

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra teorie obvodů

Notifikační systém pro pokročilou analýzu umělé plicní ventilace

František Krupička

Vedoucí: Ing. Miroslav Macík, Ph.D.

Obor: Elektro inženýrství

Studijní program: Lékařská elektronika a bioinformatika

Květen 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Krupička** Jméno: **František** Osobní číslo: **507210**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra teorie obvodů**
Studijní program: **Lékařská elektronika a bioinformatika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Notifikační systém pro pokročilou analýzu umělé plicní ventilace

Název bakalářské práce anglicky:

Notification system for advanced artificial lung ventilation analysis

Pokyny pro vypracování:

Vent-Connect je systém pro vzdálený dohled nad přístroji v prostředí intenzivní lékařské péče. Systém využívá grafického obrazového výstupu přístrojů a aktuálně umožňuje dohled na plicními ventilátory a monitory životních funkcí. Další vývoj systému předpokládá průběžné vyhodnocování dat sledovaných přístrojů za účelem upozornění na nežádoucí stavy. Kromě konvenčních provozních alarmů (např. překročení nastavených hraničních hodnot sledovaných parametrů) systém umožní i upozorňování na komplexní problémy jako jsou interference [1] při umělé plicní ventilaci. V prostředí jednotek intenzivní péče dochází k častým alarmům/upozorněním, které vyžadují pozornost/reakci personálu. Tento fakt klade velké nároky na personál [2]. Správný návrh a nastavení systému upozorňování je zásadní pro jeho akceptaci personálem a jeho praktické nasazení.

Seznamte se s aktuálním stavem vývoje systému Vent-Connect, který je vyvíjen v rámci spolupráce mezi ČVUT a Fakultní Nemocnicí Královské Vinohrady. Analyzujte současný stav systémů upozorňování používaných v intenzivní lékařské péči (navazte na zdroje [3][4]). Definujte funkční a nefunkční požadavky na rozšíření systému Vent-Connect o komponentu pro upozorňování, která naváže na online analýzu a klasifikaci dat z výstupu plicních ventilátorů. Při řešení zvažte možnosti upozorňování pomocí notifikačního systému pro chytré mobilní telefony a jako součást komponenty Kouzelné zrcadlo systému Vent-Connect. Navrhněte rozšíření systému Vent-Connect o komponentu pro správu vzniklých notifikací a sledování jejich životního cyklu. Návrhy realizujte pomocí prototypů, které bude možné otestovat se zástupci cílové skupiny uživatelů. Řešení vzešlé z testovaných prototypů implementujte pomocí vhodné technologie, které umožní integraci do systému VentConnect. Výsledné řešení otestujte z hlediska kvality implementace a použitelnosti.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Blanch, L., Villagra, A., Sales, B., Montanya, J., Lucangelo, U., Luján, M., ... & Kacmarek, R. M. (2015). Asynchronies during mechanical ventilation are associated with mortality. *Intensive care medicine*, 41, 633-641.
- [2] Cvach, M. (2012). Monitor alarm fatigue: an integrative review. *Biomedical instrumentation & technology*, 46(4), 268-277.
- [3] Poncette, A. S., Mosch, L. K., Stablo, L., Spies, C., Schieler, M., Weber-Carstens, S., ... & Balzer, F. (2022). A remote patient-monitoring system for intensive care medicine: mixed methods Human-Centered design and usability evaluation. *JMIR Human Factors*, 9(1), e30655.
- [4] Dziadzko, M. A., Harrison, A. M., Tiong, I. C., Pickering, B. W., Moreno Franco, P., & Herasevich, V. (2016). Testing modes of computerized sepsis alert notification delivery systems. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 16(1), 1-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Miroslav Macík, Ph.D. Katedra počítačové grafiky a interakce

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **06.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **21.09.2025**

Ing. Miroslav Macík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Radoslav Bortel, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Miroslav Macík, Ph.D. za podporu a vstřícnost při vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Jirmanovi za poskytnuté materiály a konzultace. Nakonec bych zmínil díky lékařům, kteří se účastnili uživatelského testování.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Praze, 24. května 2024

Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na vývoj notificační komponenty pro systém vzdáleného dohledu na jednotce intenzivní péče VentConnect. Jeho rozšíření by mělo detekovat nejen alarmy přístroje, ale i komplexní problémy jako je interference a následně informovat lékaře. Cílem je zvýšit kvalitu péče o pacienty. Byla provedena analýza stávajících způsobů upozorňování v lékařském prostředí a sestaveny požadavky pro úspěšné notifikování. Jako metodu přenosu upozornění bylo vybráno zasílání push notifikací na chytrý telefon. Návrh notifikací byl orientován na snadnou a efektivní použitelnost. Byly vytvořeny prototypy návrhu, jež prošly Heuristickou evaluací a uživatelským testováním, které zahrnovalo SUS dotazník. Výsledkem otestovaný návrh notificační komponenty.

Klíčová slova: notificační systém, HCD, upozornění, VentConnect, JIP, push notifikace

Vedoucí: Ing. Miroslav Macík, Ph.D.
Karlovo náměstí 13,
Praha 2

Abstract

This paper focuses on the development of a notification component for the VentConnect remote monitoring system in the intensive care unit. The extension aims to detect not only device alarms but also complex issues such as interference and subsequently inform medical staff. The aim is to enhance patient care quality. An analysis of existing notification methods in the medical environment was conducted, and the requirements for successful notifications were established. Push notifications sent to a smartphone were chosen as the method of delivering alerts. The design of the notifications was aimed at ease of use and effectiveness. Prototypes were created and underwent heuristic evaluation and user testing, which included a SUS questionnaire. The result is a tested design of the notification component.

Keywords: notification system, HCD, alerts, VentConnect, ICU, push notifications

Title translation: Notification system for advanced artificial lung ventilation analysis

Obsah

1 Úvod	1	3.2.3 Scénář 3 - nízká závažnost ..	14
2 Analýza	3	3.2.4 Scénář 4 - přesměrování.....	14
2.1 Vymezení základních pojmů	3	3.3 Prototypy	14
2.2 Systém VentConnect a Kouzelné zrcadlo	4	3.3.1 Druhá verze prototypu.....	15
2.3 Oborná literatura	5	3.4 Návrhy řešení problémů objevených při uživatelském testování.....	16
2.3.1 Závěry rešerše literatury pro mou práci	8	3.5 Uživatelské rozhraní.....	19
2.4 Rozhovor s lékaři	9	3.5.1 Celková struktura	19
2.5 Závěr analýzy	10	3.5.2 Home	19
3 Návrh	11	3.5.3 Notifikace	21
3.1 Požadavky na aplikaci	11	3.5.4 Zpětná vazba	23
3.1.1 Funkční požadavky	11	4 Implementace	25
3.1.2 Nefunkční požadavky	13	4.1 Tvorba prototypů	25
3.2 Scénáře.....	13	4.2 Tvorba programu	26
3.2.1 Scénář 1 - vysoká závažnost .	13	5 Testování	27
3.2.2 Scénář 2 - střední závažnost .	14	5.1 Heuristická evaluace prvního prototypu	27
		5.1.1 Kognitivní průchod druhého prototypu	28

5.1.2 Závěr úvodního testování prototypů	29
5.2 Studie použitelnosti systému ...	30
5.2.1 Problémy objevené při testování	31
5.2.2 SUS dotazník	34
6 Závěr	37
A Elektronické přílohy	39
B Literatura	41

Obrázky

2.1 Aplikace Kouzelné zrcadlo	5
2.2 Schéma systému VentConnect	5
3.1 První prototyp. Zleva: Home, Notifikace, Zpětná vazba	15
3.2 Druhý prototyp. Zleva: Home, Notifikace, Zpětná vazba	16
3.3 Otevření Kouzelného zrcadla v novém okně	20
3.4 Karta Home	21
3.5 Karty nové notifikace(vlevo) a přijaté notifikace	22
3.6 Karta zpětné vazby a příklad vyplnění	24

Tabulky

5.1 Informace o participantech	30
5.2 Hodnocení Měřítko použitelnosti systému (SUS)	35

Kapitola 1

Úvod

Během pandemie Covid-19 vznikla ve spolupráci ČVUT a Fakultní nemocnicí Královské Vinohrady aplikace VentConnect, která umožňuje vzdálené sledování plicních ventilátorů a monitorů vitálních funkcí. To snížilo nutnost vstupování na pokoj pacienta v izolaci. Druhou funkcí je ukládání krátkých záznamů pro zpětné prohlížení. Aplikace se osvědčila i v běžném provozu nemocnice, nyní je prováděn vývoj notifikační komponenty. Předmětem mé práce bylo připravit rozšíření systému VentConnect pro zasílání notifikací, vyžadujících pozornost lékaře. Účelem upozorňování je zvýšit kvalitu péče. Zároveň by nemělo dojít k zvýšení objemu práce lékařů. Během volby nástroje pro notifikace jsem se zaměřil na chytré telefony, které jsou dnes snadno dostupné a mají velký potenciál pro další rozvoj. Cíle mé práce jsou

1. Analyzovat téma upozorňování v lékařské péči. Zjistit časté problémy a prozkoumat jejich možná řešení. Zaměřit se na využití chytrých telefonů v tomto oboru.
2. Definovat požadavky na notifikační komponentu pro plánované rozšíření systému VentConnect, které bude lékaře informovat o potenciálních nežádoucích stavech.
3. Navrhnout tuto notifikační komponentu, při tom klást důraz na použitelnost.
4. Otestovat kvalitu návrhu s pomocí prototypů. Provést vlastní evaluaci a uživatelské testování. Nalézt řešení objevených problémů a zahrnou je do návrhu.

