České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra kybernetiky

Diplomová práce

# Prostorová lokalizace nemocničních lůžek

2015 Bc. Jan Lochmann

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra kybernetiky

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Student:** Bc. Jan L o c h m a n n

**Studijní program:** Biomedicínské inženýrství a informatika (magisterský)

**Obor:** Biomedicínské inženýrství

**Název tématu:** Prostorová lokalizace nemocničních lůžek

**Pokyny pro vypracování:**

1. Na základě účasti při vývoji lokalizace nemocničních lůžek ve firmě LINET spol. s r.o. zpracujte komplexně rešerši stávajících řešení konkurence s důrazem na patentová omezení.
2. Zhodnoťte problematiku různých směrů vývoje, kterými by bylo možné postupovat při návrhu a řešení projektu.
3. Samostatně realizujte měření pomocí vyvíjených metod, jejichž výsledky důkladně analyzujte.
4. Připravte návrh postupu pro detekci závad na konečném produktu vývoje s tím, že tento postup by měl být následně užíván servisními techniky LINET.

**Seznam odborné literatury:**

[1] Uhlíř Jan: Elektrotechnika pro informatiky. Praha, 2008
[2] Stim Richard: Patent, Copyright & Trademark.California, 2014.
[3] Pšenčíková Jana: Algoritmizace. Praha, 2009.

**Vedoucí diplomové práce:** doc. Ing. Lenka Lhotská, CSc.

**Platnost zadání:** do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

doc. Dr. Ing. Jan Kybic
**vedoucí katedry**

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
**děkan**

V Praze dne 26. 1. 2015

# Anotace

Účelem této práce je poskytnout ucelený a nezaujatý pohled na proces vývoje systému lokalizace nemocničních lůžek na základě vlastní účasti při vývoji ve firmě LINET spol. s r.o. Práce pojednává o stávajících řešení konkurence, bere ohled na patentová omezení, hodnotí různé směry vývoje, kterými bylo možné postupovat a klade důraz na odlišné potřeby různých nemocničních zařízení. V neposlední řadě práce prezentuje výsledky samostatně realizovaných měření a nabízí přehledně zpracovaný komplexní postup řešení závad na výsledném systému.

# Klíčová slova

prostorová lokalizace, patent, RFID, rádiový přenos, infračervený přenos, IP krytí, troubleshooting, nemocniční vybavení, nemocniční lůžko

# Annotation

The purpose of this work is to provide a comprehensive and unprejudiced view of the system development process of hospital beds localization made by participation in the development department of LINET, Inc. The work deals with the existing solutions of competitive, it takes account of patent restrictions, evaluates the various developments, which it was possible to proceed with an emphasis on the different needs of different hospitals. Finally, the thesis reveals the results of measurements carried out on one’s own and offer comprehensive process solutions for defects in the system.

# Keywords

spatial localization, patent, RFID, radio transmission, infrared transmission, IP protection, troubleshooting, hospital equipment, hospital bed

## Poděkování

Nejprve bych rád poděkoval firmě LINET spol. s r.o. za to, že mi umožnila stát se členem týmu oddělení elektrovývoje a podílet se od samého začátku mimo jiné na návrhu a vývoji nových řešení, mezi které patří zejména systém lokalizace nemocničních lůžek, jehož finální verze je nyní provozována ve Spojených arabských emirátech.

V neposlední řadě bych také rád poděkoval paní doc. Ing. Lence Lhotské, CSc. nejen za poskytnutí nezávislého a nestranného pohledu v průběhu vytváření této práce, ale také za cenné rady související s patentovými omezeními.

## Prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne …….  …….

Podpis autora práce

# Obsah


1 Nemocniční lůžka LINET ..... 10
2 Systém lokalizace nemocničních lůžek ..... 11
2.1 Dosavadní způsoby kontroly pacienta ..... 11
2.2 Možné principy lokalizace nemocničních lůžek ..... 11
2.3 Rizika spojená s lokalizací nemocničních lůžek ..... 12
3 Patentová problematika ..... 14
3.1 Ochrana duševního vlastnictví ..... 14
3.2 Současná patentovaná řešení ..... 14
3.2.1 Modifikovaný zásuvkový konektor ..... 15
3.2.2 Obousměrná komunikace ..... 16
3.2.3 Využití dvou rádiových vysílačů ..... 17
4 Alternativní cesty vývoje ..... 18
4.1 Výhody alternativních cest vývoje ..... 18
4.2 Kamerový systém ..... 18
4.3 Čárové a QR kódy ..... 19
4.4 RFID, Rádiový přenos, Infračervený přenos ..... 19
5 Měření vybraných alternativ řešení ..... 20
5.1 RFID ..... 20
5.1.1 Základní princip ..... 20
5.1.2 Přijímací část ..... 21
5.1.3 Vysílací část ..... 21
5.1.4 Měření systému RFID ..... 22
5.2 Rádiový přenos ..... 24
5.2.1 Základní princip ..... 24
5.2.2 Analýza prostředí ..... 24
5.2.3 Zpracování vysílače ..... 25
5.2.4 Zpracování přijímače ..... 25
5.2.5 Měření sytému rádiového přenosu ..... 27
5.3 Infračervený přenos ..... 31
5.3.1 Základní princip ..... 31
5.3.2 Analýza prostředí ..... 31
5.3.3 Zpracování vysílače ..... 32
5.3.4 Zpracování přijímače ..... 33
5.3.5 Zajištění optické konzistence ..... 34
5.3.6 Měření systému infračerveného přenosu ..... 35

6 Finálně zvolený základní princip ..... 38
7 Serverová část ..... 39
7.1 Typově přenášená data ..... 39
8 Životnost baterie vysílače ..... 41
8.1 Předinstalační opatření ..... 42
9 Zástavba zařízení ..... 44
9.1 Strana vysílače ..... 44
9.2 Strana přijímače ..... 45
9.3 Validační měření po zástavbě na lůžko ..... 47
9.4 Sestavení montážního kitu ..... 48
10 Zařazení systému do sériové výroby ..... 49
10.1 Testovací přípravek ..... 50
11 Řešení problémů (Troubleshooting) ..... 52
11.1 Vývojový diagram ..... 52
12 Současná využití, budoucí vize ..... 55
13 Zhodnocení práce ..... 56
14 Seznam použité literatury ..... 57
15 Samostatné přílohy ..... 58

# Seznam obrázků

Obrázek 1 - Nemocniční lůžko Multicare ..... 10
Obrázek 2 - Interpretace řešení patentovaného firmou Stryker Corporation ..... 16
Obrázek 3 - Vizualizace laterálního náklonu ložné plochy lůžka Multicare ..... 27
Obrázek 4 - Modelová situace umístění vysílačů pro účely testování lokalizace ..... 28
Obrázek 5 - Zkušební umístění rádiového přijímače na podvozku lůžka Multicare ..... 29
Obrázek 6 - Propustnost jednotlivých vlnových délek speciálním plexisklem ..... 34
Obrázek 7 - Umístění IR vysílače ve vztahu k definované parkovací pozici lůžka ..... 36
Obrázek 8 - Zobrazení aktuálně přijímaných lokalizačních značek pomocí terminálu ..... 39
Obrázek 9 - Konečná podoba vysílací části zvoleného systému lokalizace ..... 45
Obrázek 10 - Konečná podoba přijímací části zvoleného systému lokalizace ..... 46
Obrázek 11 - Testovací přípravek pro ověření funkčnosti systému lokalizace ..... 50
Obrázek 12 - Vývojový diagram řešení závad na systému lokalizace ..... 54

# Seznam tabulek

Tabulka 1 - Výsledky měření rádiového přenosu s přijímačem na podvozkovém rámu ..... 30
Tabulka 2 - Funkční rozsah systému lokalizace založeného na IR principu ..... 35

# Seznam samostatných příloh

Samostatná příloha 1 - Vizualizace konstrukce vysílače obsahujícího plošný spoj a baterii ..... 58
Samostatná příloha 2 - Vizualizace konstrukce přijímače obsahujícího plošný spoj ..... 58
Samostatná příloha 3 - Finální řešení přijímací části a její umístění na lůžko Multicare ..... 59

# Seznam příloh na CD

Bc. Jan Lochmann - Diplomová práce - 2015 - Prostorová lokalizace nemocničních lůžek.pdf

# Úvod

Vzhledem k vysokým nárokům na bezpečnost pacientů v rámci nemocničních zařízení vzniká potřeba automatizace některých postupů, nikoli za účelem nahrazení dosavadního personálu, nýbrž spíše z důvodu vícenásobné kontroly.

Doposud existovala celá řada metod umožňujících přehlednou správu nemocničních lůžek a tudíž i pacientů, obvykle však tyto metody z velké části závisely na přítomném personálu. V některých případech tedy přidaná hodnota těchto způsobů nebyla dostatečná z pohledu bezpečnosti pacienta. Zde tedy vzniká potřeba jisté automatizace procesu pro umožnění dvojité kontroly a tudíž zvýšení bezpečnosti pacientů a zefektivnění správy celého nemocničního zařízení. Z těchto důvodů se tedy vedení firmy Linet spol. s r.o. rozhodlo podobný systém vyvinout a umístit na svá lůžka.

Kapitoly této práce jsou řazeny chronologicky dle času, tak aby čtenář získal představu o postupném vývoji nového systému. Kapitoly týkající se patentového omezení popíší vztahy mezi duševním vlastnictvím a vývojem nového systému, upozorní na možné cesty a slepé uličky. Další kapitoly tyto cesty zhodnotí a definují takové, které budou následně podrobeny zevrubným testům v dalších kapitolách věnujících se měření. Poslední kapitoly práce nadefinují parametry související s životností zařízení, nabídnou použitá řešení týkající se ochrany zařízení před mechanickým a chemickým namáháním a v neposlední řadě odhalí obecný postup řešení závad na kompletním systému lokalizace nemocničních lůžek.

# 1 Nemocniční lůžka LINET

Česká firma Linet spol. s r.o. sídlící poblíž obce Slaný, patří mezi výrobce špičkového nemocničního vybavení a bez nadsázky se může řadit mezi světoznámé firmy jako je Stryker, Hill-Rom nebo Stiegelmeyer. Primárním produktem této firmy jsou zejména nemocniční lůžka.

Tato lůžka jsou vyvíjena již více než 20 let a za tuto dobu byla postupně zdokonalována pro poskytnutí nejlepší možné péče pro konečného zákazníka, kterým je v první řadě pacient a v řadě druhé nemocniční zařízení. Postupný vývoj nových a nových technologií pro vyšší bezpečnost a pohodlí pacienta, snadnou obsluhu a design vždy kladl velké nároky na samotný technický vývoj, který je součástí firmy, a jehož úkolem bude i vývoj nového systému lokalizace nemocničních lůžek.

Krom vhodně navrženého rámu základní konstrukce výrobky firmy Linet také disponují celou řadou elektroniky, jež poskytuje množství funkcionalit vhodně spojujících bezpečnost, praktičnost a funkčnost. Právě na tuto stávající elektroniku bude vyvíjený systém lokalizace v budoucnu napojován tak, aby vhodným způsobem využil možnosti stávajících řešení. Systémem lokalizace budou jako první vybavena nejmodernější nemocniční lůžka Multicare, viz Obrázek 1 - Nemocniční lůžko Multicare.

Obrázek 1 - Nemocniční lůžko Multicare[1]

[1] Zdroj: Linet. *Multicare* [online]. 2015 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: http://www.multicarebed.com/en/download/

# 2 Systém lokalizace nemocničních lůžek

Systém lokalizace lze definovat jako komplexní způsob detekce, zda je či není konkrétní lůžko na konkrétním místě v rámci nemocnice, případně jiného zdravotnického zařízení. Tyto informace mohou být užívány pro grafické znázornění obsazenosti jednotlivých pokojů a případně párovány s životními funkcemi pacienta.

## 2.1 Dosavadní způsoby kontroly pacienta

Pokud hovoříme o klasických metodách lokalizace nemocničních lůžek za účelem kontroly pacienta v rámci nemocničního prostředí, většinou se jedná zejména o vizuální kontrolu. S jistotou se dá říci, že každé oddělení v nemocnici se s tímto úkolem vypořádává odlišně, neboť disponuje jinými prioritami vůči pacientům. Například oddělení intenzivní péče je ve většině případů již stavebně uzpůsobeno pro důsledný dozor nad pacienty. Toho je dosaženo využitím skleněných stěn, které zajišťují výbornou přehlednost, a personálu tak velice usnadňují onu vizuální kontrolu. V případě klasických pokojů, například na interním oddělení, jsou pokoje odděleny nejen z důvodu zvýšení soukromí pacientů zděnými stěnami, ty však neumožňují přímou vizuální kontrolu pacientů personálem například ze sesterny. Na některých odděleních lze pozorovat důmyslné rozdělení pokojů dle kategorizace závažnosti stavu konkrétního pacienta. Stěna jednoho z pokojů, který sousedí se sesternou, je stavebně upravena vložením obdélníkového okna, kterým je možné pacienty pozorovat přímo ze sesterny.

Žádný z těchto způsobů však není automatický a nezajišťuje komplexní správu nad spojením informací o zdravotním stavu s lokalizací pacienta. Zde přichází na řadu využití moderních technologií.

## 2.2 Možné principy lokalizace nemocničních lůžek

Možností jak lokalizaci při návrhu uchopit je celá řada. V první řadě je třeba znát požadavky nemocnice. Důvodem jsou různá dispoziční řešení každé nemocnice, která mohou zásadním způsobem interferovat s konečným řešením.

Jedním způsobem možného řešení je lokalizovat pouze stav, který bude předávat informaci o tom, zda lůžko je nebo není na místě, ke kterému bylo přiřazeno. Toto řešení je pro nemocnici nejjednodušší z hlediska složitosti instalací, které je nutno do nemocničních prostor zakomponovat. Nemocnice však přijde o možnost lokalizace lůžek mimo definovaná místa v rámci pokojů. Zásah do stávajících elektroinstalací, stavební úpravy nebo jiné zásadní úpravy mohou být pro některé nemocnice důvodem pro odstoupení od instalace systému lokalizace, nejen z tohoto důvodu může být právě tento princip nejvíce oblíben.

