



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Katedra biomedicínské techniky

Porovnání podpurných ventilačních systémů typu HFNC

Comparison of HFNC ventilation systems

Diplomová práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Systémová integrace procesů ve zdravotnictví

Vedoucí práce: Ing. Petr Kudrna, Ph.D.

Bc. Michaela Soukopová

Kladno 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Soukopová** Jméno: **Michaela** Osobní číslo: **434136**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra biomedicínské techniky**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Systemová integrace procesů ve zdravotnictví**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Porovnání podpůrných ventilačních systémů typu HFNC

Název diplomové práce anglicky:

Comparison of HFNC ventilation systems

Pokyny pro vypracování:

Cílem diplomové práce je analýza ekonomické náročnosti provozu podpůrných ventilačních systémů typu HFNC (High Flow Nasal Cannula) určených pro novorozence. Analyzujte potřeby technického vybavení zařízení HFNC potenciálních uživatelů na novorozeneckých odděleních. Vypracujte srovnání technických vlastností přístrojů. Provedte porovnání provozních nákladů na jednotlivé typy přístrojů dostupných v ČR.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Pavel Dostál a kol., Základy umělé plicní ventilace, ed. 2. rozšířené vydání, Maxdorf, 2005, 304 s., ISBN 80-7345-059-3
- [2] Tricia L. Gomella, Neonatology: management, procedures, on-call problems, diseases and drugs, ed. Sixth Edition, McGraw Hill Professional, 2009, ISBN 78-0-07-154431-3
- [3] A. Aliverti, A. Pedotti, Mechanics of Breathing New Insights from New Technologies, ed. Second, Springer, 2014, ISBN 978-88-470-5646-6

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Petr Kudrna, Ph.D.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **10.02.2020**
Platnost zadání diplomové práce: **19.09.2021**


prof. Ing. Peter Kneppo, DrSc., dr.h.c.
podpis vedoucí(ho) katedry


prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
podpis děkana(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Porovnání podpůrných ventilačních systémů typu HFNC“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

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

V Kladně dne 21.5.2020

.....

Bc. Michaela Soukopová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych na tomto místě využila možnosti poděkovat vedoucímu této práce, Ing. Petru Kudrnovi, Ph.D., za ochotu, věcné připomínky a veškerý čas, který mi věnoval. Dále bych chtěla poděkovat mé rodině za veškerou podporu, které se mi dostávalo po celou dobu mého studia.

Práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze, číslo SGS19/202/OHK4/3T/17 – Zpracování a interpretace dat pro potřeby neonatologie a projektem „Péče o nezralé novorozence“, reg. č. CZ.2.16/3.1.00/21564, spolufinancovaným v rámci Operačního programu Praha – Konkurenceschopnost z Evropského fondu pro regionální rozvoj.



EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
PRAHA & EU: INVESTUJEME DO VAŠÍ
BUDOUCNOSTI



ABSTRAKT

Porovnání podpůrných ventilačních systémů typu HFNC:

Vysokoprůtoková zvlhčená nosní kanyla (HFNC, High flow Nasal Cannula) je neinvazivní metoda kyslíkové terapie, kdy je zvlhčená a ohřátá směs plynů podávána nosní kanylou spontánně dýchajícímu pacientovi. Práce analyzuje požadavky na technické vybavení pro HFNC na novorozeneckých odděleních, porovnává technické vlastnosti přístrojů a náklady na jednotlivé typy přístrojů, které jsou dostupné v České republice.

Bylo zjištěno, že v České republice je dostupných 5 variant technologií pro HFNC. Ty se liší konstrukčně, některými technickými parametry a příslušenstvím. Z hlediska nákladnosti má signifikantní vliv spotřební materiál, obzvláště maximální délka jeho použití. Volba varianty s nejnižšími náklady a vhodnými technickými parametry je závislá na konkrétním typu provozu neonatologického oddělení. Není tedy možné obecně doporučit jednu variantu HFNC, ale řešení je nutné konkretizovat pro dané zdravotnické zařízení.

V rámci práce byl vytvořen tabulkový nástroj v programu Microsoft Excel, který umožňuje individualizaci řešení pro jednotlivá neonatologická oddělení. Obsahuje přehled technických vlastností přístrojů a na základě změny vstupních parametrů (počet pacientů, průměrná délka terapie a náklady na jednotlivé položky) určuje vhodnou variantu pomocí metody TCO (celkové náklady spojené s vlastnictvím).

Klíčová slova

HFNC, TCO, neonatologie, ventilační systémy

ABSTRACT

Comparison of HFNC ventilation systems:

The High Flow Nasal Cannula (HFNC) is a non-invasive method of oxygen therapy where a moistened and heated gas mixture is delivered through a nasal cannula to a spontaneously breathing patient. The thesis analyzes the requirements of HFNC equipment in neonatal wards, compares the technical properties and the costs of devices that are available in the Czech Republic.

It was found that 5 variants of HFNC technologies are available in the Czech Republic. There are differences in construction, some technical parameters and accessories. Sanitary consumables have a significant impact on cost, especially its maximum duration of use. The choice of the variant with the lowest cost and suitable technical parameters depends on a particular neonatology ward and therefore it is not possible to generally recommend certain variant of HFNC. The solution must be specified for the certain medical facility.

In the framework of this work was created a spreadsheet tool in Microsoft Excel, which enables individualization of solutions for particular neonatological departments. It contains an overview of technical characteristics and based on the change of input parameters (number of patients and average length of therapy, cost of individual items) determines a suitable variant by using the TCO method (Total Cost of Ownership).

Keywords

HFNC, TCO, neonatology, ventilation systems

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	9
1 Úvod	11
2 Přehled současného stavu	13
2.1 Neonatologie	13
2.1.1 Vývoj neonatologie v České republice	13
2.2 Léčba kyslíkem neonatologických pacientů	15
2.2.1 nCPAP	16
2.3 HFNC	16
2.3.1 Princip HFNC	18
2.3.2 Fyziologický efekt	19
2.3.3 Přínosy a limitace HFNC	20
2.3.4 Využití HFNC	21
2.4 Průzkum trhu technologií HFNC	22
2.4.1 Typ 1 – přístroje Vapotherm	25
2.4.2 Typ 2 – systém složený z komponent	26
2.5 Ekonomická náročnost ventilačních systémů	28
3 Cíle práce	30
4 Metody	31
4.1 Analýza potřebného technického vybavení HFNC na novorozeneckých odděleních	31
4.2 Srovnání technických vlastností přístrojů	31
4.3 Výpočet ekonomické náročnosti technologií HFNC	32
4.3.1 Náklady na pořízení	32
4.3.2 Náklady na provoz	33
4.3.3 Náklady na servis a údržbu	34
4.3.4 Náklady na likvidaci	34
4.4 Implementace a interpretace výsledků	34
4.4.1 Modelové situace	34
4.4.2 Citlivostní analýza	35
4.4.3 Aplikace výsledků pro GPK VFN v Praze	36

4.4.4	Tabulkový nástroj.....	36
5	Výsledky.....	37
5.1	Přehled variant technologií HFNC dostupných v České republice.....	37
5.2	Výsledky analýzy potřebného technického vybavení zařízení pro HFNC na novorozeneckých odděleních.....	38
5.3	Výsledky srovnání technických vlastností přístrojů.....	39
5.4	Výsledky porovnání nákladů spojených s vlastnictvím technologií HFNC	42
5.4.1	Pořizovací náklady	42
5.4.2	Náklady na provoz.....	43
5.4.3	Náklady na servis a údržbu.....	47
5.4.4	Náklady na likvidaci.....	48
5.5	Modelové situace.....	48
5.5.1	Citlivostní analýza	53
5.6	Aplikace výsledků pro GPK VFN v Praze.....	58
5.7	Tabulkový nástroj pro výběr vhodné technologie HFNC	59
6	Diskuse.....	62
6.1	Srovnání technických vlastností přístrojů	62
6.2	Ekonomická náročnost technologií HFNC	63
6.2.1	Výše nákladů ve vztahu k provozní situaci	65
6.2.2	Aplikace výsledků na situaci konkrétního pracoviště	67
6.3	Aplikace pro individualizaci řešení pro jednotlivá neonatologická oddělení	67
7	Závěr	69
	Seznam použité literatury	70
	Příloha A: Obsah přiloženého CD.....	80

Seznam symbolů a zkratek

Zkratka	Význam
BiPAP	(Bilevel Positive airway Pressure)
BIO	Bio-Med Devices
BPD	Bronchopulmonární dysplázie (Bronchopulmonary dysplasia)
BTK	Bezpečnostně technická kontrola
CBA	Analýza nákladů a přínosů (Cost-Benefit Analysis)
CCA	Analýza nákladů a důsledků (Cost-Consequences Analysis)
CDC	Centrum pro kontrolu a prevenci nemocí (Centers for Disease Control and Prevention)
CEA	Analýza nákladové efektivity (Cost-Effect Analysis)
CMA	Analýza minimalizace nákladů (Cost-Minimization Analysis)
COI	Analýza nákladů na onemocnění (Cost of Illness Analysis)
COT	Analýza nákladů na léčení (Cost of Treatment)
CPAP	Metoda kontinuálního přetlaku (Continuous Positive Airway Pressure)
CUA	Analýza nákladů a užítku (Cost-Utility Analysis)
EMR	Elektronický zdravotnický záznam (Electronic Medical Records)
F&P	Fisher&Paykel
FDA	Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (Food and Drug Administration)
FLE	Flexicare
FRC	Funkční reziduální kapacita plic (Functional Residual Capacity)
FUS	FusionCare
GPK	Gynekologicko-porodnická klinika
GT	Gestační týden
HAM	Hamilton Medical
HF	Vysoký průtok (High Flow)
HFHHNC	Průtočná zvlhčená směs distribuovaná pomocí nosní kanyly (High Flow High Humidity Nasal Cannula)
HFNC	Průtočná zvlhčená směs distribuovaná pomocí nosní kanyly (High Flow Nasal Cannula)
HFOT	Vysokoprůtočná kyslíková terapie (High Flow Oxygen Therapy)
HFT	Vysokoprůtočná terapie (High Flow Therapy)
ISPV	Insormační systém o průměrných výdělcích
JOP	Jednorázový patientský okruh
LF	Nízký průtok (Low Flow)
LFNC	Nízkoprůtočná směs podávaná nosní kanylou (Low Flow Nasal Cannula)
MAS	Syndrom aspirace makonia (Meconium Aspiration Syndrome)
MKN	Mezinárodní klasifikace nemocí
nCPAP	Metoda kontinuálního přetlaku podávaného nosní dutinou (nasal Continuous Positive Airway Pressure)
NIV	Neinvasivní ventilace (Noninvasive Ventilation)
OWSA	Jednocestná citlivostní analýza (One-way sensitivity analysis)
PEEP	Pozitivní tlak v dýchacích cestách (Positive End Expiratory Pressure)
RDS	Syndrom dechové tísně (Respiratory Distress Syndrome)
RH	Relativní vlhkost (Relative Humidity)

RR	Dechová frekvence (Respiratory Rate)
RZPRO	Registr zdravotnických prostředků
SECH	Sechrist
SÚKL	Státní úřad pro kontrolu léčiv
TCO	Analýza nákladů spojených s vlastnictvím (Total Cost of Ownership)
TTN	Přechodná tachypnoe novorozence (Transient tachypnea of the Newborn)
USA	Spojené státy americké (United States of America)
VFN	Všeobecná fakultní nemocnice
WHO	Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)
WIL	Wilamed
WOB	Dechová námaha (Work of Breathing)

1 Úvod

Z celkového počtu 114 tisíc dětí narozených v České republice v roce 2018 se každé 12. dítě narodilo předčasně. Počet předčasně narozených dětí meziročně stále stoupá. Během posledních patnácti let až na dvojnásobek [1]. Příčiny předčasných porodů jsou různé. Mezi nejčastější patří záněty placenty, vícečetná těhotenství, asistovaná reprodukce a vliv na předčasný porod může mít také vyšší věk matky. [2, 3, 4]

Podle míry nezralosti novorozence lze očekávat zdravotní komplikace. Jedná se zejména o problémy s respirací, termoregulací a srdečními vadami. Z hlediska dýchací soustavy jde pak převážně o nedokončený vývoj plic a absenci surfaktantu, který je nezbytný pro udržení reziduálního objemu plic. Dále se jedná také o plicní intersticiální emfyzém, pneumotorax, adnatální pneumonii, tranzitorní tachypnoe a plicní intersticiální emfyzém. Tato onemocnění se označují jako syndrom dechové tísně (RDS). [5]

U novorozenců s respiračními potížemi je pak nutné zajistit adekvátní dechovou podporu. U dětí s mírnými známkami RDS či TTN (přechodná tachypnoe novorozence) se aplikuje kyslíková terapie. Léčba kyslíkem, nebo-li oxygenoterapie, patří mezi nejnáročnější a nejkompexnější metody v neonatologické péči. [6,7] Jejím cílem je udržet nebo obnovit zásobení tkání kyslíkem. Současně ale nesmí dojít k hyperoxii, která může u nezralých novorozenců způsobit vážné poškození centrální nervové soustavy, plic, popř. oční sítnice.

Kyslíková terapie zahrnuje podávání kyslíku přímo do inkubátoru, pomocí masky přiložené buď k orofaciální části obličeje, nebo nosní kanylou. Nosní kanylou je možné podávat kyslík několika způsoby, metoda kontinuálního přetlaku podávaného nosní dutinou nCPAP (nasal Continuous Positive Airway Pressure) patří mezi nejčastější z nich. V posledních letech narůstá i užívání kyslíkové terapie vysoce průtočné zvlhčené směsi distribuované pomocí nosní kanyly HFNC (High Flow Nasal Cannula), občas také uváděné jako HFHNC (High Flow High Humidity Nasal Canula). Ta se od nCPAP liší podáním plynné směsi s možností vytvořit vyšší přetlak v dýchacích cestách (nad 4 cmH₂O). [7, 8, 9]

Využívání nových metod a neustálý rozvoj zdravotnických technologií umožňuje zachraňovat i neonatologické pacienty, u kterých by to dříve nebylo možné. Důsledkem tohoto rychlého rozvoje je i růst nákladů na zdravotní péči. Financování nových postupů a technologií je samozřejmě limitované dostupnými rozpočty pro zdravotnictví. [10] A právě efektivní využití zdrojů jsou hlavním důvodem ke zpracování ekonomických analýz, porovnávajících náklady jednotlivých metod léčby pacientů. A z tohoto důvodu

vznikl na Gynekologicko-porodnické klinice Všeobecné fakultní nemocnice v Praze (GPK VFN v Praze) podnět k vytvoření práce, která by se zabývala právě tematikou náročnosti provozu technologií HFNC na neonatologických odděleních. Kromě ekonomického pohledu bude práce srovnávat i technické vlastnosti přístrojů HFNC dostupných na trhu v České republice včetně jejich příslušenství. Na základě stanovených výsledků bude následně doporučena i jejich vhodná aplikace pro GPK VFN v Praze.