5. Implementovat návrh vhodnou technologií, aby výsledek bylo možné použít v rozšíření systému VentConnect.

Prvotní spuštění VentConnect bylo provedeno urychleně kvůli pandemii Covid-19, tudíž se objevilo množství chyb. Následné opravy, však způsobily komplikace řadě uživatelů, protože již byli zvyklí na původní verzi. Hotový notifikační systém by měl být otestován a vyznačovat se vysokou použitelností. Tím se předejde zmíněnému problému. Cílem je snížení

Kapitola 2

Analýza

Tato kapitola je zaměřena na vývoj a současný stav systému VentConnect a stanovení požadavků na nový notifikační systém. Nejprve budou popsány klíčové pojmy a termíny, které jsou pro tuto práci nezbytné, poté bude představen systém VentConnect a jeho součásti. Následně bude probrána relevantní odbornou literatura týkající se notifikací ve zdravotnictví.

2.1 Vymezení základních pojmů

Zde vymezím důležité pojmy a termíny související s touto prací. **Alarm fatigue** "Je přetížení smyslů, kdy jsou klinici vystaveni přílišnému množství poplachů, což může vést k otupění smyslů a nevnímání alarmů. Některá úmrtí pacientů byla připsána Alarm fatigue" [1]. **Alarm acknowledgement** je potvrzení, že daný poplach byl někým registrován a je na něj reagováno. Často je řešeno stiskem příslušného tlačítka, čímž se utlumí alarm. Toto potvrzování brání přehlížení důležitých alarmů [2]. **False alarm** nebo **falešný poplach** je dle [3] v medicíně konvenčně definován jako poplach bez klinických nebo terapeutických důsledků. **Situational awareness** nebo **situační povědomí** je podle [4] vnímání prvků v prostředí v určitém časovém a prostorovém rozsahu, porozumění jejich významu a projekce jejich stavu do blízké budoucnosti. **Chytré alarmy** zohledňují více fyziologických parametrů, rychlost změny a kvalitu signálu. Mají potenciál snížit počet falešných poplachů. Parametry může sledovat jedno nebo více zařízení [5][6]. **Push notifikace** jsou zprávy nebo upozornění, které jsou odesílány přímo do mobilních zařízení nebo webových prohlížečů. Tyto notifikace mohou pocházet z různých zdrojů, jako jsou

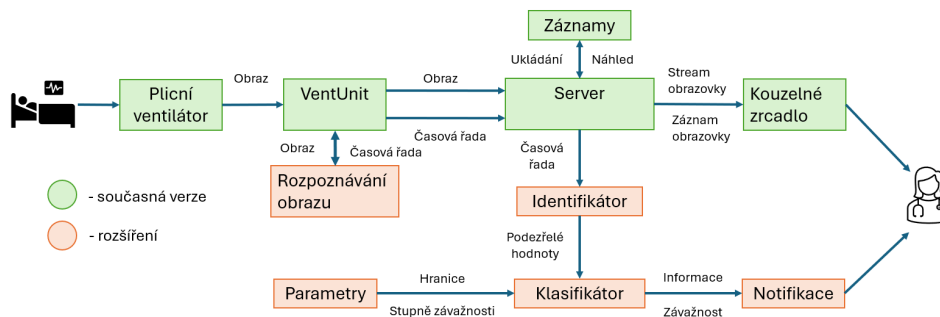
aplikace, sociální média nebo webové stránky, a slouží k informování uživatelů o důležitých událostech, nových zprávách nebo jiných aktualizacích. **Umělá plicní ventilace** je podle [7] postup, při němž přísun plynů do plic zajišťuje mechanické zařízení. Přístrojem je docíleno posílení nebo náhrada vlastního respiračního výkonu pacienta. Při umělé ventilaci je pacient zpravidla nepřetržitě připojen k přístroji a jeho spontánní ventilace je plně nahrazena. Za způsob umělé plicní ventilace je rovněž považována neinvazivní ventilace, kdy se jedná o způsob mechanické ventilační podpory přerušovaným tlakem bez nutnosti invazivního zajištění dýchacích cest. Přístroji zajišťující umělou plicní ventilaci se zkráceně označuje jako **Ventilátor**, je vybaven několika **Ventilačními režimy** využívanými dle stavu pacienta. **Závažnost, úroveň nebo stupeň notifikace** tento údaj určuje prioritu a rychlost jak by měla být notifikace řešena.

2.2 Systém VentConnect a Kouzelné zrcadlo

Systém vznikl během pandemie Covid-19 na základě požadavků FN Královské Vinohrady. Hlavním účelem bylo snížení nutnosti přítomnosti lékaře v pokoji s infikovaným pacientem. Toho bylo dosaženo vzdáleným monitoringem plicních ventilátorů a monitorů vitálních funkcí. Běh zajišťují tři složky: VentUnit, síťová infrastruktura a úložiště [8]. VentUnit je Hardwarová jednotka, která je přímo připojená k léčebnému přístroji (zpravidla plicnímu ventilátoru), je řízena mikrokontrolerem Raspberry Pi a přenáší data na sever buď bezdrátově pomocí Wi-Fi, nebo přes ethernet. Z přímého přenosu monitoru je každých 15 minut uložen 10 sekundový záznam, tím vzniká historie vývoje zdravotního stavu nemocného. Prohlížení aktuálních a historických dat je prováděno přes webovou aplikaci Kouzelné zrcadlo viz obrázek 2.1. Data pacientů jsou zde anonymizována, jako identifikátor tedy slouží pouze číslo lůžka. V současné době je cílem rozšířit VentConnect o automatický notifikační systém, který je ilustrován schématem na obrázku 2.2. Vybrané záznamy z plicní ventilace anotují lékaři, tím určí, zda se v daném úseku nachází patologický jev. Z anotovaných záznamů se poté učí neuronová síť. V praxi bude hardwarová jednotka VentUnit získávat obraz z Plicního ventilátoru, ventilační křivky převede na číselnou řadu, kterou analyzuje identifikátor, ten nalezené problémy předá klasifikátoru. V moment kdy počet problémů v časovém úseku nalezených klasifikátorem překročí hranici danou parametry, vznikne upozornění, které přijde lékaři na chytrý telefon.



Obrázek 2.1: Aplikace Kouzelné zrcadlo



Obrázek 2.2: Schéma systému VentConnect

2.3 Oborná literatura

Zde proberu odbornou literaturu zabývající se tele-medicínou a notifikacemi ve zdravotnictví. Pro vyhledávání jsem využil primárně Google scholar.

V práci *Push notifications for critical labs results: a pilot study in the intensive care unit* [9] se pokusili zlepšit předávání kritických výsledků krevních testů z laboratoře, pomocí push notifikací. Původně bylo předávání výsledků prováděno telefonicky, nebo pagerem. Nově byla elektronicky vygenerována notifikace, klinik měl deset minut na její přijetí, jinak bylo přistoupeno k původní metodě. Úspěšnost elektronických přijetí výsledků během studie byla pouze 6 %, částečně to bylo způsobeno tím, že pracovníci neměli telefon u sebe. Přesto došlo k znatelnému zrychlení péče a zmenšení objemu práce techniků, protože předání původním způsobem trvalo technikovi průměrně deset minut.

Systém *IRIS* (ICU Real-Time Informatics System) [10] je podobný vyvíjenému rozšíření pro Kouzelné zrcadlo. Jeho cílem je přenášení hodnot EEG, nitrolebečního tlaku a okysličení mozkové tkáně. Zároveň detekuje a upozorňuje na chybně upevněné EEG elektrody a náhlé změny intrakraniálního tlaku. Funkcí systému je, že notifikuje pouze lékaře, který má pacienta na starosti. Tím je omezena Alarm fatigue.

Monitor Alarm Fatigue, An Integrative Review [5] je integrativní přehled zabývající se Alarm fatigue. Závěrem práce byla následující doporučení:

- Chytré alarmy, které berou v úvahu více parametrů, rychlost změn a kvalitu signálu, mohou snížit počet falešných poplachů.
- Krátkým zpoždění před vyvoláním alarmu může snížit počet ignorovaných nebo neúčinných alarmů způsobených manipulací s pacientem.
- Standardizace indikačních zvuků alarmů může být efektivní způsob, jak snížit počet zvuků, které se musí personál naučit.
- Přehledné návody pomáhají správnému používání přístrojů.
- Nemocnice by měly vytvořit interdisciplinární výbor pro správu alarmů, který provede hodnocení rizik alarmů a prozkoumá strategie pro jejich snížení.
- Nemocnice by měly vyvinout protokoly pro nastavení a reagování na alarmy.
- Aktivované alarmy by měly být nastaveny na úroveň vyžadující pozornost a reakci.
- Při rozvrhování práce by mělo být zohledněno, že doba reakce na alarmy je funkcí pracovního zatížení, s rostoucím pracovním zatížením se zvyšuje čas potřebný na reakci a zhoršuje se výkon při jejich řešení.
- Pokročilé technologie nabízí další prostředky pro přenos upozornění k pečovateli, což může zahrnovat pagery, telefony a pomocné obrazovky. Doporučuje se použití notifikačních systémů, které poskytují kontext pečovateli a uzavřenou komunikaci.
- Investovat do počátečního a průběžného školení používání zařízení. Školení by mělo napodobovat klinické prostředí, kde se zařízení používá.
- Pro snížení stresu zaměstnanců a pacientů, by měly být použity strategie omezující hluk.
- Personál může zabránit falešným alarmům tím, že dočasně pozastaví alarmy před manipulací s pacientem.