Alternativním řešením k tomuto příkladu je lokalizace po celé nemocnici, avšak pouze přiřazením k určitým prostorám. Systém například rozpozná, že lůžko není na svém obvyklém místě, ale nachází se na chodbě v přízemí. Lékař tedy může na základě těchto informací určit, že pacienta na lůžku právě dovážejí na rentgen, který se nachází v přízemí. Pro vytvoření tohoto závěru není nutná informace o tom, kde přesně se lůžko v rámci chodby nachází, ale postačí jednoduchá informace o tom, že je na oné chodbě.

Komplexním řešením by byla samozřejmě absolutní lokalizace, která by určila polohu lůžka s přesností na pár metrů v rámci celé nemocnice. Jak již bylo řečeno, v praxi by toto řešení neposkytovalo takovou přidanou hodnotu. Vzhledem k velice složitému vývoji takto přesné lokalizace a fyzikálním omezením plynoucím z prostor budov se toto řešení jeví jako neúčinné.

## 2.3 Rizika spojená s lokalizací nemocničních lůžek

Pro smysluplné zhodnocení rizik spojených s užíváním systému lokalizace nemocničních lůžek za použití moderních postupů, je třeba si uvědomit dvě možné situace. První z nich je stav, kdy je pacient v pořádku a je správně umístěn na své místo v rámci nemocnice a přesto systém hodnotí pozici pro konkrétní lůžko jako neobsazenou[2], případně upozorňuje na špatný zdravotní stav pacienta. Tato chyba není natolik závažná ve vztahu přímého ohrožení pacienta na životě, nicméně nabízí se zde celá řada aspektů, které nedovolují tuto chybu opomenout. Jedná se zejména o udržení „dobrého jména“ celého systému. Pokud bude pravidelně docházet k podobně falešným

[2] V tomto případě lze definovat jako chybu I. druhu.

alarmům, personál oddělení ztratí nebo vůbec nezíská pocit smysluplnosti celého řešení, naopak jej bude považovat za nespolehlivé a vrátí se ke standardním řešením.

Dále může nastat situace, kdy pacient bude v přímém ohrožení života, případně ve špatném zdravotním stavu za současné správné lokalizace nemocničního lůžka. Systém však bude lůžko prezentovat jako nepřítomné na své výchozí pozici[3]. Oproti předchozímu příkladu zde již dochází k přímému ohrožení života pacienta a je bezpodmínečně nutné zabránit výskytu tohoto stavu, neboť tato chyba může způsobit pozdní reakci personálu, případně falešný pocit jistoty.

Přesto, že ve vývoji celé řady produktů je kladen velký důraz právě na takovéto chyby, není přímým cílem vyvinout systém, který plnohodnotně nahradí veškerá stávající řešení. Pokud hovoříme o ošetřovatelském vztahu pacient - lékař, pacient - personál, narážíme na celou řadu nenahraditelných procesů. Tyto procesy je však možné doplnit racionálním řešením, které poskytne výhody jak onomu personálu, tak samotným pacientům. Mezi takováto řešení patří i systém lokalizace nemocničních lůžek.

[3] V tomto případě lze definovat jako chybu II. druhu

# 3 Patentová problematika

## 3.1 Ochrana duševního vlastnictví

Stejně jako v jakémkoli odvětví průmyslu, tak i zde se vývojáři nových řešení snaží své nápady chránit. Tato ochrana například formou patentu zabezpečí v následujících letech náskok před konkurencí, který je často rozhodujícím faktorem pro úspěch.

Do jisté míry však vývojáře mohou patentová omezení výrazně brzdit od dokončení daného projektu. Právě jednoduchá řešení lze ve většině případů označit za nejprogresivnější. Samozřejmě velice často jsou již takováto řešení patentována. Vývojář je tedy v některých případech nucen přistupovat na kompromisy, případně se při řešení vydat docela jinou cestou za stejným cílem, a to i za cenu vytvoření systému „zbytečně“ složitějšího. Firmy zabývající se vývojem se vší vážností obvykle disponují celým patentovým oddělením, které zajišťuje tvorbu patentových rešerší, podávání přihlášek a všech souvisejících činností.

V neposlední řadě také stojí za zmínku fakt, že i již patentované řešení je možné využívat po domluvě s vlastníkem patentu. Využití je vázáno smlouvou, kde je dohodnut mimo jiné i platební kalendář, dle kterého se bude za využití patentu platit. Částka se může pohybovat například okolo 10$ za každý vyrobený kus výrobku využívající onen patent. Je tedy logické, že takovéto vícenáklady se ve většině firem neschází s požadavky finančních oddělení. Proto je často firma ochotna jednorázově investovat do vlastního vývoje a tím také do udržení podnikového know-how.

## 3.2 Současná patentovaná řešení

V této kapitole bych rád vyzdvihl celou řadu již funkčních řešení, z nichž jsou některé až geniálně jednoduché. V oné jednoduchosti však lze nalézt spoustu výhod oproti ostatním řešením. To může být například rychlost, spolehlivost, snadná instalace apod. Tato řešení jsou všechna patentována, nemohou být tedy již využívána ve vývoji samotného systému.

### 3.2.1 Modifikovaný zásuvkový konektor

Jedním z patentově chráněných řešení lokalizace lůžek je využití koncovky síťového kabelu nemocničního lůžka jako jedinečného identifikátoru v součinnosti se speciální zásuvkou umístěnou na stěně pokoje případně na panelu elektrických komponentů.

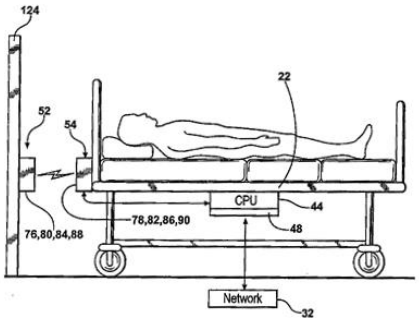
Toto řešení je možné považovat za velice důmyslné z hlediska jednoduchosti a přesnosti. Lůžko je v tomto případě možné lokalizovat pouze, pokud je v daný okamžik připojeno do lokalizační zásuvky. Tento fakt ovšem nijak nekoliduje s požadavky celé řady nemocnic. Nemocniční systém dostává pouze informaci o stavu, zda lůžko je, či není na svém místě, případně že je na jiném lokalizačním místě, než tom, které mu bylo přiděleno.

Výhodou tohoto řešení je jednoduchost. Běžné lůžko může být upraveno na lůžko schopné lokalizace pouhou výměnou síťového konektoru. Vzhledem k omezené délce napájecího kabelu navíc nehrozí, že by lůžko mohlo být špatně lokalizováno. Určení pozice je tedy vždy odvislé od připojení do zásuvky. Tato zásuvka je speciálně upravena a dokáže předávat informace vidlici síťového konektoru, která je spojena s nadřazeným systémem umožňujícím správu celého projektu. Jak zásuvka, tak konektor mají jedinečné identifikační prvky. Tyto identifikátory zajišťují nezaměnitelnost lůžek a pozic. Je tedy možné lokalizovat lůžko i na místě, které mu ve skutečnosti nebylo přiděleno, avšak je vybaveno lokalizační zásuvkou.

Nevýhodou je však právě nutnost používání speciálních zásuvek, které vytváří vícenáklady ve fázi realizace v nemocničním zařízení. Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, takovéto vícenáklady v součinnosti s nutnými stavebními úpravami mohou mít rozhodující slovo při rozhodování, zda tento systém využít, či nikoli. Avšak v případě zástavby nové nemocnice, případně zásadní rekonstrukce stávajícího provozu se toto řešení jeví jako velice praktické a vícenáklady se v tomto případě stanou zanedbatelnými.

### 3.2.2 Obousměrná komunikace

Další velkou oblastí, která je bohatě patentována, je způsob komunikace mezi vysílací a přijímací částí. Principiálně zde nejde o fyzikální podstatu přenosu dat, ale jde zde o princip využívaný u bezdrátové komunikace. Tento princip řeší problém úspory energie nástěnných vysílačů, které jsou umístěné na oboustranných lepicích páskách a jsou napájeny baterií. Cílem tohoto řešení je prodloužit životnost vysílačů, aniž by bylo nutné přistupovat na kompromisy na straně přesnosti lokalizace z důvodu prodloužení pauz mezi vysílanými lokalizačními daty. Výjimečnost tohoto řešení spočívá ve vyslání informace ze strany lůžka o potřebě nechat lokalizovat svou polohu. Načež nástěnné vysílače reagují zkrácením doby mezi vysílanými lokalizačními značkami. Přesnost a zároveň rychlost lokalizace tedy markantně roste. V případě, že lůžko nevyšle požadavek o lokalizaci, tak i přesto jednou za předepsanou dobu lokalizační data získá, nicméně prodleva je zde daleko větší. Principiálně však závisí na konkrétním nastavení. Díky tomuto řešení je tedy zátěž pro nástěnné vysílače co do spotřeby energie velice nízká a pouze v určitých okamžicích nepatrně vzroste.




Obrázek 2 - Interpretace řešení patentovaného firmou Stryker Corporation[4]

Tento patent je veden pod označením US20130076490 A1. Podstatným nárokem je zde zejména část, jež definuje princip hospodaření s energií uloženou v bateriích, cituji anglický originál: „*To conserve battery life, the locator normally operates in a sleep mode until the request signal is received by the at least one infrared sensor of the locator.*“.[5]

[4] Zdroj: US patent US20130076490 A1
[5] STRYKER CORPORATION. Location detection system for a device [patent]. US20130076490, A1. Uděleno 19. 11. 2012.

Tento popis jasně definuje způsob šetření energie baterie. Lokátor za běžných podmínek pracuje v úsporném režimu, dokud nepřijme signál alespoň jedním přijímačem. Toto řešení je velice progresivní a účinné, nicméně v důsledku patentové ochrany, která započala koncem roku 2012, nelze toto řešení využít u vyvíjeného produktu.

### 3.2.3 Využití dvou rádiových vysílačů

Další patentované řešení, které se skrývá pod označením US6539393, značným způsobem zasahuje do možných alternativních řešení, která se pro zpracování systému lokalizace nemocničních lůžek nabízí. Hlavním bodem této patentové přihlášky je 15. nárok, ve kterém je uvedeno, cituji anglický originál: „*A locator system for locating objects within a facility comprising a plurality of wireless transmitters, each having a unique identification code, for periodically transmitting said identification code; at least one wireless transceiver for receiving within its reception range said identification code transmitted from each of said wireless transmitters and for transmitting a message including said identification code of said wireless transmitter and identification code of said wireless transceiver…*“[6]. Tento nárok popisuje řešení ve vztahu k určitému počtu vysílačů, jež vysílají unikátní lokalizační kód, který je následně přijímán. Podstatnou informací je zejména fakt, že v tomto nároku je uvedeno: „*…plurality of wireless transmitters…*“. Patentová ochrana se tedy v důsledku takovéto formulace nároku nevztahuje na použití jednoho vysílače. Zde tedy vzniká možná cesta pro realizaci alternativního řešení, jež nebude zatížené patentovou ochranou. Další důležitý bod je nárok číslo 16, ve kterém je uvedeno, že princip je založen na rádiovém přenosu. Tento fakt tedy otevírá další možné cesty, kudy je možné se vydat, neboť ochrana vztažená k rádiovému přenosu ve vztahu k počtu vysílačů již nebude platná v případě použití jiného principu přenosu. Veškeré tyto informace však budou předmětem rozvah až ve fázi návrhu a realizace nového systému.

[6] HILL-ROM SERVICES, Inc. *Portable locator system* [patent]. US6539393, B1. Uděleno 30. 09. 1999.

# 4 Alternativní cesty vývoje

Z důvodu patentových omezení, která svazují vývoj, případně jej nutí jít jiným směrem, je nutné důsledně zvažovat veškeré kroky, kterými je možné se ubírat. V této kapitole tedy popíši alternativní cesty, které disponují určitým potenciálem dovést projekt ke kýženému cíli.

## 4.1 Výhody alternativních cest vývoje

Přes široký výběr nevýhod, který jsem zde popisoval, má vývoj alternativní cestou oproti využití licence stávajícího patentu také celou řadu výhod. Jednou z nich je například udržení vnitropodnikového know-how, které je velice cenným artiklem pro firmu jako takovou. Využitím licence patentu se firma odevzdává na milost vlastníka licence. Problematické je následně vytvářet dlouhodobé plány. Zatímco v případě vlastního patentovaného řešení má firma jistotu a může vytvářet dlouhodobější vize s kontrolovanou mírou nejistoty.

## 4.2 Kamerový systém

Jednoduché řešení, které není zásadním způsobem složité, nabízí využití klasických kamerových systémů. Videozáznam může být vhodným způsobem segmentován na určité zóny reprezentující jednotlivá místa, ke kterým by byla lůžka přiřazována. Pomocí základních poznatků zpracování obrazu by následně mohlo být lůžko detekováno v rámci pokoje.

Narážíme zde však na zásadní etický problém. Kamery by 24 hodin denně zabíraly pacienty, to může vedení označit za nepřijatelné, přestože data by nemusela být nikde ukládána.

V každé nemocnici dochází do jisté míry k narušení soukromí jedinců, kteří jsou v těchto zařízeních léčeni. Jedná se o přirozenou a nutnou součást celého procesu léčení. Spousta aspektů každodenní péče o ležící pacienty zkrátka jinak vyřešit nelze. Toto narušení se samozřejmě personál snaží v co největší míře potlačit, nicméně nikdy to není možné v celém rozsahu. Z tohoto důvodu by tedy přítomnost kamerového systému

na pokojích vytvářela zbytečný psychologický nátlak, který je ve fázi léčení pacienta zbytečně zatěžujícím faktorem.