2 Přehled současného stavu

2.1 Neonatologie

Neonatologie je obor lékařství, který se specializuje na péči o fyziologické i patologické novorozence. Je začleněna do perinatologické péče, jejímž hlavním cílem je zajistit plynulost a návaznost péče o těhotné ženy, plod i novorozence. Propojuje práci gynekologů, porodníků a neonatologů. Tyto obory jsou vzájemně nezastupitelné a jejich těsné propojení má za cíl zajistit kvalitní péči založenou na nejmodernějších poznatcích z medicíny. Následně tak ovlivňuje kvalitu celé populace. [11]

Termínem neonatologický pacient je označováno dítě mladší 28 dnů bez ohledu na to, jestli došlo k porodu v plánovaný termín, nebo mimo něj. Zdravý donošený novorozenec by měl měřit okolo 50 cm, vážit 2500-4800 g, mít růžovou kůži krytou mázkem, jemné vlasy, nehty překrývající konce prstů, rýhované plošky nohou, vyvinuté ušní boltce a zralý genitál. [5, 12]

V klinické praxi jsou stále čtenější předčasné porody dětí, které se pak dělí dle doby narození na [5]:

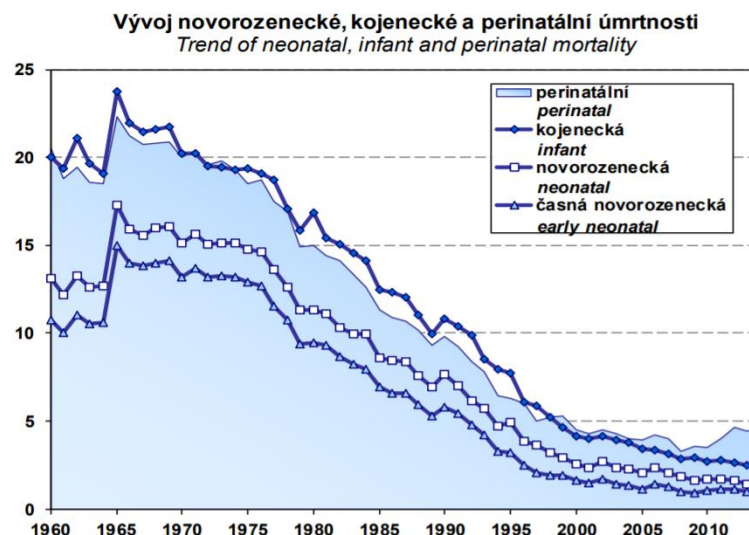
- extrémně nezralé (pod 28. týden těhotenství),
- těžce nezralé (28. – 31. týden těhotenství),
- středně nezralé (32. – 35. týden těhotenství),
- lehce nezralé (36. – 37. týden těhotenství).

Tito novorozenci vyžadují velmi specifickou a obvykle náročnou terapii. Základ péče o ně spočívá v respektování, že jejich organismus je nezralý a jeho fyziologie se od fyziologických funkcí donošeného novorozence podstatně liší. Komplexní péči o akutní neonatologické pacienty ztěžuje především fakt vyšší vnímavosti jejich organismu, který se teprve přizpůsobuje mimoděložním podmínkám. Celková křehkost, vysoká citlivost a malá hmotnost pacienta současně komplikuje jak diagnostiku, tak i léčbu. [5,12]

Toto jsou důvody pro modifikaci vyšetřovacích postupů, odlišnou interpretaci výsledků klinických vyšetření na rozdíl od dospělých pacientům a následnou volbu vhodné metody terapie. [5]

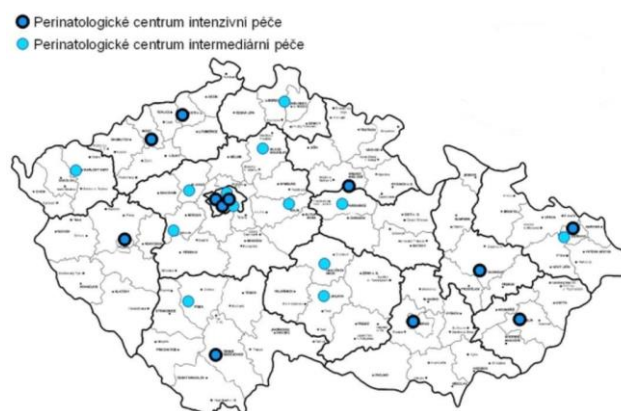
2.1.1 Vývoj neonatologie v České republice

Novorozenecká úmrtnost je celosvětově uznávaným ukazatelem kvality péče ve zdravotnictví. V roce 1990 bylo v České republice více jak dvojnásobek případů úmrtí novorozenců než v západních zemích (7,8 ‰ vs. 3,3-4,5 ‰). [4] V následujících letech došlo k prudkému zlepšení péče a úmrtnost klesla zejména díky snížení úmrtnosti novorozenců s nízkou porodní hmotností (viz obrázek 2.1).



Obrázek 2.1: Vývoj novorozenecké, kojenecké a perinatální úmrtnosti v České republice v letech 1960-2010 [13]

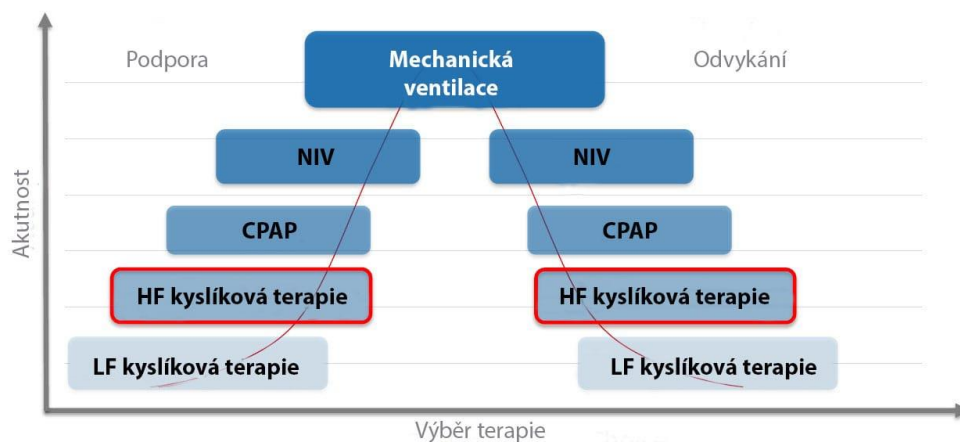
V současnosti patří Česká republika ke světové špičce v oblasti péče o novorozence a její výsledky se řadí na úroveň Japonska a Švédska. [4] Momentálně je neonatologická a perinatologická péče v České republice diferencovaná do třístuňňové péče podle zdravotního stavu novorozenců. Prvním stuňňem je označována základní péče pro fyziologicky se vyvíjející plod a poporodní stav bez komplikací. Méně závažné stavy, ale i péče o novorozence se středně těžkou adaptací, nezralé novorozence od 32. gestačního týdne a případy, které nevyžadují intenzivní péči, spadají do II. stuňňe, tedy pod perinatologická centra intermediální péče. Třetí stuňň pak zajišťuje intenzivní péči i pro novorozence s těžkou adaptací. Jedná se o samostatná specializovaná neonatologická pracoviště, označovaná jako perinatologická centra intenzivní péče. V České republice je takovýchto center celkem 12 (viz obrázek 2.2). [4, 14]



Obrázek 2.2: Perinatologická centra intenzivní péče a perinatologická centra intermediální péče v České republice [14]

2.2 Léčba kyslíkem neonatologických pacientů

Jak již bylo zmíněno, jednou z hlavních komplikací, která u nedonošených novorozenců nastává, je neúplné vyvinutí dýchací soustavy. To se obvykle projevuje jako hypoxie, tedy stav, kdy je v těle novorozence nepoměr mezi potřebou kyslíku tkáněmi, nutnou pro zachování aerobního metabolismu, a kyslíkem dodaným do těla. V takovýchto případech je nutné zahájit vhodnou terapii, jejímž cílem je obnovit nezbytné zásobení tkání kyslíkem. Ta zároveň nesmí vyvolat hyperoxémii, tedy zvýšené množství kyslíku v krvi. Výběr terapie odpovídá závažnosti zdravotního stavu pacienta. Indikace využití kyslíkové terapie je znázorněna na obrázku 2.3. [15, 16]



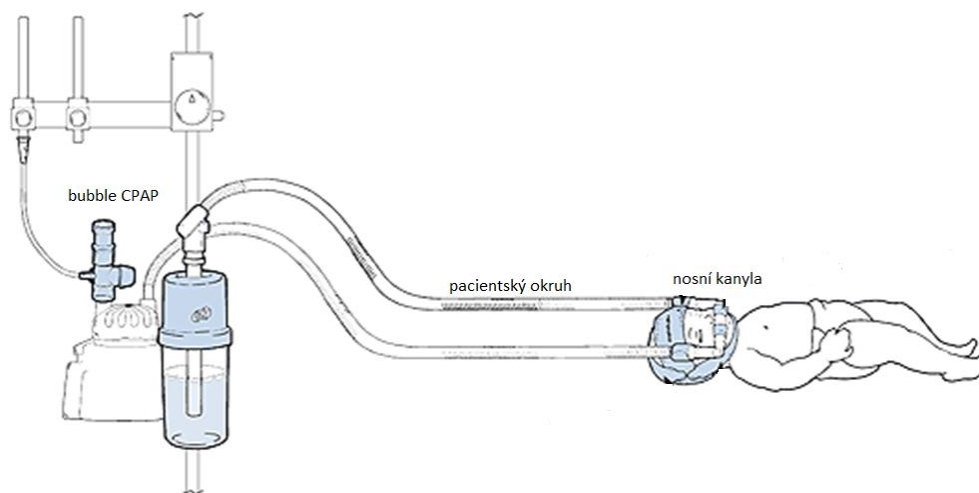
Obrázek 2.3: Volba vhodné terapie v závislosti na akutnosti stavu pacienta (LF kyslíková terapie - nízkoprůtoková kyslíková terapie, HF kyslíková terapie - vysokoprůtoková kyslíková terapie, CPAP - Kontinuální přetlak podávaný nosní dutinou, NIV - neinvazivní ventilace) [16]

Léčba kyslíkem se provádí pouze v případech jasně prokázané hypoxie, kdy je evidentní porucha dýchání, oběhu, nebo prokrvení a hodnota parciálního tlaku kyslíku (PaO_2) klesá pod 6 kPa. Podávaný plyn musí být přehřátý na úroveň tělesné teploty (nejčastěji na 37 °C) a musí být dostatečně zvlhčený (minimálně na 60-70 %). Podle zachování spontánní dechové aktivity nebo úrovně nedostatečnosti dechové aktivity se volí metoda podání plynu pacientovi. [7, 10, 16, 17]

Pokud je spontánní dechová aktivita zachovaná, podává se plyn inhalačně. V případě nedostatečné dechové aktivity insuflací. Pokud pacient trpí pouze mírným nedostatkem dechové aktivity, RDS, je v postextubačním stavu, nebo má apnoe předčasného věku, volí se podpurná ventilace metodou kontinuálního přetlaku podávaného nosní dutinou (nCPAP), nebo vysokoprůtočnou nosní kanylou (HFNC), popřípadě i kombinací obou metod. Během celé doby podávání kyslíku je nutné pacienta pečlivě monitorovat a provádět měření PaO_2 , nebo transkutánní měření krevních plynů. [7]

2.2.1 nCPAP

Kontinuální přetlak podávaný nosní dutinou nCPAP (nasal Continuous Positive Airway Pressure) je modifikací klasické metody pozitivního tlaku dodávaného do dýchacích cest CPAP (Continuous Positive Airway pressure). Jedná se o nejrozšířenější metodu ventilační podpory pro neonatologické pacienty, kdy je vzduch distribuován neinvazivně pomocí nosní masky, nebo nostrilami. Dalšími možnostmi jsou tzv. bubble CPAP, kde vdechovaný plyn prochází zásobníkem s vodou a hloubka ponoru tuby v něm a nahodilé tlakové oscilace způsobené vznikem bublin v tomto zásobníku určují tlak plynu (viz obrázek 2.4), nebo např. BiPAP, který na rozdíl od klasické CPAP umožňuje nastavit dvě hladiny tlaku. [13, 18]



Obrázek 2.4: Schéma bubble CPAP [8]

2.3 HFNC

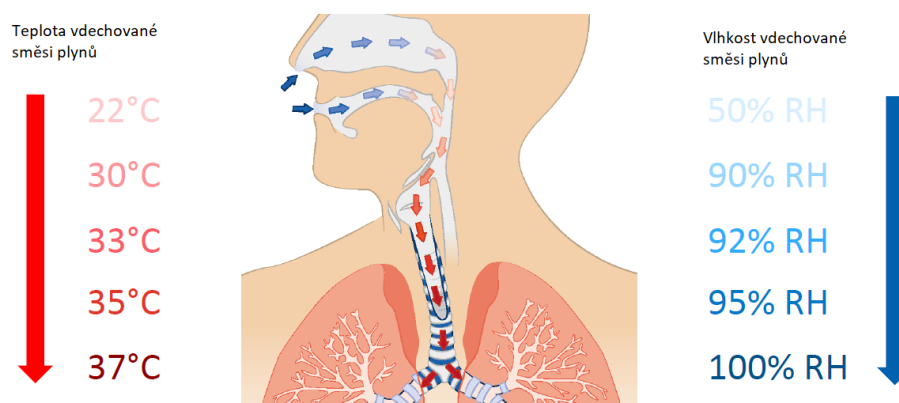
Vysoceprůtoková zvlhčená nosní kanyla (High flow Nasal Cannula), nebo také HFHHNC (High flow High Humidity Nasal Cannula), je neinvazivní metoda kyslíkové terapie, kdy je zvlhčená a ohřátá směs plynů podávána nosní kanylou spontánně dýchajícímu pacientovi. [17, 19, 20] V literatuře pro tuto metodu existuje velká škála dalších označení, jejich celkový přehled a anglický význam je v tabulce 2.1.