- Nastavení alarmu podle skutečných potřeb pacienta zajistí, že alarmy budou přesné a poskytnou včasné varování před potenciálními kritickými situacemi.
- Správná příprava kůže a pravidelná výměna EKG elektrod a vodičů snižuje falešné alarmy.
- Ukládání parametrů alarmů v lékařské dokumentaci je efektivní intervencí pro udržení vhodného nastavení.

Pro mou práci jsou důležité informace o používání chytrých notifikací, čekání před vytvořením notifikace, zamezení falešných alarmů při manipulaci s pacientem, příprava protokolů pro reakci na notifikace a dostatečné zaškolení personálu.

Článek *A Remote Patient-Monitoring System for Intensive Care Medicine Mixed Methods Human-Centered Design and Usability Evaluation* [11] se zabývá použitím HCD (design zaměřený na člověka) při vývoji systému pro vzdálené sledování pacientů na jednotce intenzivní péče. Z jejich závěrů vychází, že aplikace přístupu zaměřeného na člověka (HCD) s testováním použitelnosti (SUS) a návrhem upraveného prototypu výrazně zlepšila použitelnost systému pro vzdálené monitorování pacientů, zejména v oblastech snadnosti používání, efektivity a účinnosti. Technická zařízení by měla být navržena s ohledem na účinné a efektivní použití. Dále zmiňují, že metody HCD často nejsou aplikovány dostatečně brzy během vývoje. Poukázal bych na dva problémy, na které narazili autoři studie při testování. Některé popisy tlačítek nebyly pro uživatele dostatečně jasné a srozumitelné. V nastavení chybělo potvrzení změn (dialogové okno: Opravdu chete ... ?).

Práce *Effect of an automated notification system for deteriorating ward patients on clinical outcomes* [12] se zabývá použitím automatického notifikačního systému, který sleduje životní funkce pacienta a při jejich zhoršení upozorní pracovníky. Výsledkem bylo snížení úmrtnosti a počtu srdečních zástav, také došlo k obecnému zlepšení zdravotního stavu pacientů.

Článek *To beep or not to beep? Evaluating modalities for multimodal ICU alarms* [13] zkoumá návrh a testování multimodálních notifikačních v prostředí jednotky intenzivní péče. Cílem bylo omezení Alarm fatigue a zvýšení kvality péče. Vyvinuli nositelný notifikační systém kombinující vizuální, hmatové a sluchové podněty. Vizuální část cílila na periferní vidění pomocí barevných diod připevněných na obroučky brýlí. Předávání hmatových signálů zajišťoval pásek s vibračními tělísky umístěný na paži. Pro zvuková upozornění byl použit reproduktor s kostním vedením, což zvýšilo komfort pacientů a ostatních pracovníků. V simulovaných podmínkách byly pro sestry

vizuální a hmatové alarmy rychlejší a efektivnější k identifikaci než současné standardní alarmy. Periferní světla a reproduktory s kostním vedením byly zvláště efektivní, hodnocené velmi dobře pro jejich vhodnost, vnímatelnost, rozlišitelnost a pohodlnost.

Závěrem práce *Implementation and experience of an innovative smart patient care system: A cross-sectional study* je, že ošetřovatelé musí zvládat více úkolů v klinické praxi a často považují alarmy z patientských systémů za obtěžující, zdlouhavé a snadno přehlédnutelné. Přesto alarmy hrají klíčovou roli při přenosu požadavků pacientů a včasná reakce na ně je spojena s menším počtem zranění a vyšší spokojeností pacientů. Je potřeba spolehlivý systém péče o pacienty, který pomůže ošetřovatelům prioritizovat reakce na upozornění a zvládat je vedle dalších povinností. Tyto systémy by měly:

- Upřesnit důvod alarmu pro rychlé posouzení naléhavosti.
- Cílit alarmy přímo na mobilní zařízení pracovníka přiřazenému k volajícímu pacientovi, čímž se sníží frekvence alarmů a zvýší se rychlost reakce.
- Umožnit okamžitou komunikaci, která sestřám poskytne více detailů o důvodu volání nebo získá více času na poskytnutí pomoci.
- Zahrnovat předběžná upozornění na opuštění postele, která sestřám poskytnou dostatek času na asistenci.

Budoucí vývoj produktů pro systémy péče o pacienty by se měl zaměřit na schopnost umožnit lépe informované rozhodování o prioritách mezi reakcí na alarmy a probíhajícími úkoly a pomoci jim přizpůsobit svou práci různým situacím pro zvýšení efektivity práce a kvality péče.

Výzkum *Replacing overhead paging with smartphones to reduce hospital noise* se snažil omezit hluk v nemocnici nahrazením komunikace pomocí hlášení z reproduktorů. K tomu využili chytré telefony. Výsledkem bylo snížení hluku o dvě třetiny.

■ 2.3.1 Závěry rešerše literatury pro mou práci

Z literatury jsem vybral následující požadavky jako důležité, pro správný vývoj notifikačního systému:

- Snažit se maximálně omezit alarm fatigue.
- Použít chytré notifikace.
- Poskytnout k upozornění dostatek informací, aby pracovník zhodnotil jak rychle musí situaci řešit.
- Zamezit vzniku falešných alarmů při manipulaci s pacientem.
- Před vznikem upozornění krátce vyčkat, zda se hodnota nenavrátil zpět do vhodných mezí.
- Připravit návody pro reakci na notifikace a dostatečné zaškolení personálu.
- Notifikovat pracovníka, jemuž přísluší daný pacient.
- Soustředit se na HCD během vývoje.

2.4 Rozhovor s lékaři

Sestavili jsme předběžný seznam požadavků na push notifikaci. Otevřená notifikace měla obsahovat závažnost, číslo lůžka, název nebo důvod notifikace, čas vytvoření, režim ventilace, vitální funkce a odkaz do monitorovacího systému Kouzelné zrcadlo. Dále zde má být možnost potvrzení nebo odložení notifikace a poskytnutí zpětné vazby, ta by měla být až na výjimky poskytnuta vždy. V rámci projektu proběhla dne 16.10.2023 schůzka účastníků včetně šesti spolupracujících lékařů. Předmětem byla výměna informací o dosavadním postupu a diskuze nad budoucím směřováním projektu. Příležitosti jsem využil k debatě o připravovaných notifikacích. Na otázku "Co by měla obsahovat notifikace?" odpověděli: vitální funkce, popis alarmu, režim ventilace, číslo postele, stupeň závažnosti, obrazovku ventilátoru. Co se týče otázky "Kdo má být notifikován?", požadovali notifikaci pouze lékařů s tím, že si každý vybere sledované pacienty. Dále jsem se ptal na počet stupňů závažnosti notifikace, bylo řečeno, že budou tři stupně závažnosti, na třetí (nejvyšší) by mělo být reagováno ihned, na druhý přibližně do dvaceti minut a nejnižší stupeň závažnosti lze vyřešit až během následující vizity. Lékaři zmínili požadavek na předání automatického alarmu přístroje, ten by měl být vyřešen sestrou, ale pokud k tomu nedorazí včas, chtěli by být notifikováni. V poslední řadě jsem se dotazoval, zda by preferovali zobrazení závažnosti pomocí ikony nebo obrázku pro lepší přehlednost. Dotazovaní pracovníci to nepovažovali za důležité a výrazně přínosné. Jeden z lékařů popsal využití Kouzelného zrcadla v telefonu, které považoval za velmi užitečné. Při procesu odpojování pacienta od umělé plicní ventilace je nutné periodicky kontrolovat průběh, ale není nutná přítomnost lékaře u lůžka, ten tedy může vykovávat jinou práci a sledovat stav pacienta přes Kouzelné zrcadlo.

■ 2.5 Závěr analýzy

Zhodnotil jsem vývoj a současný stav systému VentConnect a stanovil požadavky na notifikační systém. Ze studia odborné literatury a rozhovoru s lékaři jsem získal cenné poznatky pro efektivní a uživatelsky přívětivý systém. Identifikoval jsem hlavní problémy, především alarm fatigue, a zdůraznil potřebu chytrých notifikací pro snížení počtu falešných poplachů. Notifikace by měly obsahovat dostatečné informace k rychlému vyhodnocení situace. Lékaři během rozhovoru zdůraznili potřebu tří úrovní závažnosti a možnosti sledovat pouze vybrané pacienty. Použití chytrého telefonu pro notifikaci přináší řadu výhod a má velký potenciál dalšího rozvoje. Přístup zaměřený na člověka (HCD) by měl být aplikován od počátku vývoje, aby byl systém intuitivní a efektivní.

Kapitola 3

Návrh

Zde popíši jednotlivé komponenty aplikace. Uvedu požadavky na aplikaci, dále představím vývoj uživatelského rozhraní po Heuristické evaluaci a uživatelském testování. Cílem práce byla forma mobilní webové aplikace, která má několik výhod. Téměř každý člověk dnes zvládne ovládat chytrý telefon, navíc je tato platforma přívětivá pro další rozvoj. Webová aplikace nenutí uživatele ke stahování a je snadná pro integraci se systémem VentConnect.