## 4.3 Čárové a QR kódy

Dalším řešením je využití pasivních značek umístěných na pozicích pro nemocniční lůžka. Tyto značky mohou být vytvářené například klasickým čárovým kódem, který známe z obchodů, případně pomocí modernějších QR kódů. Značka následně nese jedinečnou informaci o konkrétním místě a je možné ji snímat optickým členem umístěným na podvozku lokalizovaného lůžka, které se samo lokalizuje po najetí na definovaný obrazový kód.

Podstatnou výhodou je pasivita části definující konkrétní pozici. Odpadají tedy jakékoli starosti s přiváděním napájení nebo údržbou baterií v této části. Nemocniční zařízení tedy tuto možnost jednoznačně přivítá.

Kromě nesporných výhod se ale nabízí i zásadní nevýhoda. Tou je samotný princip snímání optickou cestou. Vzhledem k tomu, že lůžko je často vystaveno nesčetnému množství zdrojů nečistot velice snadno dojde ke zhoršení optických vlastností a funkce. Některé nemocnice dokonce místo omyvatelných podlah využívají zátěžových koberců, které ve svém nitru a na povrchu i přes veškerou údržbu vychytávají velké množství prachu, který je při pohybu lůžka vířen a v konečném důsledku dosedá na lůžko. Tento problém by mohl být jednoduše vyřešen očištěním dotčené oblasti snímače, to však nelze od personálu očekávat, neboť primární povinností zdravotnického personálu nemocnice je starat se o pacienta, nikoli o údržbu zdravotnického vybavení.

## 4.4 RFID, Rádiový přenos, Infračervený přenos

Dalšími možnými směry vývoje jsou radiofrekvenční identifikace pomocí pasivních přijímačů, rádiová komunikace s přenosem jedinečného identifikátoru z vysílače, nebo využití infračerveného záření pro přenos unikátního identifikačního prvku. Všechny tyto principy popíši jednotlivě v následující kapitole, neboť svými teoretickými vlastnostmi dosáhly toho, že budou i prakticky testovány.

# 5 Měření vybraných alternativ řešení

V této kapitole dojde k popsání hlavních směrů vývoje, které přicházely v úvahu, ať už s přihlédnutím na patentová omezení, bezpečnost, kvalitu nebo spolehlivost. Pro každý z možných směrů uvedu hlavní body, dle kterých bylo rozhodováno, zda konkrétní princip využít, či nikoli. V neposlední řadě také uvedu svá samostatná měření na nemocničním lůžku, která předcházela ona rozhodnutí o následujícím postupu.

## 5.1 RFID

Radio Frequency Identification, neboli systém radiofrekvenční identifikace, který pomocí radiofrekvenčních vln dokáže identifikovat konkrétní objekt, který je označen malým čipem, taktéž nazývaným „tag“. Tato technologie je dnes hojně využívána v širokém spektru odvětví, jako jsou identifikace zboží, identifikace zaměstnanců pomocí přístupových karet, identifikace zvířat pomocí implantovaných čipů, a celá řada dalších. Vzhledem ke značné podobnosti s požadavky systému lokalizace se tento způsob zdá dostatečně atraktivní pro účely dalšího testování.

### 5.1.1 Základní princip

Základní myšlenkou je umístit na lůžko vysílač a na stěnu, či podlahu konkrétní parkovací pozice, umístit přijímač. Při přiblížení lůžka jeho parkovací pozici následně dojde k detekci konkrétního přijímače a jeho jedinečného kódu, který bude odesílán integračním modulem lokalizovaného lůžka na nemocniční server k dalšímu zpracování, jež bude mít za následek lokalizování lůžka v rámci nemocničního zařízení.

Technologie RFID lze hrubě rozdělit na dva typy dle druhu přijímače. Prvním typem je aktivní přijímač. Ten zajišťuje vyšší dosah pro komunikaci a taktéž je možné komunikovat na nižších výkonech. Přesto, že spotřeba systému jako celku může být nižší, je nutné do aktivních přijímačů zakomponovat baterii, která onen přijímač napájí. Zde dochází ke střetu požadavků, neboť jakýkoli prvek v systému vybavený baterií má omezenou životnost na přibližně 8 let bez ohledu na spotřebu, neboť po těchto letech je již baterie vlivem samovybíjení na konci životnosti. Nejen z tohoto důvodu bylo ve fázi

návrhu přistoupeno k použití druhého typy RFID přijímače, který je pasivní a neobsahuje baterii, a to i za cenu zvýšení výkonu nutného ke komunikaci a s tím související vyšší spotřebou na straně vysílače. Pasivní přijímač ke svému napájení používá právě energii získanou ze signálu vyslaného vysílačem. Výhodou je tedy vyšší životnost přijímače, avšak dochází ke zkrácení dosahu mezi vysílačem a přijímačem, což však může omezovat možné přeslechy mezi jednotlivými parkovacími pozicemi lůžek.

### 5.1.2 Přijímací část

V rámci parkovací pozice, do které má být konkrétní lůžko lokalizováno, přichází v úvahu několik možných míst pro umístění pasivního prvku. Prvním z nich je střed stěny, ke které je lůžko přisunuto, ve výšce přibližně odpovídající výšce vysílače. Tato pozice zajišťuje dostatečný kontakt mezi vysílačem a přijímačem a do značné míry eliminuje možnost vložení cizího předmětu, například kyslíkové lahve, do cesty signálu. Přesto, že je pasivní prvek odolný proti působení teplotního i chemického namáhání, v této pozici nebude těmto faktorům ve vysoké míře vystaven.

Druhou možností umístění pasivního prvku je podlaha konkrétní parkovací pozice. Výhodou tohoto umístění je zejména to, že zcela eliminuje možnost vložení předmětu mezi vysílač a přijímač. Na druhu stranu je podlaha velice náročné prostředí pro dlouhodobou funkci pasivního přijímače. Vzhledem k nutnosti časté desinfekce nemocničních pokojů agresivními desinfekcemi se tato možnost zdá nereálná.

### 5.1.3 Vysílací část

Vysílač je vhodné umístit tak, aby byl v přímém kontaktu s přijímačem, ale přesto žádným způsobem neomezoval pohyb lůžka. Funkce výsledného systému také nesmí být ovlivněna různým napolohováním lůžka.

Anténa vysílače musí mít různou polarizaci v případě umístění přijímače na stěně, či na podlaze. V případě umístění přijímače na stěně je vhodné zvolit charakteristiku antény úzkou ve vertikální rovině, aby nedocházelo ke zbytečnému vyzařování výkonu do míst, kde je to zbytečné, tedy zejména do podlahy, zatímco v horizontální rovině by charakteristika měla být spíše široká. To zejména pro případy kdy lůžko nebude přesně vycentrováno na své parkovací pozici. V případě umístění přijímače na podlahu

parkovací pozice je vhodné zvolit kruhovou polarizaci antény, čímž se zajistí schopnost detekce i v případě nepřesně umístěného lůžka. Nezanedbatelně však narůstá riziko detekce sousedního přijímače.

### 5.1.4 Měření systému RFID

Na základě všech uvedených předpokladů byl pro účely testování nakonec zvolen typ pasivního přijímače umístěného na stěně konkrétní parkovací pozice a vysílače umístěného na čele lůžka. Zejména z důvodu vyššího dosahu a možnosti menších rozměrů, jak vysílače, tak přijímače, bylo pro komunikační frekvenci zvoleno 868 MHz. Veškeré tyto předpoklady byly součástí zadání pro vytvoření prototypů externí firmou, na nichž bude možné ověřit funkčnost systému využitím vhodných zkoušek.

Konkrétní testy byly prováděny na lůžku Multicare, které bylo osazeno vysílačem v hlavové části lůžka a jehož parkovací pozice byla označena jedinečným přijímačem. Pro zjištění vzájemného vlivu různých přijímačů na ostatních parkovacích pozicích bylo měření praktikováno u sádrokartonové stěny, opatřené přijímači z obou stran, které simulovaly umístění dvou lůžek v rámci dvou nemocničních pokojů. Další přijímače byly také umístěny na pozicích vpravo a vlevo. Bylo tedy možné jasně stanovit odolnost metody proti přeslechům.

Závěry měření bylo možné udělat ihned po prvních pokusech s danou technologií. Detekce konkrétních tagů v praxi fungovala velice spolehlivě, avšak zjištěný problém se vyskytoval právě v případě umístění nástěnných přijímačů do stejného místa stěny v rámci dvou pokojů. V tomto případě docházelo k problematické detekci. Ta byla způsobena samotným principem funkce, kdy v případě takzvaného nástěnného tagu je zcela nepodstatné, zda je čten zpředu, či zezadu. V tomto případě tedy velice snadno nastávalo chybné lokalizování lůžka. V nemocničním prostředí by v tomto případě bylo chybou lokalizování lůžka do zcela jiného pokoje, což je nepřípustné. Možným řešením by mohlo být umístění lůžek tak, aby nikdy nebyla umístěna proti sobě mezi jednotlivými pokoji. Tento předpoklad je však v praxi zcela nerealizovatelný, jelikož by takovýto zásah nutil nemocniční zařízení upravovat stávající řešení pokojů, což z důvodu vícenákladů není možné.

Výsledkem těchto testů je tedy konečný závěr, který tuto metodu lokalizace nemocničních lůžek nedoporučuje. Podobným principem funkce založeným na

radiových vlnách je také následující řešení, viz kapitola 5.2 Rádiový přenos, ve které bude využita směrovost aktivních rádiových vysílačů pro omezení, či přímou eliminaci přeslechů mezi místnostmi.

## 5.2 Rádiový přenos

Velkou kapitolou zpracování systému lokalizace je jistě využití komunikace na frekvencích řádů GHz. Tento způsob je velice podobný systému RFID, avšak s tím rozdílem že je navržen tak, aby eliminoval přeslechy mezi sousedními pokoji, jež byly důvodem zamítnutí předchozího systému. Této vlastnosti je docíleno využitím aktivních vysílačů vybavených směrovou anténou.

### 5.2.1 Základní princip

Princip řešení je takový, že každá parkovací pozice má jeden aktivní vysílač, který ve stanovených periodách vysílá lokalizační značky. Tyto značky jsou následně přijímány elektronikou lůžka tedy přijímací částí, kde dochází k předávání informace k následnému zpracování. Díky využití elektromagnetického vlnění je možné určovat sílu signálu a na základě těchto znalostí se rozhodovat ke kterému z takzvaných „tagů“ je lůžko blíže. Toto řešení ovšem skýtá celou řadu složitostí, které jsou obtížně ovlivnitelné. Šíření vlny je v tomto případě dosti odvislé od polarizace antény vysílače a do velké míry značně interferuje s předměty umístěnými v jejím dosahu. Vytvářejí se tak stíny, ve kterých nemusí být přímo zřetelný signál od nejbližšího možného tagu. V tomto případě tedy může docházet k chybnému lokalizování lůžka. Dalším podstatným činitelem je fyzikální vlastnost vlnění, které prochází bez větších problémů stěnou a snadno se odráží. V některých případech tedy může za určitých okolností docházet k odrazům do sousedních pokojů. Účelem následujících měření tedy bude zejména ověření, zda tyto faktory nastávají v takové míře, že je ještě možné tento princip využít, či nikoli.

### 5.2.2 Analýza prostředí

Podstatným bodem návrhu a vývoje systému založeného na rádiovém přenosu je do značné míry vhodné zhodnocení prostředí, ve kterém bude systém umístěn. Ve vztahu k radiovým vlnám je zásadní zhodnocení přítomnosti odrazivých ploch, které mohou jistým způsobem interferovat a způsobovat špatné přiřazení lůžka k parkovací pozici,

případně kompletní výpadek přenosu jedinečných identifikátorů pozice přenášených mezi vysílačem a přijímačem.

Mezi problematické příslušenství nacházející se v nemocničních zařízeních patří zejména samotné konstrukce nemocničních lůžek, vybavení jako jsou infuzní stojany, držáky kyslíkových lahví, případně nábytek z ocelového plechu.

Jednoznačně je nutné při veškerých měření počítat právě s takovýmto nemocničním vybavením a na základě výsledků následně některé vybavení, jež zásadním způsobem ovlivňuje funkci systému a není bezpodmínečně nutné pro provoz pokoje, zakázat.

### 5.2.3 Zpracování vysílače

Vysílací strana systému obsahuje patchovou anténu a celé zařízení je nutné vybavit baterií. Principem využití je umístění vysílače na stěnu do středu parkovací pozice lokalizovaného lůžka. Podstatnou částí následujících měření bude v případě vysílače zejména definování výšky umístění středu antény nad zemí.

### 5.2.4 Zpracování přijímače

Přijímací strana systému, jež se bude starat o příjem jedinečných lokalizačních informací, bude s jistotou umístěna na čele lůžka na straně hlavy pacienta. V úvahu připadá celá řada umístění, která mohou být pro daný účel využita. V konečném důsledku je však finální umístění velice závislé na výsledcích měření. Z tohoto důvodu bude měření probíhat v různých kombinacích umístění jak přijímací, tak vysílací části systému. V úvahu přichází zejména umístění přijímače na podvozku nemocničního lůžka, případně na ložné ploše za jednou z plastových rolen, jež chrání lůžko proti mechanickému poškození. Ač se také nabízí umístění přijímače do hlavové postranice na straně lůžka přiléhající ke stěně, které by mohlo dle teoretických předpokladů poskytnout kvalitní výsledky, není možné tohoto způsobu umístění využít. Hlavním důvodem je zejména nutnost zachování odnímatelnosti čelové postranice. Tento požadavek plyne z nutnosti nenarušit stávající funkce lůžka zástavbou nového systému lokalizace nemocničních lůžek. Tento předpoklad by přicházel v úvahu pouze v případě, kdy by byla vhodným způsobem zajištěna propojitelnost signálových a napájecích vodičů přes vhodně

dimenzované konektory. V praxi však toto řešení může vytvářet celou řadu komplikací, které mohou být zásadní například ve vztahu k oxidaci zmíněných konektorů a značné celkové komplikaci řešení závad formou troubleshootingu. Zásadním negativem je i nefunkčnost lokalizace na lůžku s odejmutým dílem postranice, což dle zkušeností není nikterak nestandardní stav. Obsluha tuto možnost volí v některých případech z důvodu usnadnění přístupu k pacientovi, zejména se s tímto fenoménem můžeme setkat na jednotkách intenzivní péče.

