volitelnými otázkami s odpověďmi formou volného textu. Od terapeutů jsem chtěl zhodnotit hlavně jednoduchost ovládání, srozumitelnost ovládacích prvků, líbivost grafiky aplikace a potenciální přínos pro pacienty. Od pacientů jsem chtěl zhodnotit srozumitelnost ovládání, pocit pohodlí při cvičení, zda shledali cvičení zábavné nebo zajímavé a zda v nich systém dokázal vyvolat pocit imerze. Výsledné dotazníky jsou zahrnuty do přílohy práce na straně 48 a 51.

5.3 Uživatelské testování

Uživatelské testování systému RukaRUK proběhlo v průběhu jednoho týdne v Rehabilitačním ústavu Kladruby, který poskytl uživatele terapeuty i pacienty. Uživatelské testování bylo schváleno etickou komisí Rehabilitační ústav Kladruby (RÚK), jejíž vyjádření je obsaženo v příloze práce na straně 6. Pacienti cvičili cviky z terapeutického plánu a při tom sledovali zrcadlené ruce na obrazovce notebooku.

Pomůcky ke cvičení

V průběhu vývoje systému RukaRUK se vyvíjely i pomůcky ke cvičení. Senzor je potřeba uchytit na nějaké stabilní místo nebo přímo na tělo pacienta tak, aby zdravá ruka pacienta byla v zorném poli senzoru. Ze začátku se cvičilo s tzv. okluzní deskou, kterou sestrojili pracovníci RÚK. Tento prototyp nebyl uživatelsky přívětivý ani pohodlný, tlačil kovovou částí na obratle a hrudník a nebyl velmi konzistentní v zakrývání zorného pole pacienta tak, aby neviděl na své ruce – toto je zásadní pro fungování metody zrcadlové terapie.



Obrázek 5.6: IKEA KLIPSK, podnos [27]



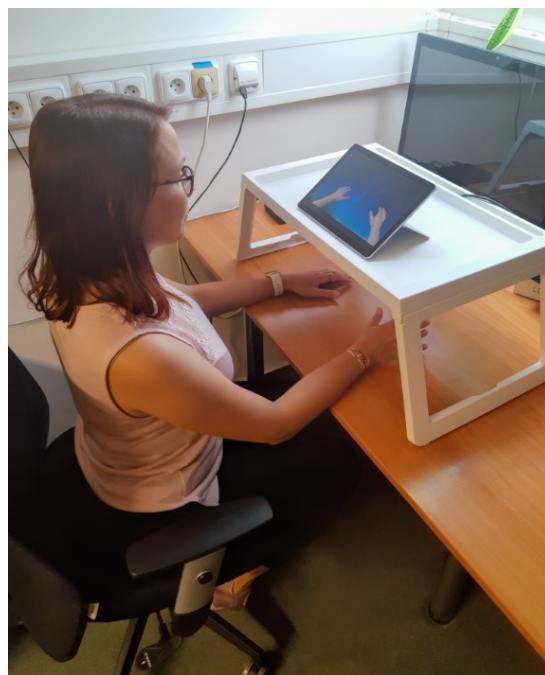
Obrázek 5.7: SKLZ Court Vision, tréninkové brýle na dribling [28]



Obrázek 5.8: IKEA BYLLAN, podpora pro laptop [29]



Obrázek 5.9: Cvičení s okluzní deskou



Obrázek 5.10: Cvičení se stolečkem



Obrázek 5.11: Cvičení s okluzními brýlemi



Obrázek 5.12: Okluzní brýle – detail

Shrnutí výsledků dotazníkového šetření

Dotazníkového šetření se zúčastnila skupina 9 terapeutů a skupina 12 pacientů. Každá skupina měla vlastní dotazník. Ze zpracování výsledků dotazníkového šetření vyplývá, že pro 100% terapeutů bylo snadné seznámit se s aplikací. 100% terapeutů hodnotilo obsluhu softwaru jako snadnou nebo spíše snadnou. 100% terapeutů hodnotilo obsluhu hardwaru (zapojování kabelů, okluzní brýle, senzor) jako snadnou nebo spíše snadnou. Uživatelské rozhraní hodnotilo 67% terapeutů jako přívětivé,

33% jako spíše přívětivé. 67% terapeutů hodnotilo vliv systému na své pacienty jako pozitivní, 33% jako spíše pozitivní.