3.1 Požadavky na aplikaci

Na základě zadání, předběžných požadavků a rozhovoru s lékaři 2.4 jsem sestavil iniciální seznam požadavků na Notifikační systém.

3.1.1 Funkční požadavky

Funkční požadavky jsou konkrétní funkce nebo úkoly, které aplikace vykonává. Zde je jejich seznam číslovaný F0 (Functional).

- F1 Zasílání notifikací na chytrý telefon.
- F2 Přehledový panel notifikací v Kouzelném zrcadlu.

- F3 Tři úrovně závažnosti:
 - Vysoká - vyžaduje okamžitou přítomnost klinika.
 - Střední - vyžaduje reakci do třiceti minut.
 - Nízká - může být vyřešeno až během vizity.
- F4 Eskalace - předání nevyřešené notifikace dalšímu sloužícímu lékaři.
- F5 Možnost eskalovat notifikaci, pokud je lékař vytížen jinou prací.
- F6 Předání vestavěného alarmu ventilátoru, pokud není včas vyřešen.
- F7 Ochrana proti falešným alarmům vznikajících při manipulaci s pacientem.
- F8 Možnost výběru sledovaných lůžek.
- F9 Vytvoření push notifikace při příchozím upozornění s informací o:
 - číslu postele
 - závažnosti
 - názvu problému
 - času vzniku
- F10 Otevření celé notifikace zobrazí:
 - čas vytvoření
 - závažnost
 - název problému
 - režim ventilace
 - základní vitální funkce pacienta
 - kritickou hodnotu zodpovědnou za alarm
 - odkaz na kouzelné zrcadlo
- F11 Aplikace umožní:
 - Označit příchozí notifikaci za vyřešenou.
 - Označit příchozí notifikaci za přečtenou a připnout ji.
 - Předat notifikaci kolegovi.
 - Otevřít Kouzelné zrcadlo.
 - Prohlédnout historii notifikací.
 - Podat zpětnou vazbu na přesnost notifikace.

■ 3.1.2 Nefunkční požadavky

Nefunkční požadavky popisují vlastnosti a charakteristiky aplikace. Uvedu jejich seznam číslovaný jako N0 (Non-functional).

- N1 Využívání chytrých alarmů, které místo kontroly překročení prahu sledují rychlost růstu a ignorují jemná překročení, pokud dojde k návratu do správných mezí.
- N2 Notifikace vznikne na základě určitého množství nevhodných hodnot.
- N3 Pokud je zdrojem více sledovaných parametrů, vznikne notifikace dříve.
- N4 Bude kladen důraz na podávání zpětné vazby lékařem, předmětem bude správnost vyhodnocení problému a jeho závažnosti, také zda upozornění nepřišlo příliš pozdě.
- N5 Na základě zpětné vazby jsou parametry pro upozornění upraveny.
- N6 Rozdělování notifikací musí probíhat tak, aby nebyli někteří lékaři neúměrně přetěžováni jejich množstvím.

■ 3.2 Scénáře

Pro ilustraci uvedeny modelové scénáře interakce uživatelů s notifikačním systémem.

■ 3.2.1 Scénář 1 - vysoká závažnost

Lékař obdrží notifikaci nejvyšší závažnosti (High: Těžká obstrukce), po přečtení ji přijme, přeruší dosud vykonávanou činnost a vyrazí za pacientem. Po dokončení ošetření označí notifikaci za vyřešenou, případně podá zpětnou vazbu.

■ 3.2.2 Scénář 2 - střední závažnost

Lékař provádí jistou práci. Přejde mu notifikace se střední závažností (Mid: Double triggering), lékař vidí, že pacientovy životní funkce nejsou kritické, po přečtení ji připne, dokončí právě konaný úkon trvajících přibližně pět minut a poté vyrazí prohlédnout pacienta, jehož se týkala notifikace. Pokud upozornění nenaruší právě probíhající činnost, lékař vyrazí ihned. Po ošetření označí notifikaci za vyřízenou, případně ohodnotí její přesnost.

■ 3.2.3 Scénář 3 - nízká závažnost

Lékař pracuje s počítačem, například odpovídá na emaily. Obdrží notifikaci nízké závažnosti (Low: Interference), přijme ji a dokončí svou komunikaci, potřebný čas k dokončení odhaduje na 25 minut. Poté vyrazí na pokoj, prohlédne pacienta a označí notifikaci za vyřízenou.

■ 3.2.4 Scénář 4 - přesměrování

Lékař momentálně ošetřuje pacienta, ví, že jeho práce bude trvat alespoň pět minut, pravděpodobně ještě déle. Obdrží notifikaci High: Těžká obstrukce, tento pacient se nachází na jiném pokoji. Lékař tedy v aplikaci zvolí Předat místo Přijmout, takto je upozornění přesměrováno na kolegu, který bude mít čas situaci řešit. Druhý lékař obdrží notifikaci, přijme ji, přeruší dosud vykonávanou práci a vyrazí za pacientem. Po ošetření označí notifikaci za vyřešenou.

■ 3.3 Prototypy

Podle funkčních a nefunkčních požadavků, vzešlých z analýzy, jsem vytvořil Low Fidelity prototyp. K tomu jsem použil aplikaci Axure, která se specializuje na tvorbu prototypů. Prototyp má tři hlavní části: Home (domovskou obrazovku), otevřenou notifikaci a zpětnou vazbu. Pro ilustraci dodávám obrázek 3.1. Po spuštění aplikace je zobrazen Home, umožňuje otevření přijatých notifikací, Historie, a Kouzelného zrcadla. V kartě notifikace jsou nejprve

informace o samotné notifikaci: stav (status), čas vzniku, zda je předaná nebo zda má pacient další notifikace. Dále je zde samotný obsah notifikace: závažnost, která je dle hodnoty barevně zvýrazněna, název (předmět) notifikace, detailní popis. Dále jsou zobrazeny měřené hodnoty pacienta (srdeční tep, krevní tlak). Uživatel má čtyři možnosti interakce se stránkou notifikace otevřít Kouzelné zrcadlo (odkaz na konkrétní lůžko), Připnout notifikaci pro pozdější vyřešení, Předat ji, nebo označit za Vyřešenou. Zvláštní funkcí je, že po označení notifikace za Vyřešenou, je uživatel vždy přesměrován na zpětnou vazbu. Důvodem je snaha o podpoření vyplňování zpětné vazby a zároveň tak karta slouží jako potvrzení, že má být notifikace opravdu uzavřena. Ve Zpětné vazbě jsou zaškrtnutá pole, pole pro vlastní popis a rozbalovací menu, kde uživatel může závažnost označit za vyšší, nebo nižší, než byla uvedena.



Obrázek 3.1: První prototyp. Zleva: Home, Notifikace, Zpětná vazba

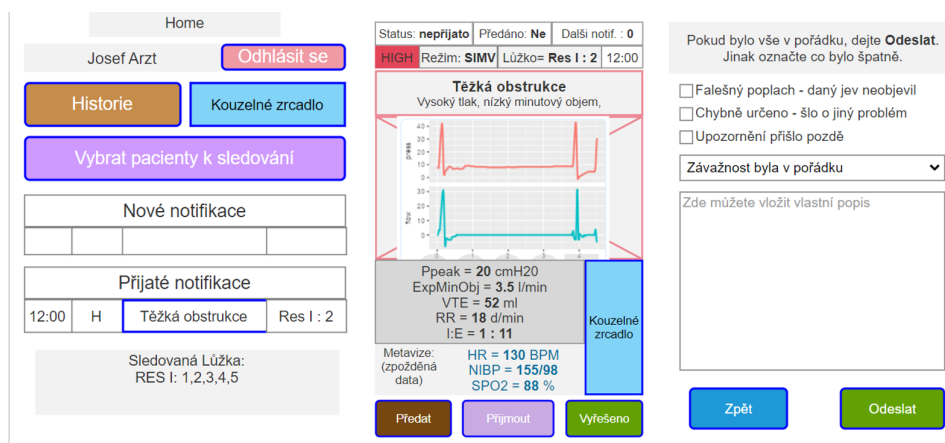
3.3.1 Druhá verze prototypu

Za účelem systematického zlepšení jsem první prototyp jsem podrobil Heuristické evaluaci. Z výsledků jsem vytvořil novou verzi. Průběh evaluace je popsán v sekci testování 5.1. Zde uvádím změny s číslem nedostatku, na který reagují.

- H1 Přidání názvu "Home".
- H2 Zvolení tučného textu u měřených čísel a dat.
- H3 Změna "Připnuté notifikace" na "Přijaté notifikace" na Home.
- H4 Všechna tlačítka jsou označena rámečkem.

- H5 Označení zpožděných dat z jiného zdroje.
- H6 Status "Přijato" je označen stejnou barvou jako tlačítko "Připnout notifikaci".
- H7 Připnuté notifikace budou zobrazovány přímo na domovské obrazovce.
- H8 Informace o důvodu vzniku mohou zahrnovat i graf nebo obrázek, který je od ostatního textu pro přehlednost oddělen rámečkem.
- H9 Doplnění instrukce k postupu vyplnění zpětné vazby.