### 5.2.5 Měření sytému rádiového přenosu

Měření systému lokalizace nemocničních lůžek založeného na rádiovém přenosu probíhalo podobně jako v předchozích případech za využití prototypu zkonstruovaného externí firmou. Prototyp byl složen z přijímače a vysílače, mezi kterými při testování probíhala bezdrátová jednosměrná komunikace na mikrovlnné frekvenci.

Prvním bodem měření bylo určení pozice vysílače a přijímače. Zásadním parametrem v případě vysílače byla zejména výška patchové antény nad zemí. Zatímco v případě přijímače bylo stěžejním bodem nalézt ideální pozici na samotném lůžku. Avšak vzhledem k širokému spektru možných pohybů, kterými jsou laterální, či předozadní náklony, viz Obrázek 3 - Vizualizace laterálního náklonu ložné plochy lůžka Multicare, není umístění přijímače jednoduchou záležitostí.

Obrázek 3 - Vizualizace laterálního náklonu ložné plochy lůžka Multicare[7]

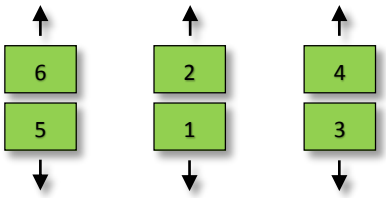
Zejména v částech ložné plochy vzdálených od středu osy otáčení dochází při laterálních náklonech k opisování kružnice. V případě umístění přijímače na takto exponovaná místa může dojít ke značné nekonzistenci výsledků. Zejména proto, že vysílač může být zásadním způsobem vychýlen mimo ideální oblast příjmu. Podobné principy platí i v případě takzvaného náklonu Trendelenburg, či Anti-Trendelenburg,

[7] Zdroj: Linet. Multicare [online]. 2015 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: http://www.multicarebed.com/en/download/

tedy polohováním, kdy je hlavová část lůžka pozicována níže nežli opačná strana, či naopak.

I přes veškeré tyto nevýhody bylo první měření provedeno s umístěným přijímačem za stranovou rolnou pod plastovým dílem na levé hraně ložné plochy lůžka z pohledu pacienta. Plastový díl umožnil uschovat celou elektroniku přijímače. Tudíž také nedocházelo k narušení současného designu lůžka.

První měření probíhalo v prázdné místnosti, do které bylo umístěno celkem 6 aktivních vysílačů simulujících 6 parkovacích pozic umístěných k jedné pomyslné stěně. Modelovou situaci lze přesněji prohlédnout, viz Obrázek 4 - Modelová situace umístění vysílačů pro účely testování lokalizace.




Obrázek 4 - Modelová situace umístění vysílačů pro účely testování lokalizace

Vzdálenost mezi lůžky během testu činila 1700 mm a vysílače byly umístěny středem antény 500 mm nad zemí. První testy byly prováděny s lůžkem v takzvané bezpečné pozici, jež je definována jako nejnižší vertikální pozice lůžka se zdvihnutými postranicemi. Měření spočívalo v pohybování lůžka po čtverci o hraně 1000 mm se středem ve středu parkovací pozice číslo 1. Přijímaná data byla zobrazována na počítači a zapisována. Předpoklad měření byl takový, aby lůžko náležící parkovací pozici číslo jedna při pohybu v rámci onoho čtverce vždy detekovalo vysílač číslo jedna jako nejsilnější.

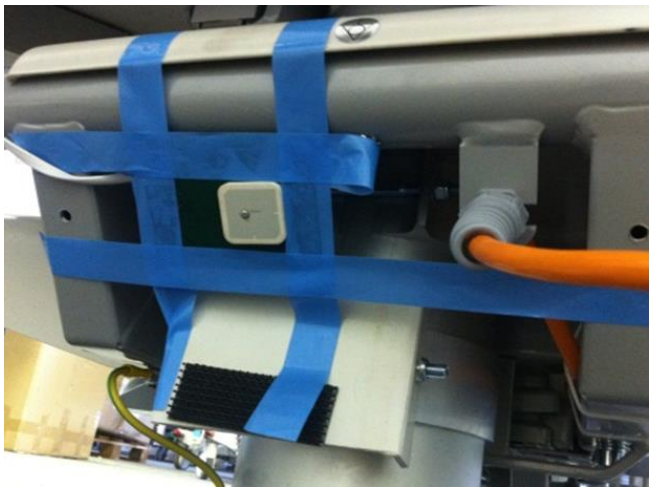
Při měření za definovaných podmínek bylo lůžko úspěšně detekováno ve všech pozicích, krom pozice 500 mm vpravo při nulové vzdálenosti lůžka od stěny. V tomto případě byl detekován jako nejsilnější vysílač číslo 3. Tento fakt je logický vzhledem k umístění přijímače na lůžku a pozici vysílače číslo tři. Při dalších měřeních se tento problém opakoval a v případě testování za přítomnosti plechového nábytku a infuzních stojanů, případně různých náklonů ložné plochy lůžka, dále prohluboval.

Přesto však hlavní oblastí nefunkčnosti byla právě pravá strana parkovací pozice při pohledu zpředu. Nabízela se tedy možnost využití dvou přijímačů pro jedno lůžko, jež by byly umístěny na opačných stranách ložné plochy. Dle teoretických předpokladů

by toto řešení mohlo být velice úspěšné, avšak vzhledem k patentovým omezením jej nebylo možné využít. Z tohoto důvodu bylo od řešení ustoupeno bez praktického testování a umístění přijímače na ložné ploše lůžka prohlášeno za nespolehlivé, načež bylo nutné zvolit umístění jiné.

Dalším možným umístěním přijímače v rámci lůžka je samotný podvozkový rám, který disponuje velkou výhodou oproti předchozímu řešení, kterou je fakt, že při polohování lůžka stále zachovává stejnou absolutní pozici. Přijímač na něm umístěný bude tedy nezávislý na polohování lůžka.

Konečnou pozici umístění přijímače pro účely testování lze pozorovat, viz Obrázek 5 - Zkušební umístění rádiového přijímače na podvozku lůžka Multicare, jedná se o stranu lůžka, která je orientována směrem ke stěně parkovací pozice.



Obrázek 5 - Zkušební umístění rádiového přijímače na podvozku lůžka Multicare[8]

Měření s takto pozicovaným přijímačem probíhalo za stejných podmínek jako předchozí měření. Nejprve došlo k ověření vlivu polohování na konzistenci výsledků. Tento test dopadl velice dobře a podařilo se potvrdit předpoklad, že různé polohování lůžka nemá zásadní vliv na přijímaný signál.

Po tomto ověření bylo možné provést další měření, ve kterém budou tentokrát zaznamenávány síly signálů z jednotlivých vysílačů pro konkrétní pozici lůžka.

[8] Zdroj: Linet spol. s r.o.

Naměřená data lze pozorovat, viz Tabulka 1 - Výsledky měření rádiového přenosu s přijímačem na podvozkovém rámu. V této tabulce jsou přehledným způsobem zaznamenána naměřená data pro pozice lůžka 400 a 500 mm do každé strany parkovací pozice. Hodnoty pro pozici lůžka ve středu parkovací pozice nejsou uvedené, neboť tato měření byla vždy vyhovující. Síla signálu zpracovávaná zařízením se pohybovala na škále 0 až 100, přičemž předpokladem je přiřadit lůžko vždy k nejsilnějšímu vysílači. Tento parametr je v tabulce vzestupně označen barevnou škálou zelené, kde platí, že čím vyšší hodnota, tím sytější zelená barva. Toto označení je doplněno zvýrazněním nejvyšší hodnoty červeným rámcem pro usnadnění orientace.

| | -50 cm | | | | | | -40 cm | | | | | | 40 cm | | | | | | 50 cm | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vysílač č. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 mm | 39 | 35 | 38 | 46 | 25 | 26 | 37 | 43 | 32 | 35 | 28 | 12 | 30 | 30 | 24 | 30 | 39 | 39 | 42 | 37 | 26 | 32 | 43 | 32 |
| 200 mm | 46 | 35 | 32 | 39 | 25 | 13 | 49 | 36 | 36 | 42 | 31 | 26 | 43 | 32 | 26 | 31 | 31 | 32 | 41 | 34 | 27 | 28 | 33 | 32 |
| 400 mm | 46 | 34 | 31 | 33 | 28 | 16 | 50 | 43 | 28 | 35 | 31 | 32 | 38 | 42 | 28 | 26 | 33 | 24 | 41 | 32 | 28 | 28 | 31 | 31 |
| 600 mm | 34 | 35 | 24 | 34 | 27 | 27 | 41 | 38 | 32 | 39 | 23 | 33 | 42 | 34 | 27 | 27 | 31 | 26 | 43 | 38 | 25 | 26 | 22 | 7 |
| 800 mm | 40 | 32 | 16 | 32 | 17 | 27 | 41 | 32 | 24 | 31 | 28 | 26 | 49 | 31 | 26 | 26 | 29 | 28 | 45 | 38 | 20 | 27 | 20 | 7 |
| 1000 mm | 43 | 29 | 26 | 27 | 30 | 26 | 43 | 30 | 31 | 33 | 28 | 21 | 44 | 32 | 19 | 27 | 23 | 24 | 44 | 32 | 23 | 23 | 24 | 15 |

Tabulka 1 - Výsledky měření rádiového přenosu s přijímačem na podvozkovém rámu

Na základě těchto dat lze definovat celkem tři až čtyři problematická místa, na kterých dochází k nesprávnému přiřazení. Přesto, že měření bylo prováděno opakovaně, nedošlo nikdy k naměření zásadně lepších výsledků.

Po celé řadě testů a úprav, jako například odstínění zadních částí vysílačů, byl následně identifikován problém způsobující přeslechy vysílačů. Důvodem byl odraz vyslané vlny protilehlého vysílače od stěny, či kovové konstrukce lůžka v druhém pokoji, jež byla následně přenesena skrz stěnu a v některých případech stranového polohování lůžka tak dosahovala vyššího signálu nežli vysílač konkrétní parkovací pozice, ke které lůžko náleželo. Tento jev byl vypozorován na základě změn dispozic na druhé straně stěny a byl zcela opakovatelný.

Závěrem tohoto měření je tedy fakt, že vzhledem k odrazům z vedlejších pokojů je tento způsob řešení lokalizace nemocničních lůžek nespolehlivý, zejména z důvodu hrozícího chybného přiřazení lůžka do zcela jiného nemocničního pokoje.

## 5.3 Infračervený přenos

Velice známým druhem přenosu dat je právě přenos pomocí infračerveného záření, tedy záření na vlnových délkách 760 nm až 1 mm, jež jsou pro lidské oko nepostřehnutelné. Klasickým příkladem tohoto přenosu je například ovladač na televizor. Podobný princip využití se zamýšlí právě i pro onu lokalizaci nemocničních lůžek.

### 5.3.1 Základní princip

Podstatou tohoto řešení, je využití aktivního vysílače a přijímače, mezi nimiž bude probíhat jednostranná komunikace od vysílače k přijímači pomocí principu infračerveného přenosu. Vysílací část bude sloužit jako jednoznačný identifikátor konkrétní parkovací pozice a tuto jedinečnou informaci bude přenášet jednou za definovaný časový úsek.

Přijímací část bude umístěna na lůžku a na základě zpracování přijatých informací bude po odeslání dat z lůžka možné na straně serveru ono lůžko lokalizovat v rámci nemocničního zařízení.

Oproti ostatním řešením zde dojde díky využité technologii k absolutní eliminaci přeslechů vysílačů mezi jednotlivými pokoji vlivem prostupu signálu skrz stěny pokojů. Na druhou stranu však již nebude možné měřit sílu signálu a tedy na základě těchto dat lokalizování zpřesnit. Problematické mohou být zejména stavy, kdy lůžko bude mimo svou osu směrem k vedlejší parkovací pozici. Další komplikací může být také znečištění optické cesty a z toho plynoucí omezení. Všechny tyto poznatky jsou však zadáním pro důkladné měření, které zevrubně otestuje konkrétní princip a poskytne možnost informovaného rozhodnutí, zda tento princip zvolit, či nikoli.

### 5.3.2 Analýza prostředí

Jak již bylo řečeno, důležitým předpokladem pro funkci systému založeného na využití infračerveného záření, je čistota optické trasy. Zachování čistoty nemocničního zařízení však v praxi vždy není snadné, neboť v nemocnicích je velké množství zdrojů znečištění, jež jsou mírněny používáním celé řady desinfekčních prostředků v mnoha

případech velice agresivních. Dostáváme se tak do podobné situace jako u zařízení pro čtení čárových kódů, případně QR kódů. S tím rozdílem, že toto řešení nebude na znečištění natolik choulostivé, neboť jak vysílací, tak přijímací část systému je aktivní. Přesto nesmí být opomenuta ani odolnost vnějších dílu proti zmíněným desinfekčním prostředkům.

Kromě zdrojů znečištění a řady agresivních chemikálií prostředí nemocničního zařízení také skýtá další možné riziko pro systém založený na principu infračerveného přenosu. Tímto rizikem je slunce, případně zdroje bílého světla. Pokud takovéto záření bude dopadat přímo na přijímač systému, v některých případech může dojít k takzvanému přehlcení a nakonec tedy kompletnímu výpadku. Lůžko by v tento moment nebylo schopné přijímat žádná lokalizační data. I tyto předpoklady bude nutné ověřit praktickým měřením a v případě potřeby vhodným řešením potíže eliminovat, případně snížit na minimum.