U tradiční metody kyslíkové terapie, kdy plyn z průtokoměru probublává přes vodu, není plyn nijak zahříván. Z tohoto důvodu ani jeho zvlhčení není optimální, obzvláště pokud je podáván s vyšší průtokovou rychlostí. Pokud má podávaná směs nízkou průtokovou rychlost, dochází k dostatečnému ohřátí a zvlhčení plynu v oblasti horních cest dýchacích pacienta stejně jako při přirozeném dechovém procesu, kdy je tělo schopné dostatečně ohřát a zvlhčit i studený vdechovaný vzduch (viz obrázek 2.5). Nízká průtoková rychlost ale omezuje množství kyslíku, které lze pacientovi dodávat. Obecně se udává, že nosní kanylou s nízkými průtoky lze zvýšit podíl vdechovaného

kyslíku (FiO_2) na 0,3-0,45. Z důvodu nedostatečného zahřátí a zvlhčení kyslíku přirozeným způsobem při vyšších průtokových rychlostech je limitace průtokové rychlosti u těchto nosních kanyl stanovena na průtok 6 l/min. [15, 21] Suchý nebo špatně zvlhčený plyn může vyvolat obtíže jako je suchá nosní sliznice, sucho v krku a bolest s následnou špatnou tolerancí kyslíkové terapie. [9, 21]

Tabulka 2.1: Přehled zkratk a anglických názvů používaných pro HFNC

Zkratka	Anglický název
HFNC	High flow nasal cannula
HHHFNC	Heated humidified high flow cannula
HFT	High flow therapy
HFOT	High flow oxygen therapy
HFHHNC	High flow high humidity nasal cannula
HFO+HFNC	High flow oxygen + high flow nasal cannula therapy

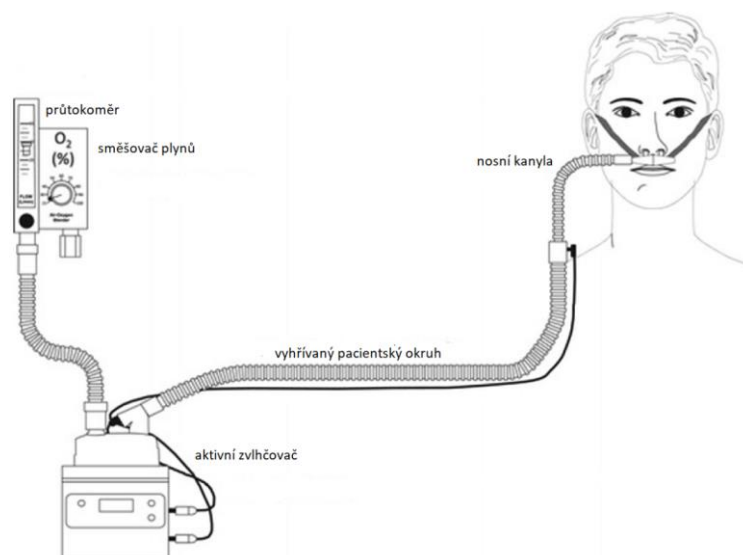


Obrázek 2.5: Zvlhčení a ohřátí plynu během přirozeného procesu dýchání (RH- relativní vlhkost) [16]

Při metodě vysoce průtočné zvlhčené směsi distribuované pomocí nosní kanyly se podávaná směs plynů zahřívá na 37 °C až se 100% relativní vlhkostí. Teplo a vysoká vlhkost způsobuje dobrou toleranci vysokých nasálních průtoků, které pak mohou dosahovat až 8 l/min u neonatologických pacientů (pro srovnání u dospělých pacientů až 60 l/min). Tím, že je vdechovaná směs již zahřátá a zvlhčená se celkově snižuje námaha pacienta na dýchací proces. Frakce kyslíku podávaného plynu je v rozmezích 0,21-1 podle potřeby pacienta. [16, 17, 22, 23]

Použití této metody v léčbě pacientů s akutním respiračním selháním ve všech věkových skupinách stále narůstá. V posledních několika letech bylo publikováno mnoho studií, které zkoumají mechanismy působení této terapie a její využití v různých podmínkách klinické praxe. U neonatologických pacientů je preferována hlavně díky větší šetrnosti k nosní přepážce. [17, 20, 22, 24, 25]

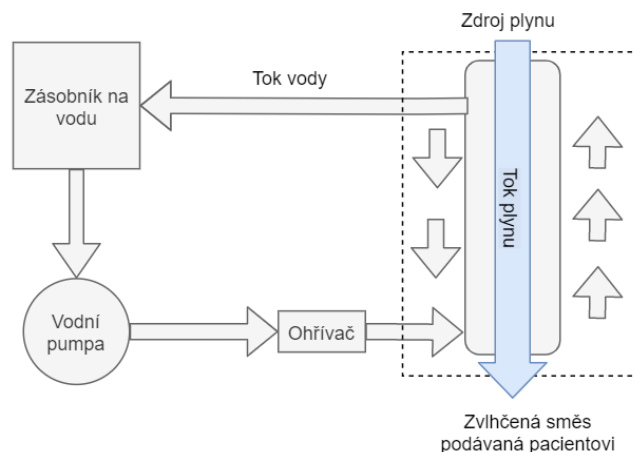
Technologie pro aplikaci HNFC se skládá z několika komponent (viz obrázek 2.6) a technické provedení se liší podle výrobce. Obecně lze ale říci, že soustava je složena ze směšovače plynu, umožňujícího dosažení plyné směsi s požadovaným poměrem kyslíku, průtokoměru pro nastavení vhodné průtokové rychlosti, aktivního zvlhčovače, který plyn zvlhčí až na 100 %, a vyhřívaného okruhu pro dodávání plynu pacientovi pomocí nosní kanyly. Ta by měla v případě neonatologických pacientů pohodlně zapadat do jejich narisů a zabraňovat strhávání vzduchu z míst kolem kanyly, ke kterému by mohlo dojít v případě použití standardních nosních kanyl. [22, 25]



Obrázek 2.6: Schéma HFNC [20]

2.3.1 Princip HFNC

Princip metody vysokoprůtokové zvlhčené směsi podávané nosní kanylou je poměrně jednoduchý (viz obrázek 2.7). Voda gravitací klesá do patientského okruhu a je ohřívána. Ve zvlhčovací patroně, kde je voda oddělená od směsi plynů speciální membránou propustnou pro vodní páru, pak následně ohřívá i směs plynů. Membrána efektivně blokuje průchod bakterií z vodního okruhu do průtoku dýchaného plynu. Zahřátý a zvlhčený plyn je dále distribuován k pacientovi vodou vyhřívaným dýchacím okruhem. Tento systém zabezpečuje stabilitu teploty dýchacího plynu a minimalizuje kondenzaci vody v okruhu s dýchaným plynem. [9, 17, 24]

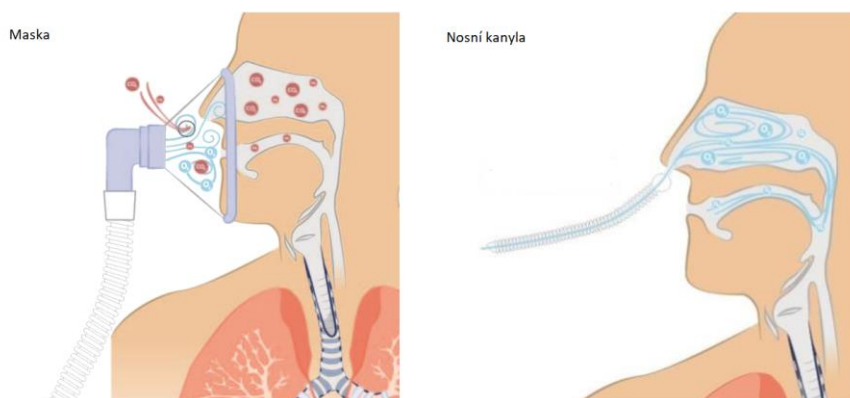


Obrázek 2.7: Schéma principu HFNC [16]

2.3.2 Fyziologický efekt

Z hlediska ventilačního okruhu je HFNC otevřený systém. To znamená, že přístroj plyn ani netlačí, ani netáhne, ale navzdory tomu tok překonává odpor proti toku vydechaného vzduchu a vytváří tzv. PEEP efekt, tedy pozitivní tlak v dýchacích cestách (positive end-expiratory pressure). I když je tlak ve srovnání s uzavřenými systémy relativně nízký, považuje se za dostatečný pro zvýšení funkční reziduální kapacity plic (FRC). V několika studiích, které zkoumaly léčebný efekt HFNC, nebylo prokázáno, zda HFNC zvyšuje objem plic nebo obnovuje rozpadlé alveoly. [16, 23, 26, 27]

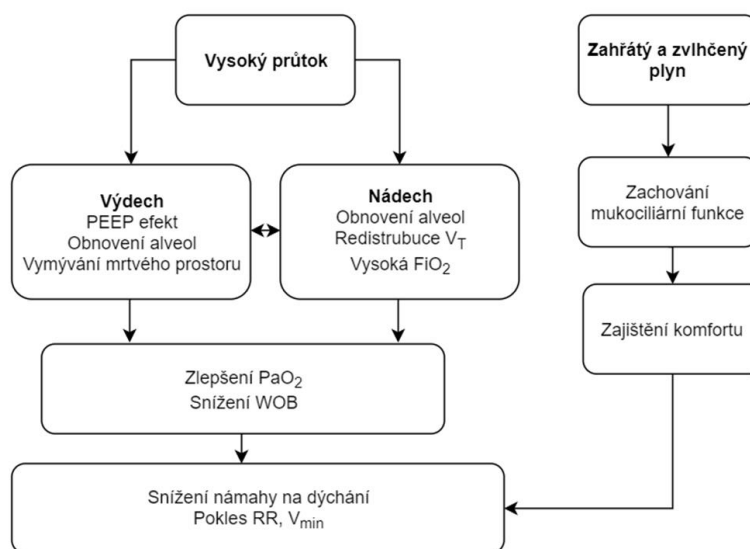
Mezi další pozitivní fyziologické účinky této metody patří vymývání oxidu uhličitého v anatomickém mrtvém prostoru a vytváření rezervoáru kyslíku v nosohltanu, čímž je snižována zátěž na dýchací činnost. Tento proces je při využití nosní kanyly mnohem efektivnější než při aplikaci kyslíkové terapie maskou (viz obrázek 2.8). [16, 21]



Obrázek 2.8: Vliv aplikátoru na vymývání plynu z anatomického mrtvého prostoru [16]

Protože se plyn obvykle zahřívá na 37 °C a je dostatečně zvlhčován, zůstávají zachované mukociliární funkce a je prokázáno pouze malé nepohodlí pacientů. Zachování mukociliární funkce a vylučování sekretů je spojeno s menší atelektázou (nevzdušností plicní tkáně) a vede k dobrému poměru ventilace/perfúze a lepšímu okysličování. Jinými slovy, správně zahřáté a zvlhčené plyny vedou k účinnějšímu přivádění kyslíku do plic a jeho distribuci v plicích. [9, 27]

Přehled fyziologického efektu HFNC na lidský organismus je shrnut na schématu na obrázku 2.9.



Obrázek 2.9: Fyziologický efekt HFNC (PEEP - pozitivní tlak v respiračních cestách, VT - dechový objem, FiO₂ - frakce kyslíku, PaO₂ - parciální tlak kyslíku, WOB-dechová námaha, RR - dechová frekvence) [28]

2.3.3 Přínosy a limitace HFNC

Jedním z hlavních prokazatelných přínosů použití HFNC je snížení počtu dní připojení novorozence na kyslíkovou terapii. [28, 29] HFNC je lépe tolerovaná pacienty ve srovnání s ostatními metodami ventilační podpory. Je to zejména díky dostatečnému zvlhčení a ohřátí dýchacích plynů. Výhodná je také relativně konstantní frakce kyslíku (FiO₂). U nCPAP může dojít k poškození nosní sliznice, které nastává až u 13 % pacientů, zatímco u HFNC nebylo poškození pozorováno [29]. To vede k následné nižší potřebě farmakologického tlumení. [28]

Další fyziologickou výhodnou HFNC oproti ostatním metodám kyslíkové terapie je redukování anatomického mrtvého prostoru. Použitím nosní kanyly místo aplikací terapie maskou také umožňuje také verbální komunikaci s pacientem a neomezuje ho

při příjmu potravy, díky tomu je terapie i pozitivněji přijímána rodiči neonatologického pacienta. [26]

HFNC vytváří pozitivní tlak na konci výdechu (PEEP), ale bohužel prozatím postrádá možnost nepřetržitého monitorování. Rizikem jsou tedy komplikace způsobené příliš vysokým tlakem. [26] V ojedinělých případech může dojít k hyperinflaci plic nebo pneumotoraxu. Možné je i riziko infekce. [25] Stále existují pochybnosti, jaký průtok je nejefektivnější a současně dostatečně bezpečný.