Mimo to jsem Home doplnil o seznam nových notifikací. Dále jsem na Home přidal tlačítko pro přihlašování a tlačítko, přesměrující na výběr lůžek ke sledování. Zvolená lůžka se poté zobrazují na Home. Řešil jsem otázku, jak zajistit, aby odhlášenému uživateli nezůstaly nevyřešené notifikace. To jsem ošetřil upozorněním na Nové a Přijaté notifikace při potvrzení odhlášení. Pokud by se uživatel s nevyřešenou notifikací přesto odhlásil, byla by eskalována. Objevil problém s chybějícím číslem lůžka v notifikaci. Změnil jsem zpětnou vazbu závažnosti na z původní varianty "vyšší nižší" na přímé označení vhodné úrovně. Na úvodní obrazovku bylo přidáno jméno pracovníka a tlačítko pro odhlášení. Pro možnost srovnání přikládám obrázek 3.2.



Obrázek 3.2: Druhý prototyp. Zleva: Home, Notifikace, Zpětná vazba

3.4 Návrhy řešení problémů objevených při uživatelském testování

Druhý prototyp byl použit pro uživatelské testování. Uvádím zde číslo a název problému (Issue) a návrhy na řešení při implementaci. Podrobný popis

testování a každého problému je v sekci Testování 5.2.1.

■ I01 Nejednoznačnost labelů tlačítek

Řešením je změnit názvy tlačítek, aby poskytovala více kontextu. Omezením pro výběr je nutnost konzistence pro zobrazení seznamu Přijatých a Přesměrovaných notifikací na Home.

- Předat - Přesměrovat na kolegu
- Přijmout - Přijmout k řešení
- Vyřešeno - Uzavřít

■ I02 Chybějící zpětná vazba po předání upozornění

Na Home se přidá seznam předaných notifikací a jejich stav.

Posílání další notifikace s jiným tónem, pokud byla notifikace úspěšně předána, by mohlo být matoucí a relativně náročné na úspěšnou implementaci. Pokud by se místo tónu přehrála hlasová zpráva, bylo by to uživatelům jasné, avšak mohlo by to být rušivé a implementační náročnost bude ještě vyšší.

■ I03 Nezopakování informací pro vyplnění Zpětné vazby

Řešením je buď zobrazit určitá data, nebo co největší část notifikace na stránce Zpětné vazby. Na druhou stranu musí Zpětná vazba zůstat přehledná a umožnit rychlou navigaci, ve většině případů totiž nebude vyplňována, jelikož byla notifikace v pořádku.

■ I04 Nalezení přijaté notifikace

Místo přesměrování na Home, zůstane uživatel v Přijaté notifikaci, jen musí být zaručeno, aby poznal, že ji úspěšně přijal k řešení. Tento problém také bude řešit proškolení uživatelů.

■ I05 Nevýrazné číslo lůžka

Číslo lůžka by mělo být zvětšeno a přesunuto doleva. Participantů se také shodli, že by bylo vhodné přejít na systém číslování používaný v Metavizi.

■ I06 Nedostatečně velká tlačítka

Tlačítka pro přihlášení bude mírně zvětšeno. Zaškrťovací políčka taktéž, pro jejich zaškrtnutí bude dostačující kliknout na název políčka.

■ I07 Nevýraznost závažnosti a její značení

Počet závažností byl již dříve dohodnut, zůstanou tedy tři. Značit je číselně nepovažují za vhodné, nemusí být jasné, co je nejzávažnější a čísla se mohou ztrácet mezi ostatními daty. Chtěl bych volit slovní značení, ale nesmí být příliš dlouhé, buď anglicky High Midl Low nebo česky Vysoká Stř. Nízká. Název závažnosti by měl v notifikaci více vystupovat a být konzistentní s Home, minulá verze na Home nevhodně použila pouze první písmeno závažnosti.

■ I08 Nepřehledný výběr lůžek

Výběr lůžek bude optimalizovaný pro telefony. Defaultně nebude vybráno nic a zmáčknutím tlačítka budou vybrána všechna lůžka. Při opakovaném kliknutí na lůžko by mohla být nastavena priorita, při výběru komu bude zaslána notifikace. To by však mohl vyřešit systém při přidělování, zjistí, kolik mají možní kandidáti (dle kliniků budou maximálně dva) sledovaných lůžek a notifikaci pošle tomu s nižším počtem.

■ 109 Pořadí textu PN

Změní se obsah push notifikace. v názvu bude obsahovat jméno aplikace, číslo lůžka a název problému, text notifikace pak bude obsahovat závažnost, případně i kritické hodnoty.

■ 3.5 Uživatelské rozhraní

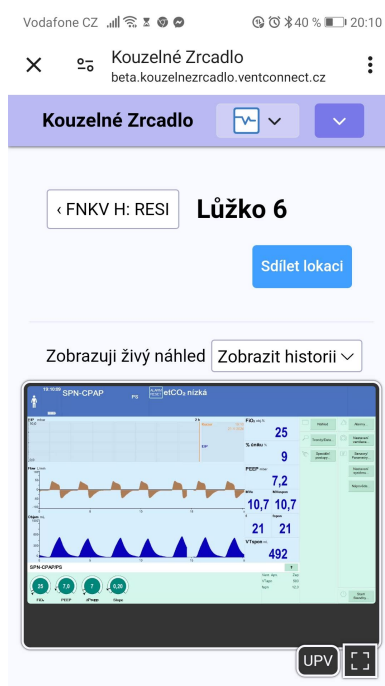
Uživatelské rozhraní je část, používána pro ovládání systému, proto musí být přizpůsobena uživatelům. Nejprve bych popsal, kdo budou uživatelé aplikace a v jakých podmínkách ji budou využívat. Uživatelé budou lékaři, z nichž někteří mohou mít odmítavý postoj k zavádění nových technologií, jejich práce je často velmi stresující a ocitají se pod časovým tlakem. Aplikace tedy musí být efektivní a snadno použitelná, ale je možné zvýšit efektivitu za cenu snížení srozumitelnosti, před používáním musí být všichni odborně zaškoleni. Aplikace je navržena pro chytré telefony, ale notifikace musí být možné prohlédnout i na počítači.

■ 3.5.1 Celková struktura

Pro usnadnění navigace by všechna tlačítka měla být označena, k tomu je použit barevný rámeček. Tlačítko otevírající Kouzelné zrcadlo jsem se snažil graficky připodobnit zrcadlu, je tedy světle modré s ostrými rohy. Cílem je, aby ho uživatel vždy našel, protože během testování vyšlo najevo, že špatně zorientovaný uživatel rád otevírá Kouzelné zrcadlo, jelikož ho již dobře zná. To navíc potenciálně umožní výrazné zmenšení tlačítka pro úsporu místa. Otevření Kouzelného zrcadla by mělo proběhnout v novém okně, na telefonu tak dojde k otevření prohlížeče jako podprocesu, díky tomu se lze ihned vrátit zpět k notifikaci ukončením tohoto podprocesu pomocí tlačítka v levém horním rohu (pro Android křížek, pro iOS Hotovo) což je vidět na obrázku 3.3.

■ 3.5.2 Home

Home (na obrázku 3.4) obsahuje:



Obrázek 3.3: Otevření Kouzelného zrcadla v novém okně

- název karty (Home)
- jméno uživatele
- tlačítko Odhlásit se
- tlačítko Historie
- tlačítko Kouzelné zrcadlo
- tlačítko Vybrat pacienty k sledování
- seznam nových notifikací
- seznam přijatých notifikací
- seznam přesměrovaných notifikací
- výpis sledovaných lůžek

Jméno uživatele je zobrazováno, protože telefony budou střídány mezi lékaři, předchozí uživatel by se mohl zapomenou odhlásit. Další uživatel by to mohl přehlédnout a nepřihlásit se. Při zmáčknutí tlačítka Odhlásit se otevře potvrzovací okno, které zároveň upozorní na zbývající nevyřešené notifikace. Seznamy notifikací obsahují tyto informace, čas vzniku, lůžko, předmět a závažnost. Seznam přesměrovaných notifikací bude zobrazovat všechny přesměrované notifikace od přihlášení, pokud bude seznam prázdný zůstane skryt.



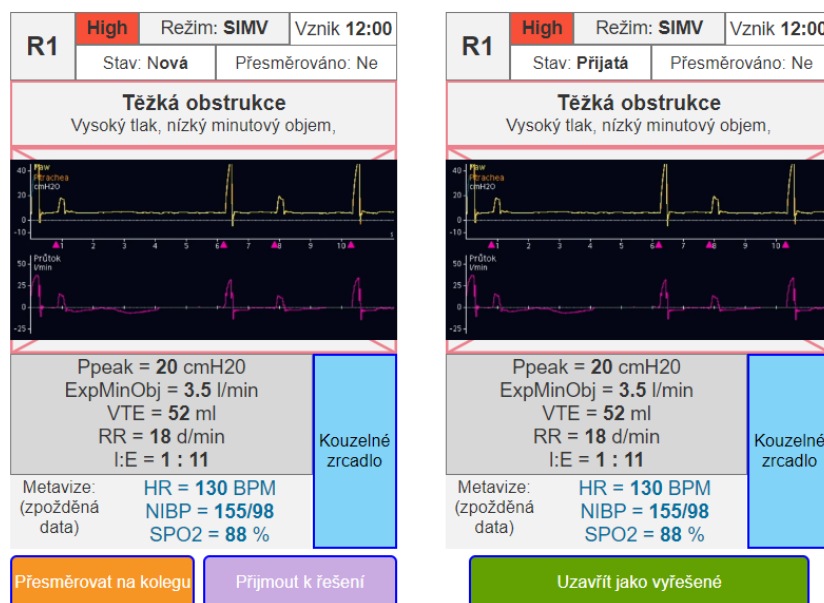
Obrázek 3.4: Karta Home

Karta Historie zobrazuje všechny notifikace, které daný uživatel obdržel, tedy i předané. U každého upozornění je čas, lůžko, předmět, závažnost, stav a zda byla vyplněna zpětná vazba. Je umožněno notifikaci otevřít a upravit zpětnou vazbu, takto mohou uživatelé dodat detaily, pokud k tomu při uzavření notifikace neměli prostor. Karta Výběru pacientů obsahuje hlavičku s jejím názvem a instrukcemi. Dále jsou tlačítka Zrušit výběr a Potvrdit výběr. Níže jsou pod sebou ikony lůžek, nad prvním lůžkem pokoje je tlačítko Vybrat všechna lůžka pokoje. Automaticky není vybráno žádné lůžko, jejich ikony mají neutrální barvu, kliknutím je lůžko vybráno, změní barvu na zelenou. Na konci stránky budou opět tlačítka Zrušit výběr a Potvrdit výběr.