Ze skupiny 12 pacientů bylo pro 83% seznámení s aplikací snadné nebo spíše snadné. 100% pacientů se cítilo při cvičení bezpečně. Cvičení se systémem přišlo zábavné nebo zajímavé 58% pacientům, spíše zábavné nebo zajímavé 42%. 67% pacientů dosáhlo při cvičení pocitu imerze – ponoření se do virtuální reality. V terapii se systémem by chtělo určitě pokračovat 33% a spíše pokračovat 42% pacientů.

Kapitola 6

Diskuze

Z výsledků dotazníkového šetření, kterého se zúčastnilo celkem 21 respondentů, z nichž bylo 9 terapeutů a 12 pacientů vyplývá, že celkový dojem z používání nového systému RukaRUK byl kladný. Za zajímavé považují hodnocení zábavnosti systému pacienti. Cvičení se systémem přišlo spíše zábavné nebo zajímavé dohromady 100% pacientům. Také hodnocení dosažení pocitu imerze u 33% pacientů je překvapením, protože grafická úroveň i plynulost zobrazení virtuálních rukou v Unity aplikaci lze i v současném stavu o dost zlepšit, což by mohlo ještě zvýšit počet pacientů, u kterých systém pocit imerze vyvolá.

Dotazníkového šetření se zúčastnil malý vzorek, což omezuje výpovědní hodnotu výsledků. Nicméně pro účely orientačního přehledu o potenciálu systému je tento vzorek dle mého názoru dostačující. V šetření nešlo o to, získat statisticky významné data, ale o to, získat zpětnou vazbu od vzorku reálných uživatelů.

Technologie WinUI 3 je velmi mladá a nestabilní, ale probíhá na ní velmi intenzivní vývoj, takže se v horizontu roku dá předpokládat její uhlazení. Alternativou bylo použít starší technologii WPF, která je mnohem pracnější upravit do moderní grafické i funkční podoby. WinUI 3 je naopak vizuálně moderní už z výchozího stavu. Použití WPF by také mohlo omezit budoucí rozšiřitelnost aplikace. Nová modulární architektura softwaru RukaRUK umožňuje snadnější rozšiřitelnost v dalším vývoji systému. Posuvníky pro ovládání parametrů zobrazení modelů rukou nikam neukládají svou aktuální hodnotu, což by mohlo být v budoucnu implementováno.

Závěr

Pacientů s trvalými následky po CMP stále přibývá a nároky na jejich léčbu se zvyšují. Proto je potřeba hledat nová řešení s využitím moderních senzorů a softwarových technologií pro efektivnější rehabilitaci v ambulantním i domácím prostředí. Cílem této práce bylo upravit stávající, dlouhodobě vyvíjený systém pro rehabilitaci horní končetiny s využitím virtuální reality a pohybového senzoru LMC tak, aby se dal využít i v módu distanční terapie.

V počáteční fázi jsem provedl uživatelský výzkum s terapeutkou z Rehabilitačního ústavu Kladruby, která reprezentovala typického uživatele. Na základě analýzy výsledků uživatelského výzkumu jsem následně zpracoval požadavky na nový systém. Soupisem těchto funkčních požadavků jsem se poté řídil ve fázi návrhu, ve které jsem navrhl architekturu systému a tvořil jsem jeho model pomocí metod softwarového inženýrství. V další fázi jsem popsal průběh vlastní implementace tohoto návrhu. Z důvodu dramaticky odlišné architektury a nízké znovu-využitelnosti původního kódu softwaru RukaRUK jsem jej téměř kompletně přepsal. Na výsledné uživatelské vyhodnocení systému jsem vytvořil 2 dotazníky, pro 2 skupiny uživatelů – terapeuti a pacienti. V Rehabilitačním ústavu Kladruby jsem výsledný systém nainstaloval a předal k testování. Z výsledků dotazníkového šetření skupiny 9 terapeutů a 12 pacientů vyplývá, že většina respondentů hodnotila použitelnost kladně v obou skupinách, 75% pacientů by v terapii se systémem chtělo pokračovat a pozitivní vliv na své pacienty měl systém určitě podle 33% terapeutů a spíše ano podle 67% terapeutů.

Systém by v budoucnu bylo dobré rozšířit o možnost personalizovaných terapeutických plánů, zvýšit stabilitu snímání ruky a otestovat systém v domácím rehabilitačním programu.