2.3.4 Využití HFNC

Kyslíková terapie metodou vysokoprůtočné zvlhčené směsi podávané nosní kanylou má široké klinické využití. Zejména je využívána na těchto odděleních: jednotky intenzivní péče pro dospělé, jednotky intenzivní péče pro dětské a neonatologické pacienty, centra pooperační péče, pohotovost, popáleninová centra a oddělení poskytující plicní rehabilitace a respirační fyzioterapie. [16]

U neonatologických pacientů představuje indikaci pro volbu HFNC [6, 16]:

- léčba, nebo prevence apnoe a nezralých novorozenců,
- respirační podpora pro novorozence s RDS,
- respirační podpora pro novorozence s BPD (bronchopulmonární dysplázie),
- respirační podpora pro novorozence s MAS (syndrom aspirace mekonie),
- respirační podpora pro novorozence s TTN,
- podpora pro novorozence odvykající na nCPAP,
- respirační podpora pro novorozence s traumatem po nCPAP.

Naopak kontraindikací využití HFNC je nedostatečná spontánní ventilace, choanální atresie, nebo chirurgický zákrok na nosohltanu.

Výrobci a lékaři doporučené nastavení počátečních parametrů HFNC pro novorozence v akutním stádiu je průtoková rychlost 4-6 l/min a FiO_2 v rozmezí 40-45 %. Vyšší hodnoty FiO_2 jsou pak možné u pacientů s chronickým stádiem. Ukončování kyslíkové podpory musí být pozvolné. Při podávání plynu s FiO_2 21-30 % je možné snižovat průtokovou rychlost až o -1 l/min/den až do hodnoty 2,5 l/min. Pak je možné terapii ukončit. Pokud FiO_2 během terapie přesáhne 30 %, je nutné pacienta odvykat na podpůrnou ventilaci pomaleji, a to snižováním průtokové rychlosti -0,5 l/min/den. Během celého procesu odvykání je nezbytné novorozence pečlivě monitorovat. Pokud dojde ke zvýšení dechové frekvence, nebo se objeví apnoické stavy, musí zůstat připojen na HFNC. [16]

2.4 Průzkum trhu technologií HFNC

Průzkum trhu je systematický a cílevědomý proces, který zprostředkovává poznatky pro identifikaci a analýzu trhu, zjišťuje požadavky a přání zákazníků a jejich očekávání. Jedná se o nástroj, který je nezbytný pro strategické rozhodování. [30]

Pro zajištění průzkumu trhu, který bude obsahovat relevantní informace ke zkoumané problematice, je nutné postupovat podle systematického plánu. [31]

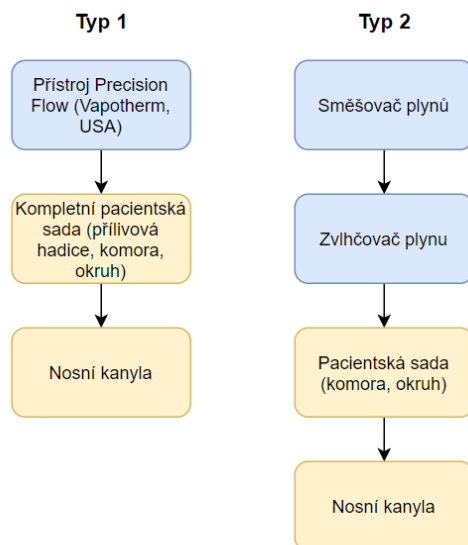
Pro potřeby této práce byl průzkum trhu soustředěn na analýzu aktuálně nabízených technologií pro HFNC s cílem zařazení těchto technologií do ekonomické analýzy. Podle jejich výsledků bude stanoveno doporučení pro využití v klinické praxi.

Zjištění přístrojů dostupných na trhu bylo zajištěno na základě informací poskytnutých odborníky z GPK VFN v Praze, kteří se přímo zabývají nákupem zdravotnické techniky, nebo kteří metodu vysoko-průtokové směsi podávané nosní kanylou přímo využívají. Další informace jsou převážně z externích zdrojů, tedy propagačních materiálů poskytovaných výrobcí zdravotnické techniky a z Národního registru zdravotnických prostředků (RZPRO) provozovaného Státním úřadem pro kontrolu léčiv (SÚKL).

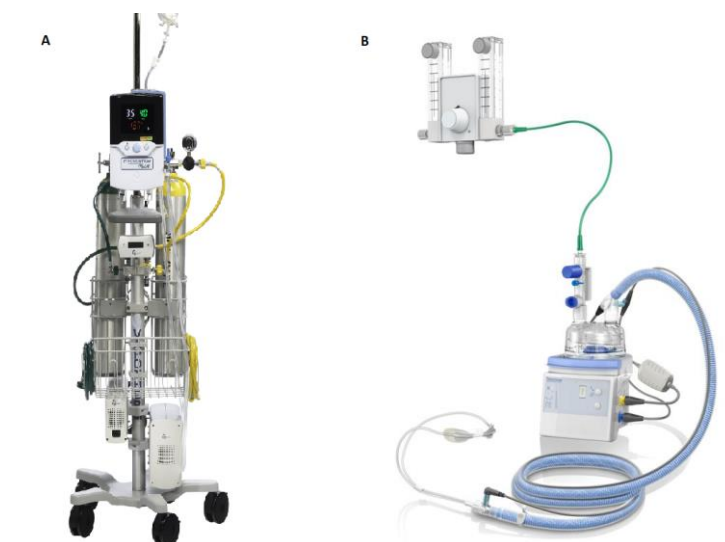
Na základě těchto zdrojů byla ověřena i skutečnost, zda technologie splňují podmínky nezbytné pro zařazení do ekonomického porovnání. Mezi tyto podmínky patří požadavky:

- režim HFNC musí být primární funkcí dané technologie,
- dostupnost přístroje na trhu v České republice, včetně veškerého příslušenství nezbytného pro jeho provoz,
- vhodnost technologie pro neonatologické pacienty.

Pro poskytování kyslíkové terapie metodou HFNC existují dva typy technologií. Liší se převážně konstrukčním řešením, jak je znázorněno na schématu 5.1. První typ technologie využívané pro HFNC představuje přístroj doplněný o spotřební materiál, tedy materiál, který musí být měněn pro každého pacienta. Druhou možností (druhým typem) je technologie složená z více komponent/přístrojů, konkrétně směšovače plynu a zvlhčovače plynu, které mohou být od různých výrobců. Kromě komponent uvedených na schématu na obrázku 2.10 mohou být součástí obou technologií i externí snímače teploty a průtoku, adaptéry pro vyhřívání patientského okruhu, fixační nálepky pro uchycení nosní kanyly, pojízdné a výškově nastavitelné stojany a držáky pro upevnění. Příklady provedení obou typů technologií HFNC jsou uvedeny na obrázku 2.11.



Obrázek 2.10: Konstrukční řešení obou typů technologií pro HFNC (modré komponenty označují přístroje, žluté komponenty patří mezi spotřební materiál)



Obrázek 2.11: Přístroje HFNC: A - Typ 1 - Precision Flow Plus (Vapotherm, USA), B - Typ 2 - OptiFlow (Fisher&Paykel, Nový Zéland) [32, 33]

HFNC mají i některé ventilační přístroje. HFNC ale není jejich primárním a hlavním režimem a nejsou k němu příliš často využívány zejména proto, že sice umožňují vysoké průtoky, nicméně zvlhčení směsi nebývá dostatečné. Jako příklad lze uvést ventilátor Fabian Therapy Evolution (Acutronic, Švýcarsko). Z tohoto důvodu a na základě stanovených vstupních podmínek průzkumu trhu, nebyly tyto ventilátory zahrnuty do řešení této práce. [34]

Na světovém trhu existuje několik výrobců technologií, nebo komponent pro HFNC. Jejich přehled je v tabulce 2.2. Nicméně jen část z nich je distribuována na český trh. Ověřit dostupnost technologií v České republice je možné pomocí RZPRO.

Tabulka 2.2: Přehled dostupných technologií HFNC na světovém trhu

Přístroj	Výrobce	Země
Vyaire Medical	Bird Blender	USA
AIRVO 2	Fisher&Paykel	Nový Zéland
Optiflow	Fisher&Paykel	Nový Zéland
Precision Flow	Vapotherm	USA
Precision Flow Plus	Vapotherm	USA
MaxVenturi	Maxtec	USA
Neo2Blender	Bio-Med devices	USA
Teleflex	Comfort Flow	USA
Teleflex	Concha Therm Nept.	USA
Gründler HumiCare	Resmed	Německo
PMH7000	Pacific Medico	Japonsko
AIRcon	Wilamed	Německo
FL-9000	Flexicare	Velká Británie
NuFlow	Hamilton Medical	Švýcarsko
Sechrist 3500	Sechrist	USA
MicroBlender	CareFusion	USA

Zároveň bylo nutné ověřit, zda je technologie vhodná i pro neonatologické pacienty (např. Max Venturi, Maxtec, USA je určen pouze pro dospělé pacienty [35]) a zda není určená jen pro domácí použití (např. AIRVO 2, Fisher&Paykel, Nový Zéland [36]). Přehled technologií splňujících tyto dvě podmínky jsou v tabulce 2.3.

Tabulka 2.3: Přehled technologií HFNC dostupných v České republice [37]

Technologie	Výrobce	Země
NuFlow	Hamilton Medical	Švýcarsko
Optiflow	Fisher&Paykel	Nový Zéland
Precision Flow	Vapotherm	USA
Precision Flow Plus	Vapotherm	USA
MaxVenturi	Maxtec	USA
AIRcon	Wilamed	Německo
Sechrist 3500	Sechrist	USA
MicroBlender	CareFusion	USA
Neo2Blender	Bio-Med	USA

Zároveň bylo nutné neopomenout i výrobce (např. Flexicare), kteří do České republiky sice nedodávají celou technologii, ale dodávají spotřební materiál, který je kompatibilní i s přístroji od jiných výrobců.

2.4.1 Typ 1 – přístroje Vapotherm

Jak již bylo zmíněno, první typ technologie se skládá z jednoho přístroje doplněného o spotřební materiál. Tento typ vyrábí pouze jeden výrobce, který nabízí dvě varianty, a to Precision Flow a novější typ Precision Flow Plus. Oba přístroje se mírně liší v technické specifikaci, ale z hlediska konstrukce a medicínského účelu jsou shodné.

Jedná se tedy o integrovaný systém pro HFNC složený z vyhřívaného zvlhčovače, systému zvlhčení se zvlhčovací patronou Vapotherm a unikátního trojlumenového vyhřívaného okruhu s nazálním aplikátorem. Díky patentované zvlhčovací patroně Vapotherm se relativní vlhkost blíží 100 % i přímého kontaktu plynu s vodou. Přístroje Precision Flow a Precision Flow Plus mají integrovaný kyslíkový směšovač s elektronickým průtokoměrem a monitorem kyslíku. [38]

Technologie je tvořena ze dvou hlavních částí, hlavní jednotky a jednorázového patientského okruhu. Hlavní jednotka obsahuje elektronický směšovač, regulátor průtoku, který je měří průtok hmotnostními průtokoměry, vzdálená čidla pro kontrolu jednorázové parní kazety a další elektronické části. Součástí hlavní jednotky je i kyslíkové čidlo, které sleduje odchylky od nastavené hodnoty FiO_2 v podávané plynné směsi, a vnitřní baterie. Hlavní jednotkou prochází pouze nezvlhčený plyn pokojové teploty, a proto není nutné její vnitřní čištění a dezinfekce. Firmware v hlavní jednotce kontroluje pomocí čidel tlak plynu, jeho teplotu a detekuje bubliny. [38, 39, 40]

Jednorázový okruh pacienta (JOP) je složen z parní kazety, aplikační hadičky a jednorázové vodní cesty. JOP musí být měněn pro každého pacienta a může být používán maximálně 30 dní. K němu se dále připojuje nosní kanyla. Vapotherm nabízí 8 velikostí kanyl z toho je 5 určeno pro neonatologické pacienty, 2 pro pediatrické a jedna pro dospělého pacienta. Každý typ je rozdílně barevně odlišen pro jejich jednoduché rozeznávání. [38, 39]

U přístrojů Precision Flow a Precision Flow Plus je nutné provádět pravidelnou údržbu, která zahrnuje výměnu plynových filtrů každých 6 měsíců a kyslíkových senzorů každých 12 měsíců. Tato údržba je standardně prováděna společně s bezpečnostně technickou kontrolou zdravotnického prostředku (BTK). Dále výrobce doporučuje vyměnit každé dva roky interní baterii. Přístroje Precision Flow a Precision Flow Plus upozorňují pomocí zvukových i světelných varovných signálů na chybu kazety, chybu dodávky plynu, obstrukci okruhu nebo nosní kanyly, nedostatek vody, chybu nabíjení baterie, nebo nespecifikovanou závadu, která indukuje chybu v systémech řízení nebo měření. [38, 39]

U přechodného modelu Vapotherm 2000i došlo v roce 2005 ve Spojených státech ke kontaminaci bakterií *Ralstonia mannitolilytica*. Společnost Vapotherm proto stáhla dne 13. října 2005 všechny tyto přístroje z prodeje a spolupracovala s Centrem pro kontrolu a prevenci nemocí (CDC) a úřadem pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) na

revizi přístroje s cílem snížení rizika pro pacienty. 1. února 2007 bylo zařízení 2000i znovu zavedeno na trh a v roce 2009 bylo nahrazeno řadou Precision Flow. Momentálně kromě již zmíněných technologií Precision Flow a Precision Flow Plus nabízí Vapotherm i systém Precision Flow Heliox, který je sice také určený pro novorozence, ale pouze pro užití v domácí péči. [38, 39, 40, 41]

2.4.2 Typ 2 – systém složený z komponent

Druhý typ technologií HFNC se od prvního liší konstrukcí. Oproti prvnímu typu, jehož základem je hlavní jednotka, nahrazují funkci této hlavní jednotky dva přístroje, a to směšovač plynů a zvlhčovač plynů.

Směšovač plynů je přístroj, který umožňuje přesné mísení medicijního vzduchu s kyslíkem. V České republice je na trhu dostupných několik směšovačů, které lze použít pro kyslíkovou terapii HFNC a pro neonatologické pacienty (viz obrázek 2.12). U některých dalších směšovačů dostupných na českém trhu nebylo možné ověřit vhodnost využití, protože ji výrobce blíže nespécifikoval a nebyly tak do přehledu zařazeny.