■ 3.5.3 Notifikace

Obsahem karty s notifikací (na obrázku 3.5) je:

- číslo postel napsané zkratkou
- závažnost
- režim ventilace
- čas vzniku



Obrázek 3.5: Karty nové notifikace(vlevo) a přijaté notifikace

- stav notifikace
- informace zda je již přeměřovaná, případně kým
- předmět (název)
- detailní popis
- křivky tlaku a průtoku
- hodnoty měřené ventilátorem
- další hodnoty získané jiným způsobem (tep, krevní tlak, okysličení krve)
- tlačítko Kouzelné zrcadlo (odkaz na konkrétní lůžko)
- tlačítko Přesměrovat na kolegu
- tlačítko Přijmout k řešení

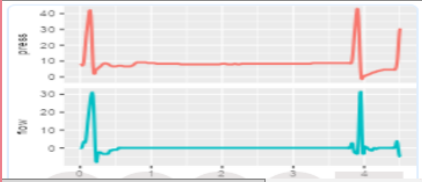
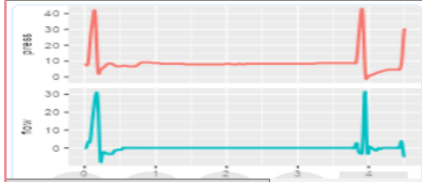
V hlavičce je uvedeno číslo postele, pro lékaře velmi důležitý údaj, proto je v levém horním rohu a napsáno velkým písmem. Dále závažnost, která je dle hodnoty barevně zvýrazněna (High - červená, Middle - oranžová, Low - žlutá). Hlavička ještě obsahuje režim ventilace, který je pro svou důležitost lehce zvýrazněn a pak méně důležité informace o čase vzniku, stavu a přesměrování. Účelem informace o přesměrování je poskytnout kontext uživateli, jemuž byla notifikace předaná, díky tomu se například může rozhodnout reagovat rychleji, protože notifikace vznikla před delší dobou. Pokud bude tento údaj

obsahovat i jméno původního příjemce upozornění, může lékař, kterému byla notifikace přesměrována, oznámit vyřešení situace prvotnímu příjemci. Předmět nebo název notifikace odpovídá nalezené patologii. Detailní popis může obsahovat dobu trvání a frekvenci problémů. Zobrazované křivky jsou získané ze streamu v Kouzelném zrcadle. Hodnoty měřené pacientovy, které neměří plicní ventilátor, jsou odděleny, doplněny popisem a barevně odlišeny, protože mohou být zpožděné nebo nepřesné. Proměnné informace jsou napsané tučným textem (Režim: **SIMV**). Výjimkou z tučného textu je "*Přesměrováno: Ne*", pokud je notifikace přesměrovaná, je tento údaj ještě podtržen. Pokud budou některé z hodnot pacienta mimo vhodné meze, jsou navíc zvýrazněny barvou. Zmáčknutí tlačítka Přesměrovat si žádá o potvrzení této akce. Po zmáčknutí tlačítka Přijmou k řešení je notifikace označena za přijatou. Změní se její stav a poslední dvě zmíněná tlačítka jsou nahrazena tlačítkem Uzavřít jako vyřešené.

■ 3.5.4 Zpětná vazba

Karta zpětné vazby slouží zároveň jako potvrzení uzavření, proto ji musí být možné ji rychle odeslat bez vyplňování. Nahoře je hlavička s instrukcemi. Pak následuje místo pro vyplnění zpětné vazby a ovládací tlačítka. Kolonka Vše bylo v pořádku je v základním stavu vybrána, při změně některého z ostatních polí (zaškrtačací pole, textové pole, rozbalovací seznam) je zvolení zmíněné kolonky zrušeno. Změna je ilustrována na obrázku 3.6. Karta obsahuje:

- hlavičku s instrukcemi
- radio button Vše v pořádku
- zaškrtačací pole Chybně určeno
- zaškrtačací pole Falešný poplach
- zaškrtačací pole Upozornění přišlo pozdě
- rozbalovací seznam pro výběr Závažnosti
- textové pole pro vlastní popis od uživatele
- tlačítko Zpět na notifikaci
- tlačítko Odeslat
- číslo postel napsané zkratkou
- závažnost

Označte problémy a odešlete zpětnou vazbu	Označte problémy a odešlete zpětnou vazbu
<input checked="" type="radio"/> Vše bylo v pořádku <input type="checkbox"/> Chybně určeno <input type="checkbox"/> Falešný poplach <input type="checkbox"/> Upozornění přišlo pozdě Závažnost byla správně ▾ Zde můžete vložit vlastní popis	<input type="radio"/> Vše bylo v pořádku <input type="checkbox"/> Chybně určeno <input checked="" type="checkbox"/> Falešný poplach <input type="checkbox"/> Upozornění přišlo pozdě Závažnost byla správně ▾ Sestra pouze manipulovala s pacientem
<input type="button" value="Zpět na notifikaci"/> <input type="button" value="Odeslat"/>	<input type="button" value="Zpět na notifikaci"/> <input type="button" value="Odeslat"/>
R1 High Režim: SIMV Vznik 12:00 Těžká obstrukce Vysoký tlak, nízký minutový objem,  Ppeak = 20 cmH2O ExpMinObj = 3.5 l/min VTE = 52 ml RR = 18 d/min I:E = 1 : 11 HR = 130 BPM NIBP = 155/98 SPO2 = 88 %	R1 High Režim: SIMV Vznik 12:00 Těžká obstrukce Vysoký tlak, nízký minutový objem,  Ppeak = 20 cmH2O ExpMinObj = 3.5 l/min VTE = 52 ml RR = 18 d/min I:E = 1 : 11 HR = 130 BPM NIBP = 155/98 SPO2 = 88 %

Obrázek 3.6: Karta zpětné vazby a příklad vyplnění

- režim ventilace
- čas vzniku
- předmět (název)
- detailní popis
- křivku požitou při klasifikaci
- hodnoty pacienta rozdělené podle zdroje

Pod tlačítky je tedy obsah notifikace v kompaktním formátu, přesto bude pravděpodobně část mimo obrazovku telefonu, ale tyto informace jsou méně důležité pro vyplnění zpětné vazby a je možné posunout obrazovku. Oproti notifikaci je zobrazena jiná křivka, tato křivka je generována z časové řady, kterou zkoumal identifikátor při vytvoření notifikace, měla by tedy obsahovat patologii.

Kapitola 4

Implementace

Zde průběhem implementace aplikace.

4.1 Tvorba prototypů

Pro usnadnění vývoje a testování jsem tvořil Low fidelity prototypy (prototypy s omezenou funkčností a možností interakce [14]). Využil jsem k tomu aplikaci Axure RP (Rapid Prototyping), nástroj pro vytváření interaktivních prototypů webových stránek a mobilních aplikací. Vytvořené prototypy, měly funkční tlačítka, přecházeli mezi kartami a umožňovaly otevření webových stránek. První verze byla velmi jednoduchá (viz obrázek 3.1), obsahovala pouze Home, Zpětnou vazbu a jednu notifikaci. Informace poskytované v notifikaci neodpovídali pozdějším požadavkům. Druhý prototyp byl výrazně rozsáhlejší a pokročilejší. Implementované změny vycházejí z Heuristické evaluace 5.1. Vytvořil jsem několik notifikací pro různé závažnosti. Poté jsem vytvořil čtyři notifikace s reálnými daty, která mi zajistil Dr. Miroslav Macík. Jejich účelem bylo využít při uživatelském testování 5.2. K tomu bylo potřeba několik verzí Home (Odhlášeno, Přihlášený uživatel, Vybraná konkrétní lůžka). Každá notifikace měla dvě varianty (Nová, Přijatá) a vlastní variantu Home, kde se dané upozornění nacházelo v seznamu přijatých notifikací. Prototyp ještě obsahoval stránky Historie, Zpětná vazba a Výběr pacientů. Nakonec jsem vytvořil několik karet třetího prototypu pro ilustraci finálního designu.

■ 4.2 Tvorba programu

Cílem práce bylo vytvořit aplikaci případně jen její část, kterou by bylo možné zahrnout do budoucího systému. Jako nástroj jsem zvolil SvelteKit [15], což je moderní JavaScriptový framework pro tvorbu webových aplikací. Tento framework nabízí mnoho výhod, jako je například podpora server-side renderování (SSR) a statického generování stránek (SSG), což je vhodné pro vytváření výkonných a škálovatelných aplikací. Bohužel jsem navrženou aplikaci nestihl implementovat do termínu odevzdání práce.