Bibliografie

1. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Cause-specific mortality, 2000–2019*. Geneva, Switzerland, 2020. Tech. zpr. Dostupné také z: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghe-leading-causes-of-death>.
2. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Disease burden, 2000–2019*. Geneva, Switzerland, 2020. Tech. zpr. Dostupné také z: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghe-leading-causes-of-death>.
3. KATAN, Mira; LUFT, Andreas. Global Burden of Stroke. *Seminars in Neurology*. 2018, roč. 38, č. 02, s. 208–211. Dostupné z DOI: 10.1055/s-0038-1649503.
4. DONKOR, Eric S. Stroke in the 21st Century: A Snapshot of the Burden, Epidemiology, and Quality of Life. *Stroke Research and Treatment*. 2018, roč. 2018, s. 1–10. Dostupné z DOI: 10.1155/2018/3238165.
5. AQUEVEQUE, Pablo; ORTEGA, Paulina; PINO, Esteban; SAAVEDRA, Francisco; GERMANY, Enrique; GÓMEZ, Britam. After Stroke Movement Impairments: A Review of Current Technologies for Rehabilitation. In: *Physical Disabilities - Therapeutic Implications*. InTech, 2017. Dostupné z DOI: 10.5772/67577.
6. ANTOŠ, Ondřej. *Software pro podporu rehabilitace ruky*. Kladno, 2016. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10467/91200>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Jan MUŽÍK.
7. LEAP MOTION, INC. *Leap Motion Controller*. 2013. Dostupné také z: <https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>.
8. LEAP MOTION, INC. *Introducing LeapUVC: A New API for Education, Robotics and More*. 2018-12-18. Dostupné také z: <https://blog.leapmotion.com/leapuvc/>.
9. VANBELLINGEN, Tim; FILIUS, Suzanne J.; NYFFELER, Thomas; WEGEN, Erwin E.H. van. Usability of videogame-based dexterity training in the early rehabilitation phase of stroke patients: A pilot study. *Frontiers in Neurology*. 2017, roč. 8. ISSN 16642295. Dostupné z DOI: 10.3389/fneur.2017.00654.

10. FLUET, Gerard G.; QIU, Qinyin; PATEL, Jigna; CRONCE, Amanda; MERIANS, Alma S.; ADAMOVIČH, Sergei V. Autonomous Use of the Home Virtual Rehabilitation System: A Feasibility and Pilot Study. *Games for Health Journal*. 2019, roč. 8, s. 432–438. ISSN 21617856. Dostupné z DOI: 10.1089/g4h.2019.0012.
11. WANG, Zun Rong; WANG, Ping; XING, Liang; MEI, Li Ping; ZHAO, Jun; ZHANG, Tong. Leap Motion-based virtual reality training for improving motor functional recovery of upper limbs and neural reorganization in subacute stroke patients. *Neural Regeneration Research*. 2017, roč. 12, s. 1823–1831. ISSN 18767958. Dostupné z DOI: 10.4103/1673-5374.219043.
12. ÖGÜN, Muhammed Nur; KURUL, Ramazan; YAŞAR, Mustafa Fatih; TURKOGLU, Sule Aydin; AVCI, Şebnem; YILDIZ, Nebil. Effect of leap motion-based 3D immersive virtual reality usage on upper extremity function in ischemic stroke patients. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*. 2019, roč. 77, s. 681–688. ISSN 16784227. Dostupné z DOI: 10.1590/0004-282X20190129.
13. PLACIDI, Giuseppe; CINQUE, Luigi; POLSINELLI, Matteo; SPEZIALETTI, Matteo. Measurements by a LEAP-based virtual glove for the hand rehabilitation. *Sensors (Switzerland)*. 2018, roč. 18. ISSN 14248220. Dostupné z DOI: 10.3390/s18030834.
14. KIM, Subok; PARK, Seoho; LEE, Onseok. Development of a diagnosis and evaluation system for hemiplegic patients post-stroke based on motion recognition tracking and analysis of wrist joint kinematics. *Sensors (Switzerland)*. 2020, roč. 20, s. 1–11. ISSN 14248220. Dostupné z DOI: 10.3390/s20164548.
15. LEFFINGWELL, Dean A. Agile Software Requirements: Lean Requirements Practices for Teams, Programs, and the Enterprise. In: 2011.
16. BEDIKIAN, Raffi. *Understanding Latency: Part 1*. 2013-07-13. Dostupné také z: <https://blog.leapmotion.com/understanding-latency-part-1/>.
17. HOIDEKROVÁ, Kristýna. *Využití Mirror therapy v ergoterapii*. Praha, 2014. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/20.500.11956/57343>. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta, Klinika rehabilitačního lékařství 1. LF UK a VFN v Praze. Vedoucí práce Natálie LUPIENSKÁ.
18. MARTIN, Robert C. *The Principles of OOD* [online]. 2003 [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20210119011659/http://butunclebob.com/ArticleS.UncleBob.PrinciplesOfOod>.
19. HORDĚJČUK, Vojtěch. *Princip SOLID*. 2021. Dostupné také z: <http://voho.eu/wiki/princip-solid/>.
20. LEAP MOTION. *Leap Motion SDK*. 2021. Ver. 4.1.0. Dostupné také z: <https://developer.leapmotion.com/sdk-leap-motion-controller/>.
21. LEAP MOTION. *Leap Motion SDK for Unity*. 2021. Ver. 4.8.0. Dostupné také z: <https://github.com/leapmotion/UnityModules>.
22. ISO/IEC 5218:2004. *Information technology — Codes for the representation of human sexes*. Geneva, Switzerland, 2004. Standard. International Organization for Standardization. Dostupné také z: <https://www.iso.org/standard/36266.html>.