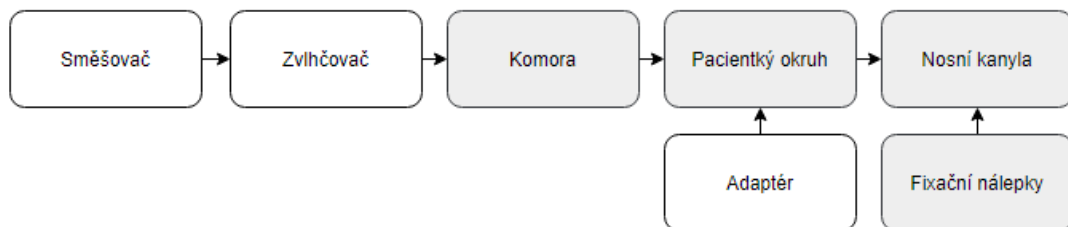
Obrázek 2.12: Směšovače plynů (A - Neo2Blend, Bio-Med. Devices, USA, B- Sechrist 3500, Sechrist, USA), C- MicheoBlender, CareFusion, USA) [42, 43, 44]

Zvlhčovač plynů ohřívá a zvlhčuje dýchací směs, která do něj přichází ze směšovače. Přehled zvlhčovačů na trhu v České republice vhodných pro neonatologické pacienty je na obrázku 2.13.



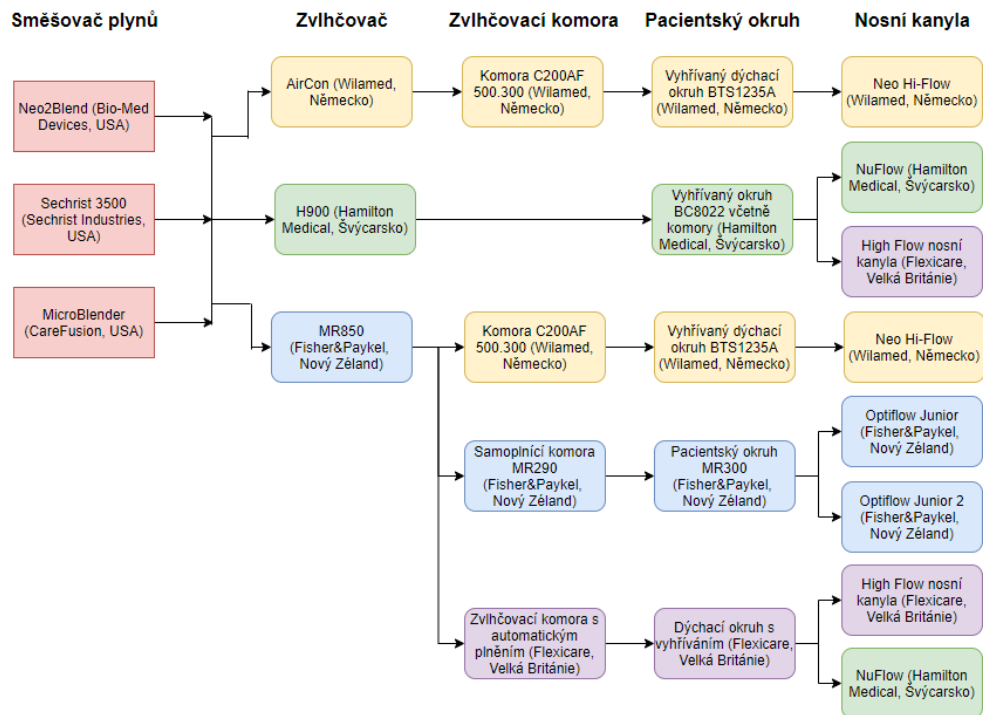
Obrázek 2.13: Zvlhčovače plynů (A - MR850, Fisher&Paykel, Nový Zéland, B - AIRcon, Wilamed, Německo, C - H900, Hamilton Medical, Švýcarsko) [45, 46, 47]

Zvlhčovač je dále doplněn výměnnou zvlhčovací komorou, která je zařazena mezi spotřební materiál. Komora slouží k udržení sterilní vody potřebné pro zvlhčování vzduchu. Dalším spotřebním materiálem je, stejně jako u prvního typu technologií, vyhřívaný patientský okruh doplněný o adaptér pro napájení a o nosní kanylu (viz obrázek 2.14). [48]



Obrázek 2.14: Schéma možného zapojení přístrojů pro HFNC (šedě je označen spotřební materiál)

Jednotlivé přístroje se od sebe mohou lišit některými hodnotami technických parametrů. Druhý typ technologií HFNC umožňuje větší variabilitu a vzájemnou kombinaci přístrojů a spotřebního materiálu od několika výrobců. Bylo ovšem nutné ověřit, jestli jsou tyto přístroje kompatibilní. Přehled vzájemně kompatibilních komponent a tedy možností, jak poskládat technologii HFNC je na obrázku 2.15. Jednotliví výrobci jsou barevně odlišeni (kromě plně kompatibilních směšovačů plynů).



Obrázek 2.15: Přehled možného složení přístrojů pro HFNC (barevné odlišení výrobců)

2.5 Ekonomická náročnost ventilačních systémů

Nejčasněji používanými metodami ekonomické analýzy pro ventilační systémy jsou analýza nákladové efektivity (CEA, Cost-Effectiveness Analysis), analýza nákladů a přínosů (CBA, Cost-Benefit Analysis) a analýza nákladů a užítku (CUA, Cost-Utility Analysis). Jejich výhodou je hodnocení jak ekonomické stránky terapie, tak i jejího klinického efektu. [49, 50, 51]

Výsledky již provedených studií je mezi sebou velmi obtížné porovnávat, neboť často nezahrnují totožné nákladové položky, a to může výsledky podstatně zkreslit. Zpravidla jsou do studií započítány náklady na pořízení technologie, náklady na spotřební materiál, servis, provoz (náklady na lidské zdroje, energie) a školení obsluhy. Opomenutí některých dalších nákladových položek, jako např. náklady na léčiva, likvidaci spotřebního materiálu a ekologickou likvidaci přístroje, pak může vést k rozdílným závěrům napříč studiemi. [51]

Z tohoto důvodu má ve zdravotnictví velký potenciál využití metoda nákladů spojených s vlastnictvím (TCO, Total Cost of Ownership). Ta zahrnuje veškeré náklady spojené s technologií během jejího životního cyklu. Je často využívána i v oborech jako je stavebnictví nebo automobilový průmysl. Včasná identifikace celkových nákladů umožňuje při rozhodování vyvážit výkon, spolehlivost a udržitelnost zdravotnického prostředku a snižovat tak celkové náklady. [52, 53]

TCO bohužel není v českém zdravotnictví příliš používána. Většina rozhodnutí o nákupu zdravotnické techniky tak vychází z pořizovacích nákladů. Aplikovaná byla především experimentálně na větší zdravotnickou techniku, jako je například SPECT/CT, RTG nebo ultrazvuk, ne však na ventilační systémy. [54]

Současné studie kyslíkové terapie HFNC hodnotí především jejich klinický efekt a ekonomická stránka je v nich zahrnuta až druhořadě. Jediná studie technologie HFNC, která zahrnuje i ekonomické porovnání přístrojů, je z roku 2000 a srovnává zvlhčovač MR850 (Fisher&Paykel, Nový Zéland) a 2000i (Vapotherm, USA), což je starší model přístroje, který již výrobce nenabízí.

Další dostupné studie jsou zaměřené především na klinický efekt HFNC a na jeho porovnání s metodou nCPAP. Část z nich porovnává i ekonomiku provozu HFNC a nCPAP. Ve většině případů ale zahrnují technologii HFNC pouze jednoho výrobce [42,43]. Vyhledávání všech publikovaných studií komplikoval fakt, že HFNC nemá v celosvětovém měřítku jednotné pojmenování (viz tabulka 2.1). [55, 56, 57, 58, 59]

V zemích s vysokou úrovní zdravotní péče četnost využití metody kyslíkové terapie HFNC neustále narůstá. To potvrzuje i studie provedená v roce 2017 v Německu, kde bylo kontaktováno 67 pediatrických klinik, což je 29,6 % z jejich celkového počtu. 54 % ze zkoumaných klinik užívalo tuto metodu déle než 3 roky. Dosud však nebyla provedena žádná studie, která by porovnávala všechny dostupné technologie HFNC mezi sebou. [60]

3 Cíle práce

Analýzou současného stavu problematiky byly zjištěny technologie pro poskytování kyslíkové terapie metodou HFNC neonatologickým pacientům dostupné na českém trhu. V České republice, ani v žádné zemi se srovnatelným systémem zdravotní péče, nebyla dosud provedena studie ekonomické náročnosti těchto systémů a jejich porovnání mezi sebou. Z důvodu každoročního nárůstu počtu předčasně narozených dětí vyžadujících kyslíkovou terapii, a s tím spojených vzrůstajících nákladů na tuto léčbu, se jeví jako velmi vhodné tuto analýzu provést.

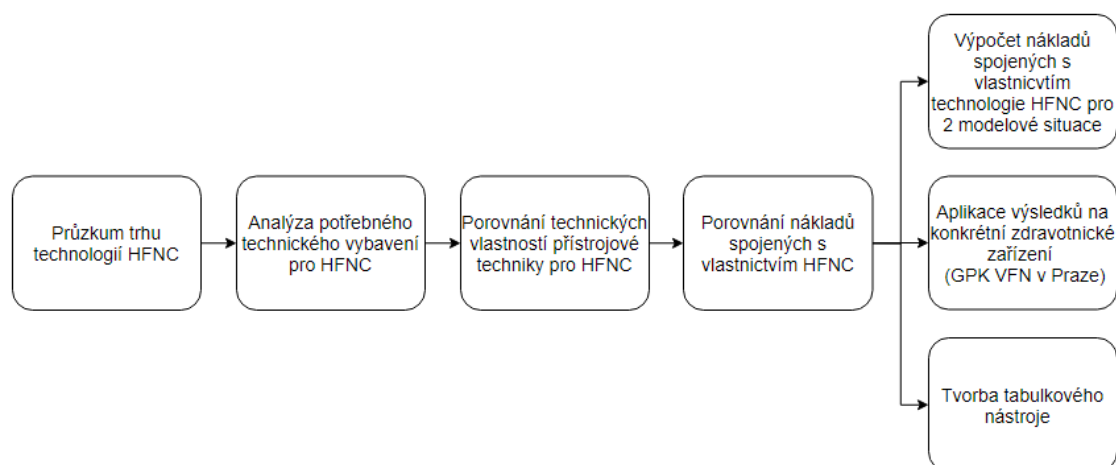
Dílčí cíle diplomové práce:

- analyzovat potřeby technického vybavení zařízení pro HFNC na novorozeneckých odděleních,
- vypracovat srovnání technických vlastností přístrojů,
- porovnat náklady na jednotlivé typy přístrojů, které jsou dostupné v České republice.

Na základě stanovených výsledků bude doporučena i jejich vhodná aplikace pro GPK VFN v Praze. Ve spolupráci s ní je tato práce řešena.

4 Metody

V této kapitole jsou uvedeny a popsány jednotlivé metody využitě pro účely této diplomové práce. Byly zvoleny na základě analýzy současného stavu problematiky a získaných dat. Při řešení práce bylo postupováno podle schématu na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Schéma postupu řešení diplomové práce

4.1 Analýza potřebného technického vybavení HFNC na novorozeneckých odděleních

Cílem této analýzy je zjistit veškeré komponenty sestav pro provoz HFNC na neonatologických oddělení. Informace o veškerém potřebném vybavení byly získány průzkumem trhu a jsou v popise jednotlivých technologií. Veškerá data jsou převzata z oficiálních zdrojů výrobců (návody k použití, propagační materiály, materiály pro distributory) nebo získaná sérií řízených rozhovorů s odborníky na neonatologickou péči z GPK VFN v Praze.

4.2 Srovnání technických vlastností přístrojů

Technické vlastnosti jsou jedním z klíčových parametrů pro výběru konkrétních zdravotnických prostředků. Zdravotnická zařízení mají různé preference a očekávání od dané technologie. Z tohoto důvodu práce obsahuje porovnání technických vlastností technologií dostupných v České republice. Porovnání bylo vypracováno na základě údajů udávaných výrobcí jednotlivých přístrojů.

4.3 Výpočet ekonomické náročnosti technologií HFNC

Hlavním cílem práce je analýza náročnosti provozu přístrojů HFNC na neonatologických oddělení. Pro vzájemné porovnání všech dostupných technologií HFNC na českém trhu byla použita metoda výpočtu celkových nákladů spojených s vlastnictvím (TCO, Total Cost of Ownership). Tato metoda umožňuje komplexní stanovení nákladů na investici včetně nákladů, které vznikají jejím vlastnictvím. TCO není standardizovaná metoda a nejsou tedy definovány přesné kategorie nákladů, které by měla zahrnovat. [38, 39] Zpravidla to ale bývají následující:

- náklady na pořízení technologie, včetně nákladů na instalaci a vyškolení uživatelů ($TCO_{\text{pořízení}}$),
- náklady na provoz (TCO_{provoz}),
- náklady na servis a údržbu (TCO_{servis}),
- náklady na likvidaci ($TCO_{\text{likvidace}}$).