Kapitola 5

Testování

V této kapitole se zabývám testováním prototypu aplikace. Pro zajištění funkčnosti systému jsem využil různé metody. Nejprve jsem provedl Heuristickou evaluaci prvního verze prototypu, abych identifikoval potenciální nedostatky v uživatelském rozhraní. Následně jsem provedl Kognitivní průchod druhé verze prototypu, abych ověřili provedené úpravy. V rámci dalšího testování jsme spolu s Dr. Macíkem provedli studii použitelnosti s lékaři pro které, je systém zamýšlen. Z výsledků byly sestaveny konečné požadavky před implementací.

5.1 Heuristická evaluace prvního prototypu

Pro podrobnou analýzu prototypu jsem se rozhodl provést Heuristickou evaluaci [16]. Uvádím číselný seznam (H0 jako Heuristická evaluace) objevených problémů, vždy s otázkou Heuristické evaluace, na kterou odpovídá. Příslušná řešení jsou uvedena v kapitole návrh.

- H1 (Viditelnost stavu systému) Domovská obrazovka není označena.
- H2 (Spojení s reálným světem) V obsahu notifikace splývají důležité informace.
- H3 (Konzistence) Název "Připnuté notifikace" není konzistentní se statutem "Přijato".
- H4 (Konzistence) Není zřejmé co je tlačítko.

- H5 (Rozpoznání místo vzpomínání) Není rozlišeno, zda jsou zobrazená data aktuální.
- H6 (Rozpoznání místo vzpomínání) Barevné označení tlačítka "Přijato" a "Připnout notifikaci" není konzistentní.
- H7 (Flexibilní a efektivní použití) - Připnuté notifikace by měly být viditelné na Home.
- H8 (Flexibilní a efektivní použití) Pro některé druhy notifikací by bylo vhodné zobrazit graf.
- H9 (Nápověda a návody) - U zpětné vazby není instrukce jak postupovat, pokud bylo vše v pořádku.

■ 5.1.1 Kognitivní průchod druhého prototypu

Pro ověření správnosti úprav jsem provedl Kognitivní průchod [17]. Během procesu projdu Scénář 1 a vždy zodpovím kontrolní otázky. Q0: Čeho chce uživatel dosáhnout? Chce získat informace o příchozí notifikace na základě kterých se rozhodne pro další postup. Dále budu při každém kroku zkoumat tyto otázky:

- Q1: Je uživateli jasný postup?
- Q2: Spojí si uživatel cíl s akcí, kterou má provést?
- Q3: Dostane uživatel vhodnou zpětnou vazbu?

Uživatel otevřel notifikaci.

- Q1: Ano uživatel vidí bloky s informacemi o pacientovi, jeho zdravotním stavu a oddělená data o upozornění. Systém je dostatečně jednoduchý aby se v něm orientoval i nezkušený uživatel.
- Q2: Ano, uživatel si prohlédl data, pokud zná Kouzelné zrcadlo, ví, že v něm může najít další data. Jinak si vybírá z tlačítek pro přijetí, předání a označení za vyřešeno.
- Q3: Ano, při výběru zmáčknutí tlačítka je uživatel přesměrován. U nevratných úkonů je dotaz na potvrzení akce.

Uživatel přijal notifikaci. Dorazil k pacientovi. Chce si prohlédnout historii záznamu.

- Q1: Ano, uživatel chce spustit Kouzelné zrcadlo.
- Q2: Pokud si pamatuje, že v notifikaci je odkaz na pacientovo Kouzelné zrcadlo, otevře záznam přímo takto. Jinak uživatel otevře Kouzelné zrcadlo z odkazu na hlavní obrazovce a hledá pacientovo lůžko, což zabere více času. Správný postup je intuitivní, ale i v druhém případě bude uživatel úspěšný.
- Q3: Ano

Uživatel ošetřil pacienta a chce uzavřít notifikaci.

- Q1: Ano, uživatel otevře notifikací a označí ji za vyřešenou.
- Q2: Ano.
- Q3: Ano, je přesměrován.

Uživatel je v záložce zpětná vazba.

- Q1: Ano.
- Q2: Ano, uživatel je instruován.
- Q3: Ano, je přesměrován.

■ 5.1.2 Závěr úvodního testování prototypů

První prototyp měl závažné nedostatky, avšak Heuristickou evaluací bylo možné všechny identifikovat a opravit. To se projevilo při kognitivním průchodu druhé verze, který dopadl úspěšně.

5.2 Studie použitelnosti systému

Pro ověření funkčnosti systému jsem s Dr. Macíkem provedl uživatelské testování. Účastnilo se ho šest lékařů, pracujících ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady. Zde uvádím tabulku s jejich věkem a délkou praxe.

Participant	Věk (r)	Pohlaví	Doba od atestace (r)	Délka praxe (r)
P1	46–50	M	18	23
P2	31–35	M	1.5	7.5
P3	51–55	M	21	27
P4	46–50	M	17	24
P5	36–40	M	10	15
P6	46–50	M	15	23
Průměr	44.3		13.8	19.9
Minimum	31–35		1.5	7.5
Maximum	46–50		21.0	27.0
Odchylka	6.6		7.0	7.3

Tabulka 5.1: Informace o participantech

Testování probíhalo s druhým prototypem přímo v aplikaci Axure, rozšířenou o odkazy do běžícího Kouzelného zrcadla. Účastníci měli k dispozici telefon s odkazem na webovou aplikaci, při testování šlo pouze o zobrazení prototypu přes Cloud. Uživatelé byli před testem informováni, že testujeme webovou aplikaci, napojenou na Kouzelné zrcadlo, která jim zašle push notifikaci, která po kliknutí otevře aplikaci s úplným upozorněním. Simulovali jsme tak začínajícího a neproškoleného uživatele. Participantům jsem postupně zadal sedm úkolů, které zahrnovali přihlášení, výběr sledovaných lůžek, přijetí notifikace, označení notifikace za vyřízenou, náhled na živý stream v Kouzelném zrcadle, předání notifikace kolegovi, vyplnění zpětné vazby. Uvedu zde příklad očekávané interakce s aplikací, jedná se o čtvrtý úkol. Kompletní Session guide naleznete v příloze A.

1. Uživatel si všimne a otevře Push-Notifikaci.
2. Text push notifikace: MID: Nízký minutový objem; Res I : 4.
3. Systém zobrazí kartu ||Nízký minutový objem||.
4. Uživatel přijme notifikaci a vyrazí k pacientovi.
5. Systém zobrazí kartu ||Home s nízký minutový objem||.
6. Uživatel otevře notifikaci ze seznamu připnuté na Home.

7. Systém zobrazí ||Nízký minutový objem - přijato||.
8. Uživatel klikne na Kouzelné zrcadlo.
9. Zobrazí lůžko v Kouzelném zrcadle.
10. Uživatel si vybere vhodný čas a prohlédne si záznam.
11. Uživatel dokončí ošetření a označí notifikaci za vyřízenou.
12. Systém zobrazí ||Zpětná vazba||.
13. Uživatel klikne na Odeslat.
14. Systém zobrazí ||Home s pacienty||.

Po splnění všech úkolů proběhla diskuze nad použitelností a možnými změnami. Nakonec každý uživatel vyplnil SUS dotazník. Celý průběh testování byl pro snadnější vyhodnocení nahráván.

■ 5.2.1 Problémy objevené při testování

Toto je souhrnný seznam všech problémů, na které uživatelé narazili. Problémy jsou označeny jako I a pořadové číslo (I00).

■ I01 Nejednoznačnost popisů tlačítek

V otevřené notifikaci se objevují tři tlačítka. Téměř všichni participanti měli problém s výkladem jejich funkce, například Participant 4 zaměnil tlačítko Vyřešeno za Přijmout. Během testování jsme se ptali na alternativní popisky a byly zmíněny následující varianty.

- Předat - Předat k řešení, Předat kolegovi, Přesměrovat, Nemám čas
- Přijmout - Přijmout k řešení, Jdu řešit, Potvrzuji, Vyřeším, Acknowledged, OK
- Vyřešeno - Uzavřít, Ukončit, Feedback, Hotovo

■ I02 Chybějící zpětná vazba po předání upozornění

Pro všechny lékaře bylo důležité, zda je předaná notifikace řešena. Dle aktuální implementace by byla možnost nahlédnutí do historie, to je však nedostačující. Někteří by rádi vybrali přímo komu bude notifikace předána, jiným toto naopak přišlo nepotřebné nebo zdržující. Participant 4 navrhoval, poslat další oznámení, s jiným tónem, pokud byla notifikace vyřízena kolegou, potom by zaneprázdněný lékař věděl, že je vše v pořádku, aniž by se zdržoval další manipulací s telefonem.

■ I03 Nezopakování informací pro vyplnění Zpětné vazby

Když Lékař vyplňuje zpětnou vazbu, již si přesně nepamatuje obsažené údaje, většina participantů zmiňovala konkrétně závažnost. Participant se museli vracet zpět na notifikaci, aby si prohlédli daná data. Participant 1 navrhnul zobrazit lůžko, název a závažnost.