### 5.3.3 Zpracování vysílače

Vysílací část systému lokalizace využívající infračerveného přenosu má mnoho výhod, které byly již popsány, nicméně existuje jedna nevýhoda oproti rádiovému přenosu. Touto nevýhodou je omezený vyzařovací úhel, který nabízí běžná LED dioda. Běžně nabízené diody tohoto typu mají vyzařovací úhel mezi 20 až 40°. Přichází tedy na řadu otázka, zda dioda s takovýmto vyzařovacím úhlem je schopna dostatečným způsobem šířit jedinečné identifikační údaje nutné k lokalizaci po celé parkovací pozici lůžka. Odpovědí na tuto otázku je bohužel NE. V případě jedné diody s velkým vyzařovacím úhlem umístěné na přední straně vysílače bude docházet k perfektnímu kontaktu vysílač - přijímač v případě správně pozicovaného lůžka. Avšak v případě lůžka posunutého mimo osu parkovací pozice za současného pozicování blízko stěně se přijímač lůžka bude nacházet mimo vyzařovací pole diody. Lůžko v tomto případě nebude možné lokalizovat.

Vzhledem k tomu, že tato pozice lůžka není nikterak nezvyklá, je třeba pro tuto situaci nalézt progresivní řešení. Řešením tohoto problému je použití stranových diod. Konkrétní vysílač bude tedy vybaven jednou IR diodou vpředu a dvěma po stranách. Každá tato dioda bude vysílat jedinečnou identifikační značku konkrétního vysílače a zároveň identifikační značku konkrétní LED diody v rámci onoho vysílače. Tento způsob

zajistí pokrytí oněch slepých míst a zároveň poskytne další vodítka pro informovaná rozhodnutí v případě komplikovaných pozicování, jako je stav, kdy je lůžko pouze částí svého půdorysu na parkovací pozici. V tomto případě totiž může docházet k zapojení vysílačů z dalších parkovacích pozic. Předpoklad je však takový, že dokud bude lůžko patřit fyzicky na konkrétní parkovací pozici, bude možné zachytit alespoň dvě vysílací diody v rámci jednoho vysílače. Pokud tedy budou okolní vysílače zastoupeny pouze jako jeden ze tří, je možné je následně ignorovat. Detailnější nastavení však může v budoucnu záležet spíše na požadavcích a dispozicích konkrétního nemocničního zařízení, do kterého bude kompletní systém lokalizace nemocničních lůžek instalován.

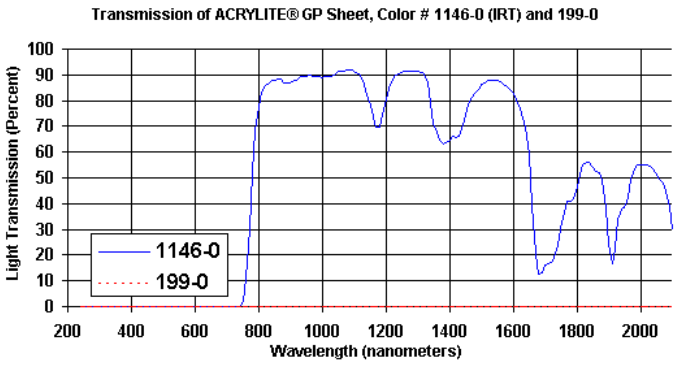
### 5.3.4 Zpracování přijímače

Přijímací strana celého systému bude primárně připojena do integračního modulu lůžka a bude zpracovávat signál, který přichází z vysílačů od jednotlivých parkovacích pozic určených pro nemocniční lůžka. Na základě přednastavených pravidel definovaných na serverové straně systému dojde k rozpoznání detekované parkovací pozice a jejímu zobrazení. Hlavní součástí tohoto přijímače je IR přijímací dioda. Tuto součástku a celý plošný spoj je třeba chránit jak před mechanickým, tak před chemickým namáháním, či nadbytečným osvětlením mimo pracovní spektrum. Tento postup bude detailně popsán, viz kapitola 5.3.5 Zajištění optické konzistence.

Samotný přijímač bude umístěn fixně na lůžku, tak aby nebránil stávajícím funkcím. Vzhledem k trvalému připojení této části systému na napájení lůžka, není nutné v přijímací části počítat s napájením z baterie. V důsledku čehož odpadá celá řada starostí.

### 5.3.5 Zajištění optické konzistence

Pro zajištění optimálních výsledků a eliminaci nežádoucích vnějších vlivů je třeba citlivou elektroniku jak přijímače, tak vysílače vhodně chránit. Za tímto účelem bylo zvoleno speciální filtrační plexi, jež dokáže propustit pouze vlnové délky náležící do pásma infračerveného záření. Detailní charakteristiku vlastností onoho filtračního prvku, který může být včleněn jak do vysílací, tak do přijímací části systému, je možné pozorovat, viz Obrázek 6 - Propustnost jednotlivých vlnových délek speciálním plexisklem. Na tomto obrázku je možné pozorovat na ose x konkrétní vlnové délky v nm, a na ose y informaci ohledně jejich konkrétní propustnosti definovaným plexisklem. Z obrázku je patrné, že právě na hranici přibližně 760 nm začíná docházet k propouštění infračerveného záření. Tento přechod je znatelně ostrý, díky čemuž bude možné odfiltrovat značnou část viditelného záření.




Obrázek 6 - Propustnost jednotlivých vlnových délek speciálním plexisklem[9]

Na základě prvotních testů s takto definovaným plexisklem došlo k zajištění lepší detekovatelnosti jednotlivých vysílačů. Tento závěr byl učiněn ještě před výrobou prototypu na testovacím vzorku. Nelze však říci, že došlo k úplné eliminaci rušivých vlivů, jako jsou ostré sluneční paprsky, nebo přímý svit zářivkového světla. Tento vliv byl omezen, avšak ne zcela eliminován. Z podstaty věci však lze usoudit, že při praktickém využívání tohoto systému k podobně extrémním případům bude docházet velice zřídka. Přenos dat by dle testů neměl být ovlivněn ani zářivkovým světlem

[9] Zdroj: EPLASTICS. IR pass plexiglass [online]. 2015 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: http://www.eplastics.com/Plexiglass_Acrylic_Sheet_Infrared_Transmitting

umístěným nad čelem lůžka. K výpadkům dochází až při bezprostředním kontaktu zdroje světla s přijímačem.

### 5.3.6 Měření systému infračerveného přenosu

Podobně jako v předchozích případech, tak i v případě lokalizace za použití IR záření byl pro účely testování vyroben externí firmou zkušební prototyp. Ten byl vyroben na základě předpokladů, které byly rozepsány v předchozích kapitolách.

Účelem následných měření s těmito prototypy je definovat nejprve rozsah jednoho vysílače ve vztahu k jedné parkovací pozici lůžka a stanovit velikost předřadného odporu umístěného před IR LED vysílací diodu. Tento krok je důležitý vzhledem k nutnosti vhodným způsobem nakládat s energií uloženou v bateriích vysílačů. Výsledná intenzita svitu je závislá na velikosti onoho odporu, a tudíž souvisí i s výdrží baterie. Dále je také třeba otestovat, zda pro lokalizaci většího počtu lůžek nežli jednoho v rámci jedné místnosti postačí použití jednoho vysílače pro parkovací pozici, či bude nutné využít vysílačů více.

První měření probíhalo v prázdné místnosti a testovalo nezávisle dva vysílače s rozdílným předřadným odporem. Vysílač byl umístěn na stěnu středem diody 200 mm nad zemí. Před vysílačem bylo definováno obdélníkové parkovací místo pro lůžko o rozměrech 1000 x 2000 mm kratší stranou u stěny, tak aby byl vysílač ve středu parkovací pozice. Měření využívalo počítače, který zobrazoval probíhající komunikaci a tedy přijímaná data přijímačem umístěným na podvozku lůžka. Na základě těchto dat bylo možné stanovit hranici, ve které se signál ztrácí. Měření bylo provedeno hned několik a je možné je pozorovat, viz Tabulka 2 - Funkční rozsah systému lokalizace založeného na IR principu.

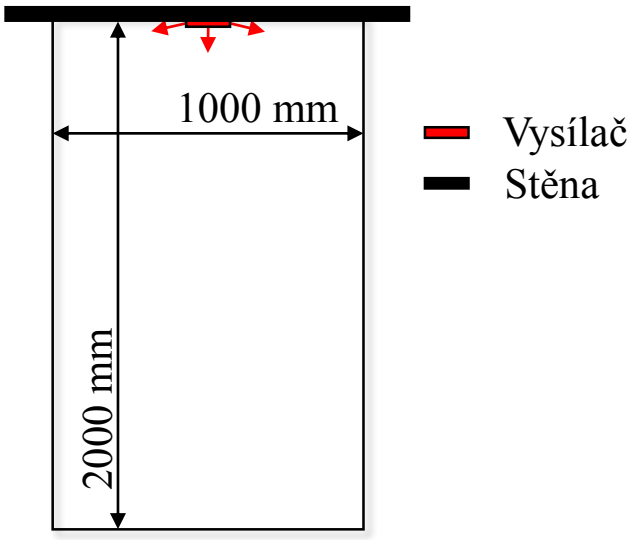
| | Verze prototypu | I. | II. |
|---|---|---|---|
| | Hodnota předřadného odporu prototypu | 91,3 Ohm | 90,5 Ohm |
| Mez ztráty signálu od vysílače pro konkrétní předřadný odpor [mm] | v ose parkovací pozice | 2600 | 3100 |
| | posun do obou stran, lůžko u stěny | 900 | 1100 |
| | posun do obou stran, lůžko 500 mm od stěny | 1500 | 1600 |
| | posun do obou stran, lůžko 1000 mm od stěny | 1750 | 1200 |
| | posun do obou stran, lůžko 2000 mm od stěny | 500 | N/A |
| | posun do obou stran, lůžko 2800 mm od stěny | N/A | 500 |

Tabulka 2 - Funkční rozsah systému lokalizace založeného na IR principu

V první řadě bylo vždy změřeno, jak daleko v ose lůžka je možné detekovat signál. Tyto hodnoty dopadly pro oba druhy vysílačů velice uspokojivě. Dalším bodem měření bylo zjistit pro různé vzdálenosti od stěny, jak daleko je možné přesunout lůžko mimo osu parkovací pozice, aniž by došlo ke ztrátě signálu. Na základě výsledných dat lze konstatovat, že nejzazší pozice lůžka, ve které je stále přijímán signál z vysílače vytváří jakýsi více úhelník, který rozšiřuje svou šíři se vzdáleností od stěny. Toto rozšíření je dáno zejména využitím bočních vysílačů v kombinaci se zorným úhlem přijímací IR LED diody. Znatelné zúžení však lze nalézt zejména u stěny, v případě pozicování lůžka do strany. V tomto případě ani boční vysílače nepomohou vzdálenost příliš zvětšit, neboť zorný úhel přijímače je již mimo oblast vizuálního kontaktu vysílač - přijímač. I přesto však jsou naměřené hodnoty velice dobré a ani v případě lůžka v pozici přímo u stěny se nejedná o problém, který by prohlásil systém za nepoužitelný.

Je patrné, že výsledky prototypu číslo II jsou do jisté míry lepší nežli I. prototypu, přesto byl nakonec pro finální použití zvolen prototyp I. Toto rozhodnutí bylo učiněno zejména z důvodu vyšší úspory baterie a také proto, že pokrytí parkovací pozice signálem tímto prototypem je zcela postačující. Použití vysílače s vyšší spotřebou by za současných podmínek nepřinášelo žádnou přidanou hodnotu.

Závěrem tohoto měření lze tedy jednoznačně považovat tento systém za plně funkční ve vztahu lokalizace jednoho lůžka v rámci jednoho nemocničního pokoje. Některé nemocniční zařízení však požadují zavedení lokalizace do pokojů obsahujících větší počet lůžek.




Obrázek 7 - Umístění IR vysílače ve vztahu k definované parkovací pozici lůžka

Pro řešení takovéhoto požadavku bylo provedeno další měření. Místem realizace byla stejná místnost jako v předchozích případech s několika zásadními změnami. Každá parkovací pozice byla 1000 mm široká a na svých krajních částech byla vybavena dvěma vysílači umístěnými opět středem vysílací diody 200 mm nad zemí. Mezi krajními vysílači byla vždy vzdálenost 2000 mm. Po praktické realizaci měření došlo ke zjištění bezvadné funkčnosti, avšak z důvodu dvojnásobných nákladů na vysílací část a značné komplikování situace detekce chyb a přesnosti lokalizace v případě nefunkčnosti jednoho vysílače bylo od tohoto řešení odstoupeno.

Vzhledem k nutnosti funkce lokalizace v pokojích obsahujících větší množství lůžek bylo nutné nalézt funkční řešení, které však nebude natolik finančně náročné. Nabízelo se tedy využití dosavadního vybavení s předpokladem umístění lůžek alespoň 2000 mm od sebe. Při takovéto dispozici lze říci, že pokud je detekován přední a jeden stranový vysílač v rámci jednoho vysílače, je možné lůžko lokalizovat k parkovací pozici náležící detekovanému vysílači. Tento předpoklad je závislý zejména na omezeném stranovém vyzařování přední vysílací diody. V případě, kdy lůžko detekuje pouze krajní vysílače dvou různých parkovacích pozic, nedojde k přiřazení, jelikož se lůžko ve skutečnosti nachází na rozhraní mezi dvěma parkovacími místy. Ve skutečnosti by tedy přiřazení neodpovídalo skutečnosti.

Závěrem všech těchto měření lze tedy říci, že byla potvrzena zcela vyhovující funkčnost lokalizace a to ať pro případ jednoho, tak pro více lůžek v jednom konkrétním nemocničním pokoji.

# 6 Finálně zvolený základní princip

Na základě prvotní volby nejlepších možných teoretických principů bylo ve fázi vývoje nového systému několik z nich také prakticky testováno pomocí vyrobených prototypů. Na základě měření, která byla prováděna ve většině případů autorem této práce, bylo možné učinit rozhodnutí, a zvolit výsledný základní princip.

Nejlepších výsledků, zejména díky nízké míře přeslechů mezi jednotlivými vysílači je princip infračerveného přenosu lokalizačních dat. Výsledky naměřené na prototypech byly velice uspokojivé a bez nadsázky lze tvrdit, že tento princip může být bez problémů nasazen do plné činnosti.