Takto byly rozděleny náklady i v rámci této práce. Celkové náklady spojené s vlastnictvím lze tedy vypočítat podle vzorce:

$$TCO = TCO_{\text{pořízení}} + TCO_{\text{provoz}} + TCO_{\text{servis}} + TCO_{\text{likvidace}} \quad (4.1)$$

Časový rozsah TCO analýzy může být stanoven na základě předpokládané životnosti technologie, popřípadě na jiný časový úsek. Z důvodu velké difference mezi jednotlivými variantami technologií HFNC není možné uvažovat shodnou dobu životnosti všech uvedených přístrojů a je nutné časové období zvolit. [61, 62, 63]

U technologií HFNC je obzvlášť důležité se zaměřit na identifikaci provozních nákladů a jejich kalkulaci. Lze předpokládat, že se jedná o jednu z hlavních položek v celkové analýze HFNC technologií, která často mnohonásobně převyšuje i pořizovací náklady. Nákup levnějšího přístroje může vést v praxi k vysokým nákladům v průběhu jeho životního cyklu. Identifikace nákladových položek byla provedena ve spolupráci s odborníky z GPK VFN v Praze. [61, 62, 63]

4.3.1 Náklady na pořízení

Pořizovací náklady ($TCO_{\text{pořízení}}$) mohou tvořit až 25 % celkových nákladů na technologii. Kromě samotné ceny přístroje do nich byly zahrnuty i náklady na instalaci a dopravu přístroje a následné proškolení personálu. Tyto náklady bývají občas zahrnuty v ceně přístroje, což je nutné ověřit v kupní smlouvě. Do $TCO_{\text{pořízení}}$ byla zahrnuta cena přístrojů a cena příslušenství nutného k provozu. Jejich ceny byly pro účel této práce stanoveny na základě zveřejněných výsledků veřejných zakázek nemocnic zveřejněné na stránce Hlídač státu v letech 2015-2019. Vyhledáváno bylo na základě klíčových slov, kterými vždy byl název přístroje a výrobce. Popřípadě byly ceny doplněny distributory, nebo na základě odhadu experta. [64]

4.3.2 Náklady na provoz

Náklady na provoz byly vypočítány na základě následujícího vzorce pro technologie HFNC typu 1:

$$TCO_{provoz} = OC_{hlavní\ jednotka} + CC \quad (4.2)$$

kde $OC_{hlavní\ jednotka}$ jsou náklady na provoz hlavní jednotky a CC náklady na spotřební materiál a jeho likvidaci.

Náklady na provoz pro typ 2 technologií HFNC byly pak stanoveny na základě vzorce:

$$TCO_{provoz} = OC_{směšovač} + OC_{zvlhčovač} + CC \quad (4.3)$$

kde $OC_{směšovač}$ jsou provozní náklady na směšovač plynu, $OC_{zvlhčovač}$ provozní náklady na zvlhčovač plynu a CC náklady na spotřební materiál a jeho likvidaci.

Hlavní jednotka u typu 1 plní současně funkci směšovače a zvlhčovače plynů. Provozní náklady $OC_{Hlavní\ jednotka}$ lze tedy vypočítat jako:

$$OC_{Hlavní\ jednotka} = OC_{směšovač} + OC_{zvlhčovač} \quad (4.4)$$

Náklady na směšovač pak dle vzorce:

$$OC_{směšovač} = DC + PC \quad (4.5)$$

kde DC jsou náklady na léčiva a PC jsou náklady na lidské zdroje. A provozní náklady na zvlhčovač byly vypočítány dle vzorce:

$$OC_{zvlhčovač} = EC + WCC + PC \quad (4.6)$$

kde EC jsou náklady na energii, WCC náklady na vodu a PC náklady na lidské zdroje.

Náklady na lidské zdroje (PC) byly vypočteny ze superhrubé mzdy pracovníků, kteří se aktivně podílejí na obsluze, na základě expertem odhadnuté časové náročnosti dané technologie.

Náklady na elektrickou energii byly spočteny dle vzorce:

$$EC = P \cdot EP \quad (4.7)$$

kde EC je náklad na hodinu provozu přístroje, P je příkon ve watttech a EP je cena elektrické energie v Kč/W.

Náklady na spotřebu vody (WCC) se odvíjí od délky terapie stejně jako náklady na použitá léčiva (DC). V případě HFNC se jedná pouze o kyslík, cena za jeden litr 100% kyslíku byla stanovena na základě průměrné ceny zveřejněné osmi zdravotnickými zařízeními. Objem léčiva se může měnit podle zdravotního stavu pacienta, proto bylo nutné stanovit průměrnou hodnotu jeho spotřeby na uvažované časové období expertem.

$$DC = C_{kyslík} \cdot FiO_2 \cdot Q \quad (4.4)$$

kde $C_{kyslík}$ cena za 1 litr 100% kyslíku (Kč), FiO_2 je frakce kyslíku a Q je průtok (l/min).

Náklady na spotřební materiál a jeho likvidaci (CC) byly stanoveny na základě zveřejněných výsledků veřejných zakázek nemocnic, nebo od distributorů.

4.3.3 Náklady na servis a údržbu

Nákladů na servis a údržbu (TCO_{servis}) zahrnují položky jako náklady na bezpečnostně technické kontroly (BTK), mimořádné opravy, aktualizace softwaru, náhradní díly a jejich výměnu. Servisní náklady mohou být pevně dané servisní smlouvou, která může být součástí kupní smlouvy, ale i samostatně.

Pro účely práce byly náklady na servis opět získány ze zveřejněných výsledků výběrových řízení nemocnic a na základě informací poskytnutých distributory zdravotnické techniky, popřípadě stanovené expertem.

4.3.4 Náklady na likvidaci

Náklady na likvidaci ($TCO_{likvidace}$) obsahují odborné odinstalování přístroje a následnou ekologickou likvidaci. Výší těchto nákladů lze získat z kupní smlouvy, popřípadě od odborníků z praxe.

4.4 Implementace a interpretace výsledků

4.4.1 Modelové situace

Náklady na servis a údržbu a provozní náklady jsou časově závislé, provozní náklady navíc i na počtu pacientů za dané časové období. Z tohoto důvodu nebylo možné tyto náklady stanovit pro účel TCO paušálně a bylo nutné vytvořit modelové situace, pro které budou tyto náklady v rámci práce určeny a zároveň ověřit funkci tabulkového nástroje.

TCO byla vyhodnocena pro dvě modelové situace, které vychází z reálně možných vstupních dat. V obou byli pacienti rozděleni do čtyř skupin podle průměrné délky poskytované terapie. V první skupině jsou pacienti průměrně připojení na kyslíkovou terapii 29 dní, v druhé skupině 15 dní, ve třetí skupině 6 dní a v poslední, čtvrté skupině, 3 dny. Modelové situace se pak liší v počtu pacientů v jednotlivých skupinách.

V první modelové situaci byly náklady spojené s vlastnictvím technologií HFNC počítány pro data, kde převažuje počet pacientů v první a druhé skupině, tedy ve skupinách s vyšší průměrnou dobou připojení k terapii (viz tabulka 4.1). Tato data odpovídají situaci v GPK VFN v Praze.

Tabulka 4.1: Data o pacientech pro výpočet první modelové situace (převažující pacienti s delší dobou ventilace)

Skupina	1	2	3	4	Celkem
Počet pacientů HFNC	58,5	72	32	21,5	184
Průměrná délka ventilace (dny)	29	15	6	3	-
Období (roky)	5				-

V druhé modelové situaci byly náklady spojené s vlastnictvím HFNC stanoveny na opačný případ, kdy početně převažují pacienti ve třetí a čtvrté skupině, tedy ve skupinách s kratší průměrnou dobou připojení na terapii (viz tabulka 4.2).

Tabulka 4.2: Data o pacientech pro výpočet druhé modelové situace (převažující pacienti s kratší dobou ventilace)

Skupina	1	2	3	4	Celkem
Počet pacientů HFNC	21,5	32	72	58,5	184
Průměrná délka ventilace (dny)	29	15	6	3	-
Období (roky)	5				-

Pro obě modelové situace bylo na základě konzultace s odborníky z GPK zvoleno časové období 5 let, který je průměrnou předpokládanou dobou životnosti těchto technologií.

4.4.2 Citlivostní analýza

Citlivostní analýza umožňuje posoudit vliv změny jakýchkoli vstupních předpokladů, nebo parametrů na celkový výsledek a ověřit, zda jsou získané výsledky robustní, nebo senzitivní na danou změnu. Tím potvrzuje celkovou důvěryhodnost výsledků. U všech ekonomických modelů mohou číselné hodnoty představovat potenciální chyby. Citlivostní analýza tak může být v poněkud širším pojetí také definována jako vyhledávání těchto chyb a sledování jejich dopadu. [65]

V práci byly využity dvě metody citlivostní analýzy: prahová analýza a jednocestná citlivostní analýza (OWSA, One-way Sensitivity Analysis).

Při prahové analýze je jeden parametr variován v celém jeho rozsahu s cílem určit prahovou hodnotu, tedy hodnotu, po jejímž překročení dojde ke změně optimální varianty výsledků. Variované parametry byly určeny na základě analýzy získaných výsledků, tak aby ověřily jejich robustnost.

Jednocestná citlivostní analýza byla využita pro ověření stability výsledků TCO. OWSA sleduje dopad jedné změny jednoho parametru na celkové výsledky. V tomto případě bylo sledováno, jestli změnou jednotlivých vybraných parametrů dojde ke změně varianty s nejnižšími náklady. [66]

4.4.3 Aplikace výsledků pro GPK VFN v Praze

Gynekologicko-porodnická klinika v Praze poskytla pro účel této práce data o průměrném počtu pacientů za jeden rok a délce jejich terapie. Pacienti byli rozděleni do 4 skupin dle gestačního stáří. U každé skupiny pacientů bylo zjištěno, kolik procent novorozenců vyžadovalo kyslíkovou terapii a její průměrná délka. Tyto údaje jsou uvedeny v tabulce 4.3.

Tabulka 4.3: Data o počtu a průměrné délce připojení novorozenců na HFNC v GPK VFN v Praze za jeden rok (GT- gestační týden)

Skupina	1	2	3	4	Celkem
Stáří pacienta	< 28 GT	28 - 31 GT	32 - 36 GT	> 36 GT	-
Celkový počet pacientů	65	90	320	4300	4775
Pacienti na HFNC	90%	80,00%	10,00%	0,05%	-
Počet pacientů HFNC	58,5	72	32	21,5	184
Průměrná délka ventilace (dny)	29	15	6	3	-

V rámci GPK VFN jsou využívány technologie Precision Flow (Vapotherm, USA), Precision Flow Plus (Vapotherm, USA) a kombinace směšovače Neo2Blend a zvlhčovače MR850 (Fisher&Paykel, Nový Zéland).

Výstupem této části práce bude navrhnout optimalizaci provozních nákladů pro jednotlivé skupiny pacientů.

4.4.4 Tabulkový nástroj

Ve zdravotnictví je nutné vycházet ze specifických potřeb jednotlivých zdravotnických zařízení. Vstupní náklady použité pro výčet jednotlivých nákladových položek u technologií HFNC se pro jednotlivá zdravotnická zařízení mohou lišit. Výsledný nástroj této práce umožňuje změnit zadané průměrné náklady na hodnoty konkrétního zdravotnického zařízení a získat tak výsledky přesně dle jeho vstupních podmínek tak, aby byly zohledněny následující skutečnosti:

- technické požadavky konkrétního zdravotnického zařízení na technologii HFNC,
- počet léčených pacientů na kyslíkové terapii HFNC za dané časové období,
- průměrnou dobu připojení pacienta na kyslíkovou terapii (v případě velkého rozptylu je nutné pacienty rozdělit do skupin podle průměrné doby terapie).

Výstupem práce je tabulkový nástroj, který umožňuje individuální řešení nákupu a ekonomického provozu kyslíkové terapie HFNC pro konkrétní neonatologické oddělení. Nástroj byl vytvořen v programu Microsoft Excel a obsahuje potřebná vstupní data, výpočetní postupy a výsledná zjištění pro konkrétní situace.

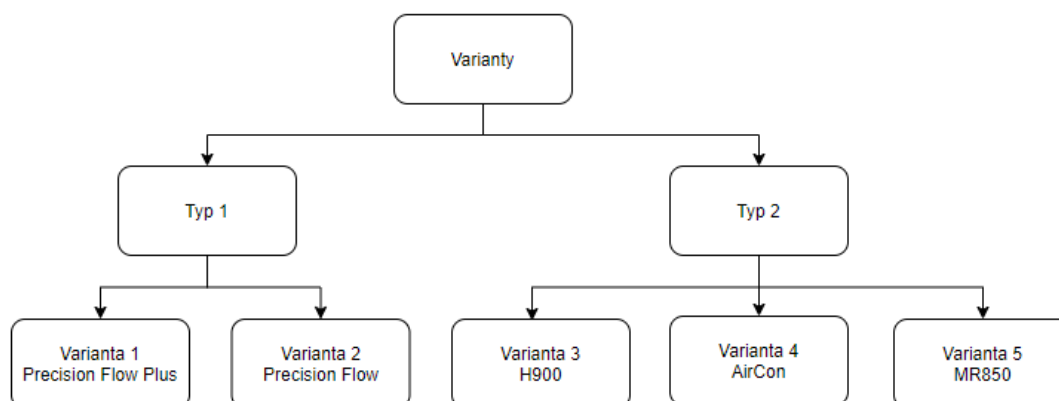
5 Výsledky

V rámci práce byl proveden průzkum trhu technologií HFNC, analýza potřebného technického vybavení zdravotnických zařízení pro provoz terapie HFNC na jejich novorozeneckých odděleních, srovnání technických vlastností přístrojů, porovnání nákladů jednotlivých typů přístrojů pro dvě modelové situace, které simulují reálné podmínky na neonatologických odděleních, a porovnání provozních nákladů v GPK VFN v Praze.

Byl vytvořen tabulkový nástroj v programu Microsoft Excel, který obsahuje použitá data, výpočetní postupy a výsledná zjištění. Umožňuje zároveň získání přesných výsledků pro konkrétní zdravotnické zařízení změnou vstupních dat (např. náklady na léčiva, servis a údržbu), která se v jednotlivých zdravotnických zařízeních liší.

5.1 Přehled variant technologií HFNC dostupných v České republice

Na základě výsledků průzkumu trhu bylo vytvořeno 5 variant technologií HFNC, které jsou dostupné v České republice a vhodné pro neonatologické pacienty. Varianta 1 a 2 jsou systémy typu 1. Varianty 3, 4, a 5 (kritérium typ zvlhčovače) jsou pro systémy typu 2 (viz obrázek 5.1). Na základě kompatibility s různým spotřebním materiálem byly proto ještě rozděleny na podskupiny (a, b, c, ...). Celkový přehled všech 23 kombinací je pak uveden v tabulce 5.1.