23. FIGMA, INC. *Figma*. 2016. Dostupné také z: <https://www.figma.com/>.
24. BLACK DUCK OPEN HUB. *Compare Repositories*. 2021. Dostupné také z: <https://www.openhub.net/repositories/compare>.
25. MICROSOFT. *Supported source repositories*. 2020-07-07. Dostupné také z: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/devops/pipelines/repos/?view=azure-devops-2020>.
26. MICROSOFT. *Windows App SDK: Roadmap*. 2021. 8b48ce2. Dostupné také z: <https://github.com/microsoft/WindowsAppSDK/blob/main/docs/roadmap.md>.
27. IKEA. *KLIPSK, podnos*. 2021. Dostupné také z: <https://www.ikea.com/cz/cs/p/klipsk-podnos-do-postele-bila-00258882/>.
28. SKLZ. *Court Vision, tréninkové brýle na dribling*. 2021. Dostupné také z: <https://www.alza.cz/sport/sklz-court-vision-treninkove-bryle-na-dribling-d5489990.htm>.
29. IKEA. *BYLLAN, Podpěra pro laptop*. 2021. Dostupné také z: <https://www.ikea.com/cz/cs/p/byllan-podpera-pro-laptop-ebbarp-cerna-bila-70403512/>.

Přílohy

Dotazník pro pacienty

Ověření použitelnosti a uživatelské přívětivosti rehabilitačního systému RukaRuk

Vážená paní, vážený pane,

byl/a jste požádán/a o účast na uživatelském testování rehabilitačního systému RukaRuk.

Cílem tohoto dotazníkového šetření je získat zpětnou vazbu od Vás - potenciálního uživatele.

Získané informace budou využity pouze pro další zlepšování systému RukaRuk.

Otázky

1. Byl/a jste v minulosti účastníkem výzkumu, který se zabýval využitím virtuální reality v rehabilitaci?

Ano	Ne
-----	----

2. Jak náročné pro Vás bylo seznámit se s aplikací?

Snadné	Spíše snadné	Spíše obtížné	Obtížné
--------	--------------	---------------	---------

3. Cítil/a jste se při cvičení bezpečně?

Určitě ano	Spíše ano	Spíše ne	Určitě ne
------------	-----------	----------	-----------

4. Přišlo Vám cvičení se systémem zábavné nebo zajímavé?

Určitě ano	Spíše ano	Spíše ne	Určitě ne
------------	-----------	----------	-----------

5. Vyvolal ve Vás systém při cvičení pocit ponoření se do virtuální reality?

Určitě ano	Spíše ano	Spíše ne	Určitě ne
------------	-----------	----------	-----------

6. Chtěli byste v terapii s tímto systémem pokračovat?

Určitě ano	Spíše ano	Spíše ne	Určitě ne
------------	-----------	----------	-----------

Nepovinné doplňující otázky

Co nejvíce na systému oceňujete, co se Vám nejvíce líbí:

Co se Vám na systému líbí nejméně, co byste chtěl změnit:

Co Vám na zkoušeném systému nevyhovuje?