Přesto, že systém se zdá být velice precizní a spolehlivý, před finální verzí musí ještě překonat několik zásadních milníků. Jedním z nich je vhodné uložení do krabiček odolných jak mechanickému, tak chemickému namáhání, zajištění odolnosti proti tekutinám, zhodnocení životnosti použitých baterií, dokončení softwarové stránky na straně serveru, validaci finálního produktu, zařazení do sériové výroby a v neposlední řadě vytvoření podrobného vývojového diagramu sloužícího pro detekci závad. Veškeré tyto body popíši v dalších kapitolách této práce.

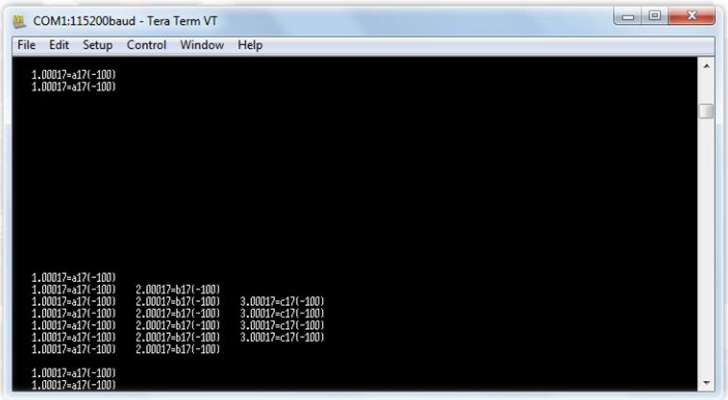
# 7 Serverová část

Bez ohledu na finálně zvolený základní princip funkce lokalizace mohl být paralelně vytvářen software, jenž bude v budoucnu umístěn na centrálním PC, případně serveru a jehož hlavním úkolem bude převést surová data získaná z přijímače umístěného na lůžku do čitelné podoby, která bude uživatelsky přívětivá a zajistí snadnou a pohodlnou správu proškoleným personálem.

Dalším cílem softwarové stránky věci je nastavení základních předpokladů, kam bude lůžko lokalizováno v případě sporných případů, jak dlouho bude trvat, než lůžko změní stav z přítomného na nepřítomné a opačně. Spousta těchto vlastností závisí na konkrétních nastaveních pro dané nemocniční zařízení, ve kterém bude systém lokalizace využíván a nelze tedy definovat jedno jediné správné řešení. V praxi bude po úspěšném nainstalování systému do nemocničních prostor třeba provézt validaci kompletní funkčnosti a v případě potřeby právě na serverové části vytvořit drobné úpravy, které zajistí spolehlivý a bezproblémový provoz.

## 7.1 Typově přenášená data

Lokalizační data jsou přenášena prostřednictvím integračního modulu lůžka do sítě nemocničního informačního systému, a jejich přenos je možné zobrazit pomocí síťového terminálu, viz Obrázek 8 - Zobrazení aktuálně přijímaných lokalizačních značek pomocí terminálu.




Obrázek 8 - Zobrazení aktuálně přijímaných lokalizačních značek pomocí terminálu[10]

[10] Zdroj: Linet spol. s r.o.

Tato surová podoba dat byla využita ve fázi měření přesnosti systému lokalizace za využití rádiového a infračerveného přenosu. Zobrazení detekovaných lokalizačních značek zde probíhá v reálném čase a nejaktuálnější hodnoty jsou umístěné vždy na posledním řádku. Kódování dílčích záznamů, jež jsou vypisovány do řádků, dodržuje striktní formát, ze kterého je podstatných prvních šest znaků oddělených tečkou. Obecně tedy „X.000YY“, kde pozice X definuje vysílací diodu konkrétního vysílače. Může tedy nabývat hodnot od jedné do tří. Značení začíná levou diodou při pohledu na vysílač zpředu. Další podstatná hodnota je umístěna na pozici označené YY, a určuje, o který nástěnný vysílač se jedná.

Tento konkrétní příklad je záznamem ze skutečného měření lokalizace na principu infračerveného přenosu. V případě měření ostatních principů byla přenášená data odlišně formátována, nicméně základní princip byl stejný.

Na základě všech těchto informací bylo ve fázi ověřování dílčích způsobů lokalizace možné vytvářet informovaná rozhodnutí nad přesností konkrétního testovaného řešení. Pro finální předání zákazníkovi však tento způsob jednoznačně nelze považovat za dostačující. Nejen z tohoto důvodu tedy byl vyvinut také přehledný grafický systém. Jeho úkolem je surová data transformovat do uživatelsky přívětivé podoby, ihned po jejich vhodném předání do informačního systému nemocničního zařízení.

# 8 Životnost baterie vysílače

Využití aktivních vysílačů pro účely systému lokalizace poskytuje velkou přidanou hodnotu co do přesnosti a rychlosti celé lokalizace. Bohužel z důvodu složitých zástavbových řešení v rámci nemocničních zařízení je velice komplikované a v některých případech téměř nemožné ony vysílače napájet energií z rozvodné sítě. Na řadu tedy přichází použití baterií, které poskytnou potřebnou energii. Využití baterie však vytváří celou řadu omezení, ke kterým je třeba přistupovat důsledně.

Jedním takovým omezením je například celková životnost daného bateriového článku. Přesto, že konkrétní baterie například není nikterak využívána, vždy v této baterii dochází vlivem celé řady faktorů, jako vnitřní odpor baterie, teplota a vlhkost prostředí k postupnému vybíjení článku. Pro omezení tohoto fenoménu a zároveň pro výhodnější nákupní cenu byla vybrána pro zpracování prototypů baterie na bázi lithia. Obecně lze totiž říci, že tyto články jsou daleko méně náchylné na ono samovybíjení. Za těchto okolností se může statická životnost baterie pohybovat okolo osmi let. Při jejím použití však tato doba bude vždy nižší. Mezní doba životnosti baterie, a tedy i celého vysílače jako produktu firmy, byla stanovena na pět let, zejména z důvodu omezení záručních servisních zákroků a přispění konečnému uživatelskému komfortu.

Pokud je tedy nutné této životnosti dosáhnout, je třeba s energií uloženou v baterii rozumně hospodařit. Je možné jednoznačně říci, že nebude prakticky realizovatelná možnost stálé činnosti tohoto zařízení, jež by měla za následek rychlé spotřebování energie baterie v horizontu přibližně jednoho roku. Naopak je třeba hledat pokročilé způsoby, kterými by bylo možné životnost baterie co nejvíce prodloužit.

Pro řešení tohoto problému je nutné přistupovat na určité kompromisy týkající se přesnosti a zejména rychlosti výsledné lokalizace. Na řadu přichází zejména prodloužení doby mezi jednotlivými vysílanými značkami. Tato úprava podstatně prodlouží životnost baterie oproti případu, kdy jsou značky posílány bezprostředně za sebou. Zde však může docházet zejména k poklesu rychlosti systému reagovat na konkrétní změnu pozice lokalizovaného lůžka. Pro zachování rychlosti se nabízí řešení, které je však v konfliktu se současnými patenty. Jak již bylo popsáno v kapitole číslo 3 Patentová problematika, kde lůžko může vysílat informaci ohledně potřeby vlastní lokalizace, načež dochází ke zkrácení pauz mezi vysílanými značkami. Tento způsob uspoří zásadním způsobem energii, aniž by snížil rychlost systému. Bohužel z důvodu patentové ochrany tohoto

způsobu nelze využít. Možným řešením tedy zůstává prosté prodloužení oněch intervalů pro vytvoření rozumného kompromisu mezi spotřebou energie a rychlostí lokalizace.

Posledním faktorem, který je třeba v souvislosti s životností baterií ve vysílačích vzít v úvahu, je vliv svítivosti IR LED diod na funkci lokalizace. Postupným ztrácením kapacity baterie dochází k poklesu jejího napětí. Tento pokles má za následek i pokles proudu tekoucího samotnou diodou, jelikož je před diodou stále stejný předřadný odpor. Na konci životnosti vysílače je tedy možný stav, kdy zařízení bude stále funkční, avšak v důsledku nízkého vyzařovacího výkonu již nebude schopné informaci přenést do přijímače na nemocničním lůžku. Tento stav bude nastávat ve fázi dožití přístroje a v některých případech by mohl způsobovat jen občasnou nefunkčnost, jež bude impulsem pro následnou výměnu, třeba i v důsledku identifikace závady na základě zde popsaného postupu řešení závad, viz kapitola 11 Řešení problémů (Troubleshooting).

## 8.1 Předinstalační opatření

Pro maximální úsporu baterií umístěných ve vysílačích je nasnadě, aby zařízení bylo do poslední chvíle před spuštěním celého systému vypnuté a k jeho zapnutí došlo až ve chvíli po jeho instalaci společně s celou funkcionalitou systému lokalizace nemocničních lůžek. V opačném případě by v důsledku skladování nebo dlouhého převozu docházelo ke zbytečnému vybíjení baterií, což by v konečném důsledku způsobovalo vícenáklady.

Nabízí se tedy využití přepínače umožňujícího daný vysílač zapnout nebo vypnout. Po krátké úvaze však tento předpoklad naráží na problém. Zařízení by mohlo být v případě použití takovéhoto přepínače vyřazeno krátkodobě z provozu zvědavci, jež zkoumají účel onoho zařízení.

Další možné řešení může být spínač, který po prvním stisknutí již neumožní vypnutí. Zkrátka stisknutí onoho spínače se běžně provede jednou za celou životnost celého přístroje. Zapojení tohoto spínače do krabičky vysílače však do jisté míry poškozuje jeho IP krytí, které je důležité pro stálost a spolehlivost zařízení. Je tedy nutné využít podobného principu, aniž by docházelo ke zbytečnému poškozování celistvosti krabičky vysílače. Jedním z možných řešení je využití magnetického spínače, jež obsahuje dva jazýčky, které se vlivem přiloženého magnetického pole propojí. Elektronika vysílače tak může toto propojení detekovat a spustit funkci zařízení bez

možnosti vypnutí. Jelikož pro vypínání zařízení již není žádný důvod. Zapnutí zařízení bude tedy inicializováno pouhým přiložením definovaného magnetu na definované místo krabičky.

# 9 Zástavba zařízení

Podstatnou částí vývoje nové funkcionality lůžka je její začlenění do stávajícího konceptu z pohledu bezpečnosti, mechanického namáhání, či designu. Všechna tato kritéria musí být zvážena tak, aby výsledný produkt nenarušoval stávající řešení, jejichž bude součástí.

Prostory nemocničních zařízení a valná většina přístrojů v nich provozovaných jsou velice často desinfikovány. Tento z pohledu zdraví pacientů a personálu nenahraditelný postup vytváří celou řadu rizik vedoucích k selhání elektrických zařízení.

V případě, kdy je lůžko desinfikováno personálem nemocnice a elektronika není dostatečně chráněna, může dojít k zatečení roztoku do konektorů, případně na desku plošných spojů. Snadno následně dojde ke zkratu a nefunkčnosti zařízení. Dalším rizikem je chemická povaha desinfekčního roztoku, který může nevhodným způsobem interferovat s různými druhy plastů a měnit tak jejich optické, či mechanické vlastnosti. Závažnost těchto rizik, tedy dává najevo nutnost soustředit se ve fázi zástavby zařízení na vhodná řešení omezující ona rizika.

Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, konečná podoba vyvíjeného zařízení disponuje mimo jiné dvěma podstatnými částmi, přijímací a vysílací. Každá z těchto částí vyžaduje odlišný přístup z pohledu zajištění zde definovaných kritérií odolnosti a designu.

## 9.1 Strana vysílače

Vysílací část je navržena tak, že je vždy umístěna na stěně uprostřed parkovací pozice lokalizovaného lůžka středem vysílací diody 200 mm nad podlahou. Již na základě těchto předpokladů lze usuzovat, že zařízení bude po dobu celé životnosti vystaveno vlhkému prostředí, zejména při každodenní desinfekci pokojů. Tento předpoklad tedy jasně definuje potřebu volby krabičky onoho vysílače s krytím alespoň IP 64, tedy krytím, které zajistí celkovou odolnost proti prachu a dle normy odolá stříkající vodě ze všech úhlů v množství 10 litrů za minutu při tlaku 80 - 100 kN/m2 po dobu alespoň 5 minut. Dle parametrů definovaných normou se může toto krytí jevit až příliš vysoké, avšak vzhledem k předpokladu, že vysílací část je vybavena baterií, jejíž výdrž je časově

omezena, je nutné využít každé možnosti k ochraně zařízení před vlhkostí. V opačném případě může dojít vlivem vniklé vlhkosti k třeba jen drobnému nárůstu spotřeby v důsledku oxidace. Následkem tohoto jevu nebude nefunkčnost zařízení, ale podstatné zkrácení životnosti. Pokud uvážíme, že zařízení jsou navržena tak, že po vybití baterie je nutné je celé vyměnit zařízením novým, tak vzhledem k nákladům a servisním nárokům takovýchto výměn není možné si dovolit podstatné zkrácení životnosti baterie.

Dalším klíčovým faktorem, který přímo nesouvisí s funkcí, avšak i přesto je pro firmu LINET velice důležitý, je designové zpracování. Současná podoba byla navržena firemním grafikem tak, aby se zařízení vhodným způsobem začlenilo mezi ostatní produkty. Stálost použitých nápisů na krabičce je zajištěna použitím kvalitního tampontisku, který je velice stálý a dle specifikací odolává chemickému složení celé řady desinfekčních prostředků. Konečnou podobu zařízení lze pozorovat, viz Obrázek 9 - Konečná podoba vysílací části zvoleného systému lokalizace. Vnější rozměry použité krabičky jsou 40 x 80 x 15 mm.