Obrázek 5.1: Přehled variant HFNC

Tabulka 5.1: Podrobný přehled variant HFNC včetně spotřebního materiálu (HAM - Hamilton Medical, WIL - Wilamed, FLE - Flexicare, F&P - Fisher&Paykel)

Varianta 1	VAP	Precision Flow Plus				VAP	pacientský okruh		HAM	Nosní kanyla		
Varianta 2	VAP	Precision Flow				VAP	pacientský okruh		HAM	Nosní kanyla		
		Směšovač		Zvlhčovač		Komora		Pacientský okruh		Nosní kanyla		
Varianta 3	a	SECH	Sechrist 3500	HAM	H900	součástí okruhu		HAM	pacientský okruh Hamilton		HAM	NuFlow
	b	BIO	Neo2Blend	HAM	H900	součástí okruhu		HAM	pacientský okruh Hamilton		HAM	NuFlow
	c	FUS	MicroBlend	HAM	H900	součástí okruhu		HAM	pacientský okruh Hamilton		HAM	NuFlow
	d	SECH	Sechrist 3500	HAM	H900	součástí okruhu		HAM	pacientský okruh Hamilton		FLE	Kanyla Flexicare
	e	BIO	Neo2Blend	HAM	H900	součástí okruhu		HAM	pacientský okruh Hamilton		FLE	Kanyla Flexicare
	f	FUS	MicroBlend	HAM	H900	součástí okruhu		HAM	pacientský okruh Hamilton		FLE	Kanyla Flexicare
Varianta 4	a	SECH	Sechrist 3500	WIL	AirCon	WIL	komora C200AF	WIL	okruh Wilamed	WIL	Neo Hi-Flow	
	b	BIO	Neo2Blend									
	c	FUS	MicroBlend									
Varianta 5	a	SECH	Sechrist 3500	F&P	MR850	F&P	komora MR290	F&P	okruh MR300	F&P	Optiflow Junior 2	
	b	BIO	Neo2Blend	F&P	MR850	F&P	komora MR290	F&P	okruh MR300	F&P	Optiflow Junior 2	
	c	FUS	MicroBlend	F&P	MR850	F&P	komora MR290	F&P	okruh MR300	F&P	Optiflow Junior 2	
	d	SECH	Sechrist 3500	F&P	MR850	WIL	komora C200AF	WIL	okruh Wilamed	WIL	Neo Hi-Flow	
	e	BIO	Neo2Blend	F&P	MR850	WIL	komora C200AF	WIL	okruh Wilamed	WIL	Neo Hi-Flow	
	f	FUS	MicroBlend	F&P	MR850	WIL	komora C200AF	WIL	okruh Wilamed	WIL	Neo Hi-Flow	
	g	SECH	Sechrist 3500	F&P	MR850	FLE	součástí okruhu	FLE	okruh Flexicare	FLE	Kanyla Flexicare	
	h	BIO	Neo2Blend	F&P	MR850	FLE	součástí okruhu	FLE	okruh Flexicare	FLE	Kanyla Flexicare	
	i	FUS	MicroBlend	F&P	MR850	FLE	součástí okruhu	FLE	okruh Flexicare	FLE	Kanyla Flexicare	
	j	SECH	Sechrist 3500	F&P	MR850	FLE	součástí okruhu	FLE	okruh Flexicare	HAM	NuFlow	
	k	BIO	Neo2Blend	F&P	MR850	FLE	součástí okruhu	FLE	okruh Flexicare	HAM	NuFlow	
l	FUS	MicroBlend	F&P	MR850	FLE	součástí okruhu	FLE	okruh Flexicare	HAM	NuFlow		

5.2 Výsledky analýzy potřebného technického vybavení zařízení pro HFNC na novorozeneckých odděleních

Na základě údajů od výrobců technologií bylo stanoveno technické vybavení nutné k provozu technologií HFNC.

Nutné vybavení k provozu typu 1 technologie HFNC [38, 39]:

- hlavní jednotka (Precision Flow, nebo Precision Fow Plus),
- sada připojovacích tlakových hadic s rychlospojkami,
- pojízdný výškově nastavitelný stojan s košíkem a závěsnými háky,
- spotřební materiál:
 - patientská sada (přilivová hadice, komora, vysokoprůtoková patrona s vyhříváním okruhem),
 - neonatální nosní kanyla,
 - plynový filtr,
 - kyslíkové senzory.

Nutné vybavení k provozu technologie typu 2 [48, 67-71]:

- směšovač plynu,
- sada přívodních tlakových hadic,
- zvlhčovač,
- snímač teploty (může být součástí zvlhčovače),
- adaptér pro vyhřívání dýchacích okruhů (může být součástí okruhu),
- držák pro upevnění,
- spotřební materiál:
 - zvlhčovací komora (může být součástí okruhu),
 - vyhříváný patientský okruh,
 - neonatální nosní kanyla,
 - fixační nálepky (volitelné).

Přehled potřebných komponent pro konkrétní přístroje je v tabulce 5.2.

Tabulka 5.2: Přehled potřebných komponent pro konkrétní přístroje [48, 67-71]

Přístroj	Komponent
Směšovače	přístroj
	sada přívodních tlakových hadic
AIRcon (Wilamed, Německo)	přístroj
	stojan
	košík pro upevnění
H900 (Hamilton Medical, Švýcarsko)	přístroj
	stojan
	košík pro upevnění
MR850 (Fisher&Paykel, Nový Zéland)	přístroj
	stojan
	košík pro upevnění
	snímač teploty
	vyhřívací adaptér
Precision Flow, Precision Flow Plus (Vapotherm, USA)	hlavní jednotka
	sada připojovacích tlakových hadic s rychlospojkami
	pojízdňový výškově nastavitelný stojan s košíkem a závěsnými háky

Z hlediska umístění přístrojů ve zdravotnickém zařízení je nutné zajistit připojení k rozvodům medicinálních plynů a zdroji energie. Přístroje také musí být v těsné blízkosti pacienta (vzdálenost je omezena délkou patientského okruhu). S přístroji může manipulovat a obsluhovat je pouze odborně proškolený personál. [48, 67-71]

5.3 Výsledky srovnání technických vlastností přístrojů

Všechny komponenty systému HFNC byly porovnány odděleně. Technologie typu 1 (Precision Flow a Precision Flow Plus) byly zahrnuty jak do porovnání směšovačů plynů, tak i zvlhčovačů, neboť zastávají funkci obou těchto přístrojů. Hodnoty jednotlivých parametrů jsou uvedeny v tabulkách 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7.

Tabulka 5.3: Technické a provozní vlastnosti směšovačů plynu [38, 39, 67-69]

	Neo2Blend (Bio-Med Devices, USA)	Sechrist 3500 (Sechrist Industries, USA)	MicroBlender (CareFusion, USA)	Precision Flow (Vapotherm, USA)	Precision Flow Plus (Vapotherm, USA)
Třída rizika	IIb	IIa	IIb	IIa	IIa
Počet výstupních portů	3	1	2	1	1
Průtok	0-50 l/min	0-40 l/min	0-30 l/min	0-40 l/min	0-40 l/min
Vstupní tlak	207-517 k Pa	207-482 kPa	206-344 kPa	28-586 kPa	28-586 kPa
FiO ₂	21-100%	21-100%	21-100%	21-100%	21-100 %
Přesnost FiO ₂	3%	3%	3%	2%	2%
Vstupní konektory	DISS, NIST	DISS	DISS, NIST	DISS	DISS, NIST
Průtokový sensor	ano	externí	ano (externí)	ano	ano
Zvukový alarm	ano	ano	ano	ano	ano
Hlasitost alarmu	80 dB	-	80 dB	47 dB	47 dB
Platnost BTK	12 měsíců	6 měsíců	12 měsíců	6 měsíců	6 měsíců
Test funkčnosti	před každým použitím	před každým použitím	před zahájením používání	-	-
Kalibrace	1 rok	podle potřeby	podle potřeby	samokalibrace	samokalibrace
Kompatibilita s MRI	ano	ne	ne	ne	ne
Filtr proti vniknutí částic	ano	ano	ano	ano	ano
Rozměr (cm)	8,9x5,7x7,3	15,24x15,24x15,	8,9x5,8x9,2	30x20x18	30x20x18
Hmotnost	1,25 kg	2,73 kg	1,25 kg	5,4 kg	4,81 kg
Nutné zaškolení	ano	ano	ano	ano	ano
Sterilizace	do 62 °C	nesterilizuje se	plynová etylenoxidem	-	-
Životnost	-	2 roky	-	-	5 let (použití 150 dní/rok)
Spotřeba energie (W)	Neobsahuje žádné zabudované elektronické části.	Neobsahuje žádné zabudované elektronické části.	Neobsahuje žádné zabudované elektronické části.	170	136

Tabulka 5.4: Technické a provozní vlastnosti zvlhčovačů plynů [38, 39, 48, 70, 71]

	AIRcon (Wilamed, Německo)	H900 (Hamilton Medical, Švýcarsko)	MR850 (Fisher&Paykel, Nový Zéland)	Precision Flow (Vapotherm, USA)	Presision Flow Plus (Vapotherm, USA)
Třída rizika	IIb	IIb	IIa	IIa	IIa
Průtok (l/min)	1-80	1-120	1-60	1-40	1-40
Teplota (°C)	28-40,5	30-41 (po 0,5)	31, 37	33-43 (po 1)	33-43 (po 1)
Přesnost (°C)	-	1	1	2	2
Čas zahřátí (min)	15	30	< 30	< 5	< 5
Vlhkost (mg/l)	33	33	-	-	-
Typ zvlhčení	průchodové zahřívání	průchodové zahřívání	průchodové zahřívání	membránové zahřívání a zvlhčení	membránové zahřívání a zvlhčení
Sterilizace	ne	ne	ne	ano	ano
Příslušenství	kabel teplotní sondy, el. adaptér pro topné dráty, el. Síťový kabel 230V	stojan, držák, adaptér topného vodiče, teplotní sonda	komora, adaptér topného vodiče, držák, snímač teploty, dýchací okruh	sada připojovacích tlakových hadic s rychlospojkami, pojízdny výškově nastavitelný stojan s košíkem a závěsnými háky	sada připojovacích tlakových hadic s rychlospojkami, pojízdny výškově nastavitelný stojan s košíkem a závěsnými háky
Zvukový alarm	ano	ano	ano	ano	ano
Platnost BTK	1 rok	1 rok	1 rok	6 měsíců	6 měsíců
Připojení k elektronické kartě pacienta	ne	ne	ne	ne	ano
Možnost transportu pacienta	ne	ne	ne	ano	ano
Provozní režimy	NIV, IV, FREE	NIV, IV, Auto	-	-	-
Kompatibilita s MRI	ne	ne	ne	ne	ne
Interní baterie	ne	ne	ne	ano (15 minut)	ano (15 min)
Rozměry (cm)	17x14,5x20	18x16x19	14x17,3x13,5	30x20x18	30x20x18
Hmotnost (kg)	2,8	2,5	2,8	5,4	4,81
Spotřeba energie (W)	170	192	150	170	136
Spotřeba energie na vyhřívání okruhu (W)	30	30	30	30	30

Tabulka 5.5: Technické a provozní vlastnosti patientských okruhů [72- 76]

	Dýchací okruh BTS1235A (Wilamed, Německo)	MR300 (Fisher&Paykel, Nový Zéland)	Hamilton BC8022 (Hamilton Medical, Švýcarsko)	Okruh s vyhříváním (Flexicare, Velká Británie)	Vyhřívání okruh (Vapotherm, USA)
Maximální doba použití	7 dní	7 dní	28 dní	7 dní	30 dní
Komora součástí sady	ne	může	ano	ne	ano
Třída rizika	IIa	IIa	IIb	IIa	IIa

Tabulka 5.6: Technické a provozní vlastnosti zvlhčovacích komor [72, 77, 78]

	MR290 (Fisher&Paykel, Nový Zéland)	Zvlhčovací komora s automatickým plněním (Flexicare, Velká Británie)	Komora C200AF 500.300 (Wilamed, Německo)
Maximální doba	14 dní	7 dní	7 dní
Třída rizika	Ila	Ila	Ila

Tabulka 5.7: Technické a provozní vlastnosti nosních kanyl [72, 79, 80, 81]

	Neo Hi- Flow (Wilamed, Německo)	NuFlow (Hamilton Medical, Švýcarsko)	OptiFlow Junior 2 (Fisher&Paykel, Nový Zéland)	High Flow nosní kanyla (Flexicare, Velké Británie)	Precision Flow (Vapotherm, USA)
Počet velikostí	4	4	5	4	5
Průtok	1-6 l/min	1-8 l/min	0,5-25 l/min	1-8 l/min	1-8 l/min
Maximální doba použití	7 dní	7 dní	7 dní	7 dní	30 dní
Fixační nálepky	ne	ano	ano	ne	ne
Třída rizika	Ila	Ila	Ila	Ila	Ila

5.4 Výsledky porovnání nákladů spojených s vlastnictvím technologií HFNC

Všechny náklady jsou uvedeny v českých korunách. Ceny jsou uvedeny včetně DPH.

5.4.1 Pořizovací náklady

Pořizovací náklady byly vyhodnoceny na základě zveřejněných kupních smluv z veřejných zakázek. V pořizovacích nákladech každého přístroje byly zahrnuty i náklady na povinné příslušenství uvedené v tabulce 5.2. Ve všech použitých kupních smlouvách byla cena uvedena včetně nákladů na dopravu, instalaci a zaškolení obsluhy. U daných přístrojů není nutné počítat s náklady na stavební úpravy, neboť všechny přístroje mají poměrně malé rozměry. V tabulce 5.8 jsou vyčísleny pořizovací náklady na všechny varianty.