Co Vám na zkoušeném systému vyhovuje?

Které úkony byly pomalé?

Ve kterých úkonech byly nejčastěji zaznamenány chyby?

Byli byste ochotni za takovýto systém platit?

Prostor pro Vaše další připomínky, návrhy a komentáře:

Dotazník pro terapeuty

Ověření použitelnosti a uživatelské přívětivosti rehabilitačního systému RukaRuk

Vážená paní, vážený pane,

byl/a jste požádán/a o účast na uživatelském testování rehabilitačního systému RukaRuk.

Cílem tohoto dotazníkového šetření je získat zpětnou vazbu od Vás - potenciálního uživatele.

Získané informace budou využity pouze pro další zlepšování systému RukaRuk.

Otázky

1. Byl/a jste v minulosti účastníkem výzkumu, který se zabýval využitím virtuální reality v rehabilitaci?

Ano	Ne
-----	----

2. Jak náročné pro Vás bylo seznámit se s aplikací?

Snadné	Spíše snadné	Spíše obtížné	Obtížné
--------	--------------	---------------	---------

3. Obsluha softwarové části systému byla:

Snadná	Spíše snadná	Spíše obtížná	Obtížná
--------	--------------	---------------	---------

4. Obsluha hardwarové části systému (zapojování kabelů, okluzní brýle, senzor...) byla:

Snadná	Spíše snadná	Spíše obtížná	Obtížná
--------	--------------	---------------	---------

5. Bylo pro Vás uživatelské rozhraní systému přívětivé (např. jednoznačnost ovládacích prvků, čitelnost textu, navigace mezi stránkami)?

Určitě ano	Spíše ano	Spíše ne	Určitě ne
------------	-----------	----------	-----------

6. Myslíte, že používání systému mělo pozitivní vliv na Vaše pacienty?

Určitě ano	Spíše ano	Spíše ne	Určitě ne
------------	-----------	----------	-----------

Nepovinné doplňující otázky

Co nejvíce na systému oceňujete, co se Vám nejvíce líbí:

Co se Vám na systému líbí nejméně, co byste chtěl změnit:

Co Vám na zkoušeném systému nevyhovuje?

Co Vám na zkoušeném systému vyhovuje?

Které úkony byly pomalé?

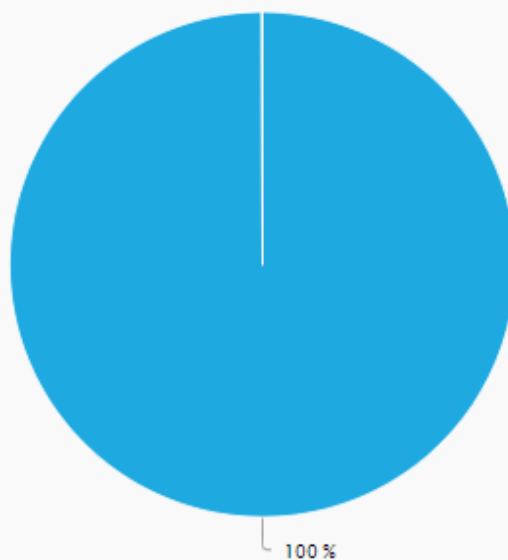
Ve kterých úkonech byly nejčastěji zaznamenány chyby?

Co byste na systému změnili, aby byla Vaše práce s pacientem ještě efektivnější?

Prostor pro Vaše další připomínky, návrhy a komentáře:

Celkem odpovědí **7** Vyřazeno **0**

1 Vyjádření k žádosti provedení výzkumného projektu



# ▲	Možnosti odpovědí	Responzí	Podíl
●	Souhlasím s provedením	7	100 %
●	Nesouhlasím s provedením	0	0 %
●	Vrátit k přepracování	0	0 %
●	Navrhuji k projednání na schůzce etické komise	0	0 %

Komentář k výsledkům:

Hlasování Etické komise RÚ Kladruby pro žádost Podpora distanční rehabilitace v software RukaRuk, žadatel Bc. Ondřej Antoš, bylo ukončeno dne 21.2.2021. Byl udělen souhlas s provedením projektu.

Za správnost PhDr. Kristýna Hoidekrová, vedoucí Etické komise RÚ Kladruby