Obrázek 9 - Konečná podoba vysílací části zvoleného systému lokalizace[11]

## 9.2 Strana přijímače

Již ve fázi volby části lůžka, ve které bude přijímací část systému lokalizace nemocničních lůžek umístěna, docházelo ke střetům argumentů pro a proti. Do úvahy přicházela celá řada umístění, avšak finální pozicí přijímače se stala podvozková část u

[11] Zdroj: Linet spol. s r.o.

hlavy pacienta. Přesto, že se jedná o ideální místo z pohledu mechanické odolnosti a designového zapracování, je zde i celá řada problematických faktorů, které je nutné řešit.

Přijímací část je nutné ochránit proti vlivu vlhkosti a prachu, podobně jako vysílací část. Tato ochrana je realizována těsněním, které je strojově naneseno na IR propustné filtrační plexi, na nějž dosedá plastový břit krabičky s elektronikou. Celý tento skelet je pomocí torx šroubů stažen a tvoří kompaktní zatěsněnou soustavu. Těsnost není porušena ani v místě vstupu vodiče, který je vybaven těsnící průchodkou. Konečnou sestavu celého přijímače lze pozorovat, viz Obrázek 10 - Konečná podoba přijímací části zvoleného systému lokalizace. Konkrétní zpracování jednotlivých součástí je možné zhlédnout v samostatných přílohách tohoto dokumentu.

Obrázek 10 - Konečná podoba přijímací části zvoleného systému lokalizace[12]

Prvotní myšlenky ohledně umístění přijímače lokalizace uvažovaly umístění takové, při kterém nebude docházet po připojení do integračního modulu k přechodu datového vodiče mezi váženou a neváženou částí lůžka. Tento požadavek vzešel zejména z potřeby instalace lokalizace na stávající lůžka, neboť v případě vložení nového vodiče, který přechází váženou i neváženou část je třeba opětovně kalibrovat váhy lůžka. Obecně lze za váženou část lůžka považovat veškeré díly, které jsou montované nad tenzometry, které zajišťují měření hmotnosti. Zatímco nevážená část lůžka jsou v zásadě díly pod tenzometry. Přechod vodičů mezi těmito částmi lůžka je choulostivá záležitost, která vyžaduje precizní přístup, neboť v žádném případě nesmí docházet k pnutí vodičů, které způsobuje chybu měření. Avšak i v případě precizní montáže je vždy nutné rozpojit celou řadu svazků, do kterých se nový vodič vkládá, a právě i tyto zásahy ve výsledku nutí

[12] Zdroj: Linet spol. s r.o.

provézt onu kalibraci. Kalibrace vah spočívá ve vyskládání určeného množství závaží na ložnou plochu lůžka pro následné kalibrování přesně definovanou hmotností. Jak již bylo řečeno, prvotním předpokladem bylo vyhnout se tomuto problému, avšak vzhledem k nepraktičnosti možných umístění přijímače v rámci vážené části lůžka bylo nakonec zvoleno umístění na podvozku, i za cenu nutnosti kalibrace vah z důvodu přechodu vodiče mezi váženou a neváženou částí lůžka.

## 9.3 Validační měření po zástavbě na lůžko

Přesto, že ve fázi ověřování veškeré testy po celé řadě úprav dopadaly velice dobře, je po kompletní zástavbě zařízení bezpodmínečně nutné otestovat celý systém znovu a podrobit jej komplexním testům, ty pomohou odhalit případné problémy, které by mohly mít zásadní vliv na konečnou funkčnost.

Tento validační test byl prováděn podobně jako předchozí testy s prototypy, nyní však byly veškeré součásti na lůžku namontovány tak, jak je dostane předané konečný zákazník, nikoli pouze fixované v konkrétní pozici, jako tomu bylo v předchozích testech. Měření bylo prováděno v prostorné místnosti s lůžkem připojeným do sítě elektrické energie. Podstatou měření bylo zjistit, zda lůžko bude ve všech možných pozicích v rámci své parkovací pozice vždy přiřazeno k tomu konkrétnímu parkovacímu místu, na kterém se nachází alespoň 20% svého půdorysu. Prvním krokem měření bylo rozdělení oné parkovací pozice na síť o hraně čtverce 250 mm. Tato síť zajistila přesnou identifikaci konkrétní pozice lůžka, ke které bylo možné přiřadit konkrétní detekované vysílače, které byly umístěny na stěně 200 mm středem vysílací diody nad zemí s rozestupem 2000 mm. Použití většího množství vysílačů zajistilo představu o rušení signálem z okolních vysílačů a umožnilo stanovit pozice lůžka v rámci parkovací pozice s rizikem špatného přiřazení, jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách.

Výsledky tohoto měření do značné míry odpovídaly výsledkům naměřeným ve fázi testování, čímž bylo možné jednoznačně stanovit, že vytvořené prvky sloužící pro ochranu elektroniky jak před zatečením desinfekčních prostředků, tak před vniknutím prachu nebo cizích předmětů, nemají žádný vliv na celkovou funkčnost samotného systému.

Dobré výsledky umožnily do jisté míry uzavření vývoje hardwarové stránky systému lokalizace a vytvořily prostor pro dokončení softwarové stránky, která surová

data získaná z lůžek v rámci nemocničního zařízení bude předávat informačnímu systému v přehledné grafické formě, zajišťující uživatelskou přehlednost pro splnění definovaných vlastností systému.

Pro testování a přizpůsobení softwarové stránky systému byla část jedné ze zasedacích místností v rámci firemních prostor krátkodobě využita pro účely testování. Pro tento test byla plně připravena celkem tři lůžka Multicare, která byla umístěna do rohu místnosti, a každé dostalo přidělenou vlastní parkovací pozicí. V případě dvou lůžek se jednalo o pozice vedle sebe s osovou vzdáleností středů pozic 2000 mm, zatímco třetí lůžko bylo umístěné u vedlejší stěny, tedy 90° oproti ostatním. Toto nastavení simulovalo nejhorší možný stav, který může nastat. Finální ladění všech náležitostí tak mohlo být intuitivně prováděno dle informací zobrazených na PC, které bylo umístěno opodál v téže místnosti. Zároveň tento způsob testování umožnil podrobit systém dlouhodobému testu před nasazením do produkce. Nastavení serverové části však nelze považovat za zcela konečné a v budoucnu se může upravovat, neboť z jisté části závisí také na požadavcích konkrétního nemocničního zařízení, které bude lokalizaci využívat.

## 9.4 Sestavení montážního kitu

Následující krok po validaci nově vytvořeného systému je sestavení kompletního kitu obsahujícího veškeré potřebné části pro plnohodnotné užívání vyvinutého zařízení. Jmenovitě se tedy jedná o vysílací část, přijímací část, kabeláž vytvořenou přímo na míru a v neposlední řadě spojovací materiál pro upevnění dílčích částí. Důvodem sestavení takovéhoto kitu byla potřeba systém namontovat na již vyrobená nemocniční lůžka Multicare, která se nacházela ve Spojených arabských emirátech[13]. V dalších případech však bude montáž lokalizace již prováděna zejména v rámci sériové výroby za využití obdobného kitu, který však bude vhodně rozvržen do jednotlivých taktů výrobního procesu.

[13] Systém lokalizace byl na tato lůžka instalován začátkem roku 2015.

# 10 Zařazení systému do sériové výroby

Vzhledem k velkému množství úkonů, které je třeba při sériové výrobě nemocničních lůžek provézt, je bezpodmínečně nutné vytvořit vhodný sled montážních kroků. Tento sled by měl být vytvářen především s ohledem na preciznost, rychlost, ale také rovnoměrné vytížení všech zapojených montážních dělníků.

Tento postup je již využíván u stávajících lůžek, avšak vzhledem k potřebě zapojit do sériové výroby také systém lokalizace nemocničních lůžek je třeba tento celek doplnit o dílčí montážní kroky a také o závěrečnou validaci.

Konečná podoba systému lokalizace nemocničních lůžek je složena z přibližně tuctu položek odlišné četnosti, mezi které je počítána i kabeláž a montážní prvky, jako například spojovací materiál. Je očividné, že vzhledem k širokému spektru nově montovaných dílů a součástí, nebude možné jednoduše přiřadit montáž celého celku do jednoho konkrétního taktu. Naopak jednotlivé díly je třeba rozvrhnout do dílčích částí. Pokud by například protahování kabeláže bylo řešeno následně po montáži ostatní kabeláže, docházelo by k zásadnímu prodloužení časového rámce nutného pro montáž jednoho lůžka. Podstatnou částí instalace je protažení vodiče vedoucího od integračního modulu do přijímače lokalizace a osazení již zkompletovaného přijímače patřícího na podvozkový rám u hlavy pacienta.

Z důvodu eliminace rizik jako jsou poškození choulostivé elektroniky přijímače, nebo nesprávná montáž dělníky, je třeba některé díly osazovat na takzvané předmontáži. Pracovníci na tomto stanovišti jsou speciálně proškoleni nad celým procesem montáže a nad veškerými riziky plynoucími z nesprávné montáže. V konkrétních případech jsou tato stanoviště vybavena speciálními přípravky, které usnadňují a zpřesňují některé kroky montáže. Například přijímací část systému lokalizace je chráněna proti zatečení tekutin těsněním, které je naneseno v místech kontaktu těsnícího břitu na protilehlém dílu zařízení. Pokud by při montáži zodpovědná osoba při tomto úkonu nebyla dostatečně důsledná, konkrétní lůžko by bylo sice zcela funkční, avšak mohlo by sebou po celou dobu své životnosti nést potenciální riziko budoucího poškození. Zde tedy vzniká potřeba kontroly těchto pracovníků a výrobků, které vyrábí. Pokud během jedné směny vyrobí jeden pracovník například 20 ks určitého dílu s konkrétní závadou a kontrola na tento problém upozorní po jednom týdnu, kdy již může být značná část lůžek obsahujících

onen komponent expedována, bavíme se o jednom stu potenciálně vadných dílů. Nejen z tohoto důvodu je tedy nutné výrobky i pracovníky důsledně kontrolovat.

Po namontování posledního dílu na nově vyráběné lůžko je třeba zkontrolovat veškeré funkce a ověřit bezpečnostní systémy, kterými je konkrétní lůžko vybaveno. Tato kontrola je prováděna na posledním stanovišti výrobní linky a týká se i funkce systému lokalizace, která využívá zcela nového přípravku pro ověření celkové funkčnosti, viz následující kapitola.

## 10.1 Testovací přípravek

Pro testování je vhodné využít předpřipravené přípravky, které eliminují rozdíly v testování různými pracovníky napříč všemi směnami. Tento konkrétní použitý přípravek, jež je možné pozorovat, viz Obrázek 11 - Testovací přípravek pro ověření funkčnosti systému lokalizace, je zhotoven z hliníkového profilu s montážními prvky pro uchycení plochých desek s osazenými vysílači.

Obrázek 11 - Testovací přípravek pro ověření funkčnosti systému lokalizace[14]

Jedná se o konstrukci vymezující pozici třech nástěnných vysílačů, stejných jako ty, které jsou dodávány zákazníkovi. Stranové vysílače jsou umístěné 520 mm od středu lůžka. Zatímco prostřední vysílač je umístěn na podélné ose lůžka 750 mm od půdorysné hrany lůžka a simuluje stav, kdy lůžko není umístěno čelem zcela u stěny. Všechny tři vysílače jsou umístěné středem vysílací diody 200 mm od podlahy. Cílem tohoto způsobu testování je ověřit schopnost přijímače přijímat signál vysílaný zpředu zprava a zleva, ale

[14] Zdroj: Linet spol. s r.o.

i správnost všech zúčastněných vodičů a předřadných prvků. Vzdálenosti jsou v tomto případě definovány tak, aby pokryly nejhorší možná místa, do kterých může být lůžko umístěno v rámci parkovací pozice v nemocničním zařízení. Pracovník využívající tohoto přípravku po jeho nasazení na přesně definovaná místa lůžka může pomocí příručního počítače detekovat veškerou komunikaci, jež je přijímána lůžkem. Pokud tato komunikace zahrnuje signál alespoň od jedné vysílací diody v rámci jednoho vysílače, lze věrohodně tvrdit, že kompletní část systému lokalizace je plně funkční.

# 11 Řešení problémů (Troubleshooting)

Pro celou řadu zařízení napříč všemi odvětvími je nutné vytvářet logické postupy, které vedou k detekci vadných nastavení, případně vadných dílů. Takovýto postup se obecně nazývá troubleshooting. I přes usilovnou práci vývojářů o vytvoření kvalitního trvalého produktu může docházet, třeba i vinou špatného výrobního procesu k určitým vadám, které způsobí částečnou, případně celkovou nefunkčnost systému.

Nefunkčnost systému se vždy projevuje nějakým konkrétním způsobem. Vždy je tedy možné logickým sledem otázek a povelů detekovat prvotní příčinu způsobující nefunkčnost. Například sadou otázek zda funguje motor X pokud jej připojíme do zásuvky Y lze efektivně ověřit funkčnost jak zásuvky, tak motoru. Získané poznatky následně pomohou při rozhodování, který vadný díl by měl být vyměněn, případně které nastavení je třeba změnit.

Přehledným způsobem záznamu těchto postupů je vývojový (flow-chart) diagram. Na vrcholku tohoto diagramu vždy nalezneme závadu, kterou je třeba řešit. Postupným odpovídáním a plněním stanovených povelů dochází k identifikaci závady. Tyto diagramy mohou sloužit buď v elektronické, či tištěné podobě, nebo je možné informace z nich vkládat do počítačových programů, případně aplikací v mobilních telefonech a zajistit tak u složitějších diagramů vyšší přehlednost pro konečného uživatele.

Diagramy, případně jejich elektronická verze jsou primárně určeny pro použití servisními techniky LINET, případně techniky nemocničních zařízení. Do velké míry je však využití závislé na dohodách mezi firmou LINET spol. s r.o. a konkrétním nemocničním zařízením.