■ I04 Nalezení přijaté notifikace

Po zmáčknutí tlačítka Přijmout, byl uživatel přesměrován na Home, kde se přijatá notifikace nacházela v seznamu přijatých notifikací, odtud ji měl uživatel otevřít. Většina uživatelů toto samostatně nezvládla, často ji hledali v historii, někdy se ji pokoušeli otevřít přes Kouzelné zrcadlo. Téměř nikdo nepoznal, že seznam notifikací na Home funguje jako tlačítko.

■ I05 Nevýrazné číslo lůžka

Participant si stěžovali na nevýrazné číslo lůžka, část z nich ho označila za nejdůležitější údaj. Poslední dva participant to sami nezmínili jako problém, ale po přímé otázce jim trvalo velmi dlouho než ho našli, jeden z nich ho dokonce našel na dvou dalších místech, než ho objevil v notifikaci.

■ I06 Nedostatečně velká tlačítka

Participant 3 označil tlačítka Přihlásit a Odhlásit za malá. Participant 6 měl zjevně problém trefit zaškrtačací políčko v Zpětné vazbě.

■ I07 Nevýraznost závažností a jejich značení

Někteří testovaní si závažností nevšimli. Dva participanty se dotazovali co znamená MID, původní název závažnosti. Participant 1 navrhoval značit je číselně 1 2 3. Participant 2 říkal, že by chtěl jen dva stupně závažnosti. Pro dotázané participanty nebylo důležité, zda budou názvy závažností česky nebo anglicky.

■ I08 Nepřehledný výběr lůžek

Lékař si vybírá pacienty, na které chce být upozorňován. Obrazovku výběru jsem přejal z Kouzelného zrcadla. Ta ale není přizpůsobena pro telefon a nevhodně se zobrazuje na displeji telefonu. Tlačítka se ztrácela, jeden za participantů nepotvrdil výběr lůžek. Participanty si žádali tlačítko na zvolení nebo odebrání všech lůžek z výběru. Zmiňovali, že někteří lékaři mají na starosti celé oddělení a jiní naopak jen několik pacientů, ten by měl mít přednost při přiřazování notifikace.

■ I09 Pořadí textu PN

Text push notifikace není seřazen podle priority. Název lůžka je v textu na konci, přitom ho někteří uživatelé označují za nejdůležitější. Dále byl předmět notifikace duplicitně zmíněn v jejím názvu i těle. push notifikace vypadala takto:

- Název: KZ Alarm: HIGH (Těžká obstrukce)
- Tělo: Těžká obstrukce, RES-I, Lůžko 2

■ I10 Problémy s operačním systémem telefonu

Někteří uživatelé měli problémy s iOS, nevěděli kde je lišta s push notifikacemi. Před testováním jsme také museli upravit nastavení telefonu pro snadnější notifikaci.

■ Další návrhy z testování

Po dokončení všech úloh jsme s participanty diskutovali o kvalitě prototypu a možných změnách. Byly zmíněny tyto návrhy:

- Mít možnost vyplnit zpětnou vazbu později.
- Odstranit tlačítko Vyřešeno z nové notifikace.
- U přijaté notifikace mít pouze tlačítko Vyřízeno.
- Zobrazit údaj frakce.
- Údaj I:E není důležitý.
- Zvýraznit hodnoty mimo vhodné meze.
- Předat notifikaci externě, třeba zprávou ne na email.

■ 5.2.2 SUS dotazník

Jako poslední část, každý účastník vyplnil formulář System usability scale (SUS) [18] neboli měřítko použitelnosti systému. Účelem bylo ověřit, zda je systém opravdu funkční. Toto jsou výsledky SUS hodnocení.

Celkový průměr hodnocení byl 73,6 % se směrodatnou odchylkou 19,5 %. Při vyhodnocení dle [19] je skóre 73,6 % dostatečné, aby se dal systém označit za dobře použitelný. Protože se studie účastnilo pouze šest participantů a skóre má vysokou odchylku, nedá se výsledek označit za spolehlivý.

Participant	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	q10	SUS body (%)
P1	5	2	3	3	4	4	5	2	3	2	67.5
P2	5	2	4	2	5	1	5	1	5	2	90
P3	3	2	3	4	3	4	2	4	2	2	42.5
P4	4	2	4	1	3	2	5	2	4	1	80
P5	5	1	5	1	5	1	4	1	5	1	97.5
P6	4	2	4	1	4	1	5	2	3	1	82.5

Tabulka 5.2: Hodnocení Měřítka použitelnosti systému (SUS)

Kapitola 6

Závěr

Rozšíření systému VentConnect se stále vyvíjí a projednává se jeho nasazení v dalších nemocnicích. Tím se mohou změnit stávající požadavky nebo vzniknout nové. Před zavedením systému na pracovišti, by měli být sestaveny postupy pro používání a nový uživatelé dostatečně proškoleni.

Možnosti rozvoje jsou velké, notifikace mohou být získávány z dalších druhů přístrojů nebo se kruh uživatelů se může rozšířit. Upozornění mohou být uzpůsobena pro zobrazení na chytrém náramku nebo hodinkách. V kombinaci s přesným určováním stupně urgency, by tak lékař mohl reagovat jen na základě jednoho pohledu na hodinky aniž by musel vyndat telefon uložený v kapse.

Nyní znovu zmíním cíle své práce a zhodnotím jejich naplnění:

1. *Analyzovat téma upozorňování v lékařské péči. Zjistit časté problémy a prozkoumat jejich možná řešení. Zaměřit se na využití chytrých telefonů v tomto oboru.* Nejprve jsem popsal systém VentConnect. Následně jsem provedl analýzu odborných prací, velkým zdrojem informací byla práce Monitor Alarm Fatigue, An Integrative Review [5]. Probral jsem problémy, se kterými se klinici potýkají a poukázal na možnosti řešení s pomocí moderních technologií.
2. *Definovat požadavky na notifikační komponentu pro plánované rozšíření systému VentConnect, které bude lékaře informovat o potenciálních nežádoucích stavech.* Z výsledků analýzy a rozhovoru s lékaři jsem úspěšně sestavil podrobný seznam požadavků na notifikační systém.

3. **Navrhnout tuto notificační komponentu, při tom klást důraz na použitelnost.** Ze sestaveného návrhu jsem v aplikaci Axure RP vytvořil dvě iterace prototypů. Při tom jsem se řídil metodikou HCD (design zaměřený na člověka) a zahrnul klíčové aspekty pro efektivní informování lékařů.
4. *Otestovat kvalitu návrhu s pomocí prototypů. Provést vlastní evaluaci a uživatelské testování. Nalézt řešení objevených problémů a zahrnout je do návrhu.* Provedl jsem Heuristickou evaluaci prvního prototypu, následovala evaluace druhé verze pomocí Kognitivního průchodu, kterou jsem potvrdil úspěšnost úprav po první evaluaci. Dále jsem provedl uživatelské testování, s potenciálními uživateli. Prototyp byl hodnocený dobře, ale přesto byly objeveny chyby, jejichž řešení jsem zahrnul do konečného designu.
5. *Implementovat návrh vhodnou technologií, aby výsledek bylo možné použít v rozšíření systému VentConnect.* Dříve jsem se nikdy nevěnoval vývoji webové aplikace, proto jsem si musel řadu znalostí nastudovat. Nakonec jsem implementaci v termínu odevzdání nesplnil.

Výsledkem mé práce je tedy důsledně otestovaný návrh a seznam požadavků.



Příloha A

Elektronické přílohy

Dokument **Session_guide-VC_Notification_system.docx**, dle kterého bylo postupováno během uživatelského testování. Obsahuje úvodní text, instrukce pro participanty a jejich očekávané chování. Pro testování byla využita druhá verze prototypu.

Příloha B

Literatura

- [1] Sue Sendelbach and Marjorie Funk. Alarm fatigue: a patient safety concern. *AACN advanced critical care*, 24(4):378–386, 2013.
- [2] Juho O Jämsä, Kimmo H Uutela, Anna-Maija Tapper, and Lasse Lehtonen. Clinical alarms and alarm fatigue in a university hospital emergency department—a retrospective data analysis. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 65(7):979–985, 2021.
- [3] Felix Schmid, Matthias S Goepfert, and Daniel A Reuter. Patient monitoring alarms in the icu and in the operating room. *Critical care*, 17:1–7, 2013.
- [4] Mica R Endsley. Situation awareness. *Handbook of human factors and ergonomics*, pages 434–455, 2021.
- [5] Maria Cvach. Monitor alarm fatigue: an integrative review. *Biomedical instrumentation & technology*, 46(4):268–277, 2012.
- [6] Avinash Konkani, Barbara Oakley, and Thomas J Bauld. Reducing hospital noise: a review of medical device alarm management. *Biomedical Instrumentation & Technology*, 46(6):478–487, 2012.
- [7] Národní referenční centrum. Užití drg markerů v systému ir-drg 1.2, verze 012. (Online). [Přístup získán 14. května 2024]. https://mzd.gov.cz/wp-content/uploads/wepub/9906/22124/NRC_DRG_Metodika_u%C5%BEit%C3%AD_DRG_markeru_012_EXP_2_MZ.pdf.
- [8] Lenka Vyslouzilova, Vaclav Zvonicek, Frantisek Duska, Jan Jirman, Jan Kubr, Lenka Lhotska, Miroslav Macik, Milan Nemy, Eliška Niebauerová, Lukáš Povišer, Martin Samek, and Jakub Vaněk. NovÁ technologie v