## 11.1 Vývojový diagram

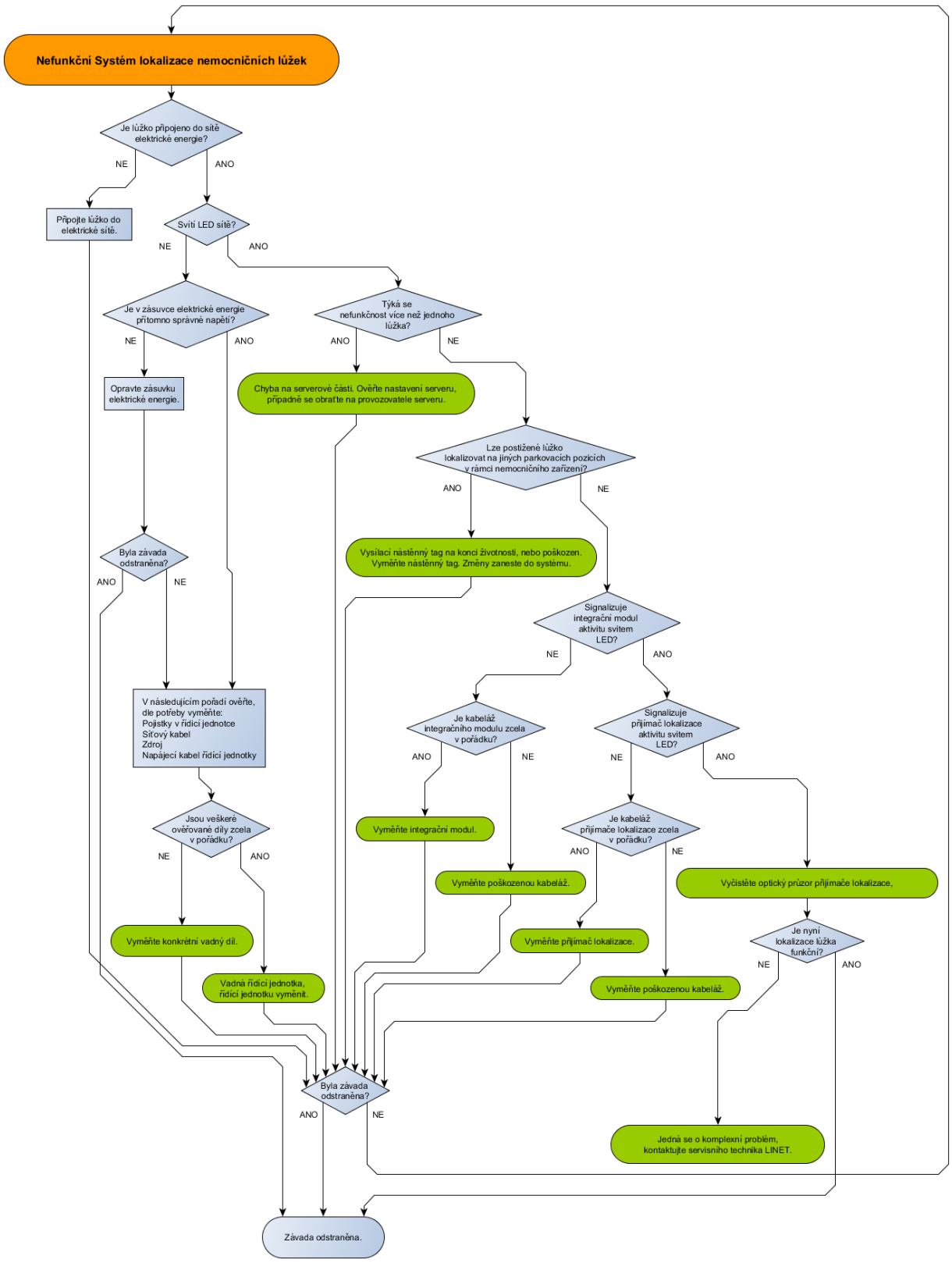
Znalostmi a logickými postupy pro detekci, izolaci a odstranění závady ve většině případů disponují servisní technici, kteří čerpají ze svých dlouholetých zkušeností. Tento proces funguje výborně, avšak v případě potřeby řešení problémů 24 hodin denně nejsou tito zaměstnanci schopni poskytnout plnohodnotné služby vzhledem k časové náročnosti. Zde tedy vzniká potřeba pro získání těchto znalostí a jejich předání do textové, případně

elektronické podoby, díky které bude schopen i základně proškolený pracovník učinit informovaná rozhodnutí, která povedou k eliminaci obtíží. Tento proces však v žádném případě není určen jako náhrada stávajících servisních pracovníků, ale jak již bylo řečeno, spíše jako doplněk, či určitá podpora.

Získané znalosti je možné zpracovávat celou řadou způsobů, například ve formě textů, obrázků nebo vývojových diagramů. Dle mého názoru je z těchto možností nejrozumnějším řešením volba vývojových diagramů, které svou formou nejlépe interpretují průběh celého procesu. Nejen z tohoto důvodu jsem se tedy při tvorbě postupu pro řešení závad rozhodl používat právě vývojový (flow-chart) diagram.

Pomocí tohoto diagramu jsem mimo jiné zpracoval ono řešení závad na systému lokalizace nemocničních lůžek. Diagram se rozvíjí směrem shora dolů. Přímo v první buňce je možné identifikovat popis konkrétní závady, postupným průchodem diagramem získává uživatel důležité informace. Těmi mohou být například to, jaké je třeba změřit veličiny, co je třeba zkontrolovat a podobně. S těmito informacemi následně řešitel prochází rozhodovací úrovně, které končí definováním vadného dílu, odkázáním na dodatečnou servisní pomoc, případně odkazem na změnu nastavení daného lůžka. V některých případech může být nefunkčnost způsobena předchozí výměnou určitého dílu za díl nekompatibilní, jehož nekompatibilita může být vzhledem ke komplexnosti celého systému odhalena až v delším časovém horizontu. V těchto případech lze často pouhým přepnutím nastavení v servisním menu zajistit plnohodnotné uvedení do funkčního stavu bez potřeby nového náhradního dílu. Vzhledem k tomu, že není třeba čekat na dopravu náhradních dílů, oprava může být v tomto případě velice rychlá.

Podobně jako tento vývojový diagram, viz Obrázek 12 - Vývojový diagram řešení závad na systému lokalizace, jsem v rámci svého zaměstnání za spolupráce se servisním oddělením vytvořil přibližně tucet dalších diagramů řešících odlišné závady na lůžkách Multicare. Většina těchto diagramů bude v budoucnu užívána v nemocničních zařízeních po celém světě jako sborník znalostí nutných pro servis nemocničních lůžek LINET pracovníky nemocničního zařízení.




Obrázek 12 - Vývojový diagram řešení závad na systému lokalizace

# 12 Současná využití, budoucí vize

Distribuce vyvinutého systému následovala téměř okamžitě po dokončení všech potřebných kroků, jež byly nezbytné pro uvolnění výrobku na trh. V první řadě byl systém instalován dodatečně na lůžka situovaná ve Spojených arabských emirátech, které se staly první lokací, jež tento konkrétní systém začala využívat.

Následujícími destinacemi byla Francie, Brazílie, či USA. V těchto případech se bez mála výjimek jednalo vždy o sériovou výrobu. Vzhledem k faktu, že rozšíření systému nastalo krátce před dokončením této práce, nelze přímo zhodnotit zpětnou vazbu uživatelů, jež může mít velkou váhu pro možná další zlepšení, ať už na straně softwaru, či hardwaru.

Společně s vyvinutým systémem byl také rozšířen komplexní postup řešení závad v jeho anglickém provedení, jež slouží zejména servisním technikům LINET, či konkrétním technikům nemocničního zařízení.

Vyjma budoucích úprav stávajícího řešení na základě zpětné vazby bude třeba v budoucnu investovat čas a úsilí do zapracování systému lokalizace do dalších lůžek vyráběných ve firmě Linet spol. s r.o.

# 13 Zhodnocení práce

V této práci byl podrobně popsán celý proces vývoje systému lokalizace nemocničních lůžek vyvíjený ve firmě LINET spol. s r.o., kterého jsem se od samého začátku účastnil. Konečná podoba tohoto systému je v současné době prakticky využívána ve Spojených arabských emirátech, Francii, Brazílii, USA a v budoucnosti se plánuje její využití v dalších zemích světa v množství stovek kusů.

Důraz byl v této práci kladen zejména na pohled firmy, která se tímto vývojem zabývá, na základní milníky, které mohou nutit firmu jít tím, či jiným směrem a jaké výhody, či rizika mohou jednotlivé směry obnášet. Při definování možných alternativních i stávajících řešení byl také brán ohled na vytváření nezaujatého pohledu ze strany nemocničního zařízení, který by mohl mít zásadní vliv na zvolení určitého řešení.

Na základě řady měření byl finálním principem funkce lokalizace zvolen infračervený přenos lokalizačních značek mezi parkovací pozicí lůžka a lůžkem samotným. Ostatní způsoby řešení vykazovaly vysokou míru přeslechů mezi jednotlivými pokoji, které při infračerveném přenosu nenastávají.

Velice si cením této příležitosti účastnit se na takovémto projektu, který byl i přes celou řadu úskalí úspěšně dokončen. Cennou zkušeností bylo zejména řešení oněch komplikací, které se v prvních fázích vývoje stavily do cesty. Jednalo se zejména o patentová omezení, která často nutila ke změně směru vývoje, někdy byly důvodem i špatné výsledky kontrolních měření, nebo výsledná cena. Velké zalíbení jsem nalezl zejména v hledání alternativních cest, kterými je možné se vydat, pro dosažení kýženého cíle, ale také v tom, že to jednoduše není jednoduché. Přesto, nebo spíše právě proto dnes zpětným pohledem na poslední rok strávený ve vývojovém týmu Systému lokalizace nemocničních lůžek zjišťuji, že cesta je důležitější nežli cíl.

# 14 Seznam použité literatury

## Knižní zdroje:


[1] STIM, Richard. Patent, copyright. 12th ed. Berkeley, CA: Nolo, 2012. ISBN 978-141-3316-803.

[2] BLAHOVEC, Antonín. *Elektrotechnika III: (příklady a úlohy)*. 5., nezměn. vyd. Praha: Informatorium, 2005, 291 s. ISBN 80-733-3045-8.


## Internetové zdroje:


[1] Linet. *Multicare* [online]. 2015 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: http://www.multicarebed.com/en/download/

[2] Espacenet [online]. 2014 [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: http://www.epo.org/searching/free/espacenet.html

[3] WIPO Patentscope [online]. 2014 [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: http://patentscope.wipo.int/search/en/search.jsf

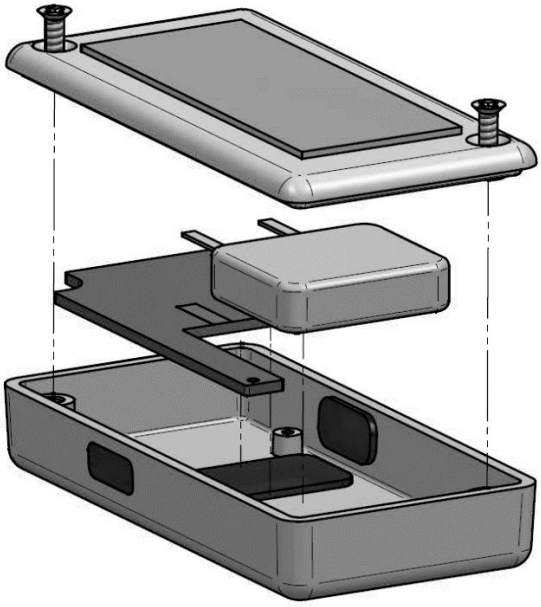
[4] EPLASTICS. IR pass plexiglass [online]. 2015 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: http://www.eplastics.com/Plexiglass_Acrylic_Sheet_Infrared_Transmitting


## Citované patenty:

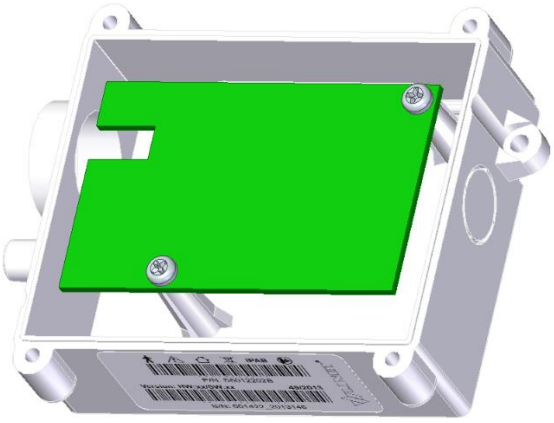

[1] STRYKER CORPORATION. Location detection system for a device [patent]. US20130076490, A1. Uděleno 19. 11. 2012.

[2] HILL-ROM SERVICES, Inc. Portable locator system [patent]. US6539393, B1. Uděleno 30. 09. 1999.

# 15 Samostatné přílohy

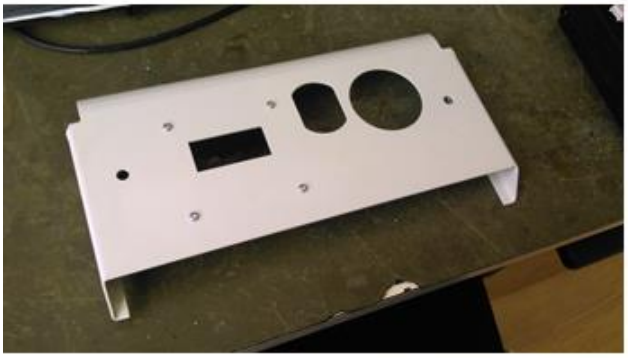


Samostatná příloha 1 - Vizualizace konstrukce vysílače obsahujícího plošný spoj a baterii[15]



Samostatná příloha 2 - Vizualizace konstrukce přijímače obsahujícího plošný spoj[16]

[15] Zdroj: Linet spol. s r.o.
[16] Zdroj: Linet spol. s r.o.



Samostatná příloha 3 - Finální řešení přijímací části a její umístění na lůžko Multicare[17]

[17] Zdroj: Linet spol. s r.o.