Tabulka 5.8: Náklady na pořízení jednotlivých přístrojů (VAP – VapoTherm, HAM – Hamilton Medical, SECH – Sechrist, BIO – Bio-Med Devices, FUS – FusionCare, WIL – Wilamed, F&P – Fisher&Paykel)

Varianta 1		VAP Precision Flow Plus				Celkem
		285 469,20				285 469,20
Varianta 2		VAP Precision Flow				213 900,70
		213 900,70				
		Směšovač		Zvlhčovač		
Varianta 3	a, d	SECH	Sechrist 3500	HAM	H900	145 241,98
		59 527,53		85 714,45		
	b, e	BIO	Neo2Blend	HAM	H900	133 410,53
		47 696,08		85 714,45		
	c, f	FUS	MicroBlend	HAM	H900	137 601,45
		51 887,00		85 714,45		
Varianta 4	a	SECH	Sechrist 3500	WIL	AirCon	139 224,00
		59 527,53		79 696,47		
	b	BIO	Neo2Blend	WIL	AirCon	127 392,55
		47 696,08		79 696,47		
	c	FUS	MicroBlend	WIL	AirCon	131 583,47
		51 887,00		79 696,47		
Varianta 5	a, d, g, j	SECH	Sechrist 3500	F&P	MR850	123 908,64
		59 527,53		64 381,11		
	b, e, h, k	BIO	Neo2Blend	F&P	MR850	112 077,19
		47 696,08		64 381,11		
	c, f, i, l	FUS	MicroBlend	F&P	MR850	116 268,11
		51 887,00		64 381,11		

Z hlediska pořizovacích nákladů je typ 2 technologií HFNC až dvojnásobně méně nákladný než typ 1. Zcela nejnižší pořizovací náklady jsou na variantu 5 – směšovač plynů Neo2Blend (Bio-Med Devices, USA), zvlhčovač plynů MR 850 (Fisher&Paykel, Nový Zéland).

5.4.2 Náklady na provoz

Ceny jednotlivých položek byly stanoveny na základě průměrných cen z několika zdravotnických zařízení. Pokud zde nebyly ceny dostupné, byly poskytnuty odborníky. Ti stanovili i provozní parametry (průměrná hodnota FiO_2 a průměrná hodnota průtoku Q – viz tabulka 5.9).

Náklady na elektrickou energii (EC) byly vyčísleny na základě vzorce 4.3 a cena 1 kWh byla v roce 2018 průměrně 1,97 Kč. Kromě spotřeby samotných přístrojů je

nutné připočítat i cenu za energii spotřebovanou pro vyhřívání patientského okruhu, jehož adaptér má příkon 30 W. [39]

Na základě Informačního systému o průměrném výdělku (ISPV), kde lze nalézt výše průměrných platů zdravotnických pracovníků, byly stanoveny náklady na hrubý plat lékaře na 82 390 Kč a všeobecné zdravotní sestry na 48 184 Kč. [82]

V porovnání nákladu na lidské zdroje byl uvažován pouze čas, který sestry a lékaři stráví nastavením přístrojů a výměnou patientských okruhů. Předpokládaná doba přípravy přístroje pro užití je 10 minut u typu 1 technologie HFNC - Precision Flow a Precision Flow Plus. U typu 2, u kterého je nutné zapojit a nastavit více komponent, byl odborníkem v GPK VFN odhadnut čas nastavení přístrojů na 15 minut. Dalších 6 minut je nutné počítat na pravidelnou výměnu patientského okruhu a přibližně 10 minut denně na pravidelné kontroly.

Náklady na jeden litr kyslíku byly stanoveny na základě průměrné ceny získané z 8 zdravotnických zařízení na 0,52 Kč/l 100% kyslíku. Výše nákladů na spotřební materiál se odvíjí od délky terapie. Následná likvidace spotřebního materiálu byla vyčíslena na 2,20 Kč/kg. [83] Nejedná se o nebezpečný zdravotnický odpad a likvidace je zajišťována externí firmou.

Tabulka 5.9: Vstupní data pro výpočet provozních nákladů

Náklady na lidské zdroje (průměrná superhrubá mzda lékaře a sestry, Kč)	82 390,00	56 697,00
Náklady na zaškolení (Kč)	v ceně přístroje	
Náklady na energie (Kč/kWh)	1,97	
Náklady na 100% mediální kyslík (Kč/l)	0,52	
Průměrná FiO₂	0,30	
Průměrný průtok (l/min)	3,00	
Náklady na likvidaci (Kč/kg)	2,20	
Váha patientské sady (kg)	0,20	
Likvidace 1 patientské sady (Kč)	0,44	

Provozní náklady pro typ 1 technologií HFNC vypočtené podle vzorce 4.4 jsou v tabulce 5.10. Fixní náklady zahrnují náklady na lidské zdroje (počáteční nastavení přístroje). Mezní náklady udávají částku, kterou je nutné přičíst k fixním nákladům pro každý započatý den terapie. Tyto náklady zahrnují náklady na léčiva, destilovanou vodu pro zvlhčení plynu, elektrickou energii a lidské zdroje (kontrola funkce a úprava nastavení). Provozní náklady na obě technologie tohoto typu jsou téměř totožné. Liší se pouze rozdílnou spotřebou elektrické energie udávanou výrobcem. Spotřeba Precision Flow Plus je o 36 W/h nižší. Pro stanovení celkových provozních nákladů ta typ 1 je nutné ještě připočítat náklady na spotřební materiál (viz vzorec 4.2).

Tabulka 5.10: Provozní náklady na typ 1 technologie HFNC pro jednoho pacienta

	Fixní náklady	Mezní náklady	Náklady na 1 den
Precision Flow Plus (Vapotherm,	88,59	739,41	828,00
Precision Flow (Vapotherm, USA)	88,59	741,02	829,61
Nejnižší náklady	88,59	739,41	828,00

U typu 2 technologií HFNC byly nejprve odděleně stanoveny provozní náklady na směšovače a zvlhčovače plynů. V tabulce 5.11 jsou provozní náklady na směšovače plynů. Ty byly vypočteny na základě vzorce 4.5. Fixní náklady opět zahrnují náklady na lidské zdroje (počáteční nastavení přístroje). Mezní pak náklady zahrnují především spotřebu kyslíku, vody a náklady na lidské zdroje (kontrola funkce a úprava nastavení). Provozní náklady na jednotlivé směšovače plynů různých výrobců jsou shodné.

Tabulka 5.11: Provozní náklady na směšovače plynů pro jednoho pacienta

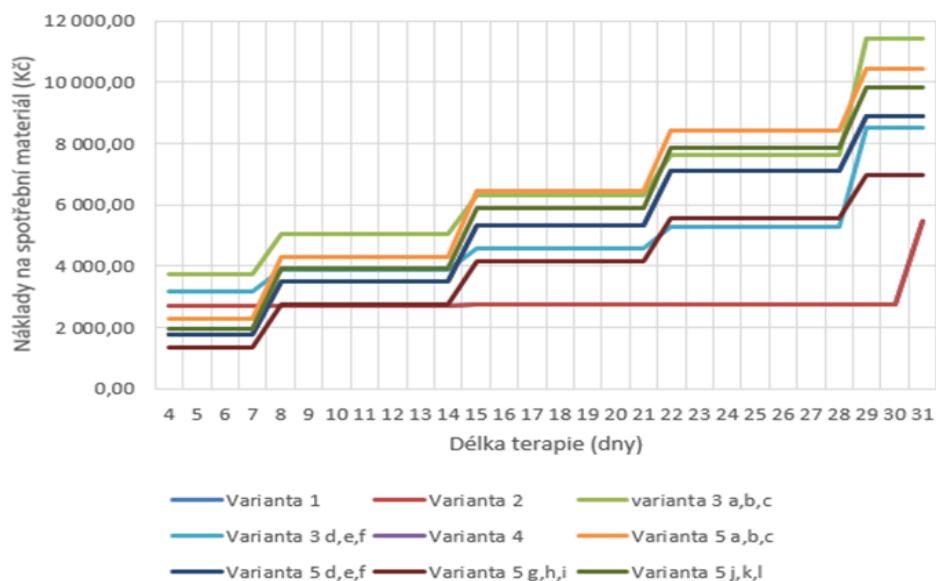
	Fixní náklady	Mezní náklady	Náklady na 1 den
Sechrist 3500 (Sechrist, USA)	29,53	673,92	703,45
Neo2Blend (Bio-Med Devices, USA)	29,53	673,92	703,45
MicroBlender (CareFusion, USA)	29,53	673,92	703,45
Nejnižší náklady	29,53	673,92	703,45

V tabulce 5.12 jsou náklady na zvlhčovače plynů vypočtené dle vzorce 4.6. Náklady na provoz zvlhčovačů jsou pro jednotlivé přístroje odlišné. Rozdíl je způsoben různou spotřebou elektrické energie uváděnou výrobcem. Nejnižší provozní náklady má zvlhčovač MR 850.

Tabulka 5.12: Provozní náklady na zvlhčovače plynů pro jednoho pacienta

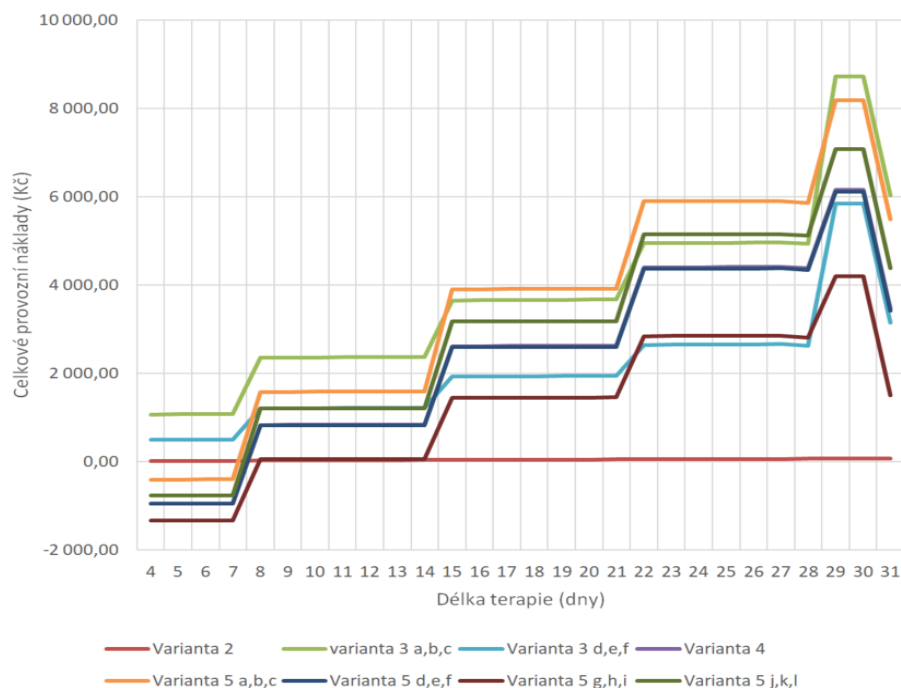
	Fixní náklady	Mezní náklady	Náklady na 1 den
H900 (Hamilton Medical, Švýcarsko)	59,06	68,14	127,20
AirCon (Wilamed, Německo)	59,06	67,10	126,16
MR 850 (Fisher&Paykel, Nový	59,06	66,15	125,21
Nejnižší náklady	59,06	66,15	125,21

Dále byly určeny náklady na spotřební materiál pro jednoho pacienta v závislosti na čase (viz graf na obrázku 5.2). Ty jsou zpočátku nejnižší pro variantu 5 g, h, i, typu 2, ale s narůstající délkou provozu se stává výhodnější obě varianty typu 1 (varianta 1 a 2).



Obrázek 5.2: Náklady na spotřební materiál v závislosti na délce terapie pro jednoho pacienta

Na základě stanovených dílčích nákladů byly vypočteny celkové provozní náklady pro jednoho pacienta pro jednotlivé varianty technologií HFNC (dle vzorce 4.2 pro technologie typu 2 a dle vzorce 4.3 pro technologie typu 2). Výsledky zobrazené v grafu na obrázku 5.3 porovnávají náklady na jednotlivé varianty s náklady na variantu 1, která má převážnou většinu sledovaného období nejnižší provozní náklady.



Obrázek 5.3: Porovnání celkových provozních nákladů všech variant s variantou 1 v závislosti na délce terapie pro jednoho pacienta

5.4.3 Náklady na servis a údržbu

Součástí celkových nákladů na servis a údržbu jsou náklady na bezpečnostně-technické kontroly (BTK), kalibrace, náhradní díly a jejich výměnu. Aktualizace softwaru nejsou u žádného z daných přístrojů nutné.

U technologií HFNC typu 1 Precision Flow a Precision Flow Plus je BTK prováděna každých 6 měsíců, jednou za 12 měsíců musí být vyměněny i vstupní mikrofiltry a kyslíkové senzory. Každý druhý rok pak výrobce doporučuje vyměnit interní baterii. [38, 39]

U směšovačů plynů je nutné kromě pravidelné BTK (platnost se u jednotlivých přístrojů liší) provádět kalibraci v intervalu 12 měsíců. Současně je každých 12 měsíců nutné provést čištění, nebo výměnu vstupních filtrů směšovače. Tato údržba bývá prováděna současně s BTK. [67-69]

Stejně tak u zvlhčovačů plynů je nutné provádět pravidelné kalibrace tepelných snímačů v intervalu 12 měsíců. Ve stejném intervalu se provádí i BTK. Každých 6 měsíců je pak nutné provést vizuální kontrolu všech částí, která je popsána v technickém manuálu. [48, 70, 71, 84]

Celkové náklady na servis a údržbu jednotlivých variant technologií HFNC pro období 1-6 let jsou uvedeny v tabulce 5.13. Nejnižší náklady na servis a údržbu jsou pro variantu 5b, 5e, 5h a 5k typu 2.

Tabulka 5.13: Náklady na servis a údržbu jednotlivých variant technologií HFNC

Čas (roky)	1	2	3	4	5	6	
Varianta 1	17 253,39	36 206,78	53 460,17	72 413,56	89 666,95	108 620,34	
Varianta 2	16 114,78	33 929,56	50 044,34	67 859,12	83 973,90	101 788,68	
Varianta 3	a, d	14 941,29	29 882,57	44 823,86	59 765,14	74 706,43	89 647,72
	b, e	14 640,00	29 280,00	43 920,00	58 560,00	73 200,00	87 840,00
	c, f	15 600,00	31 200,00	46 800,00	62 400,00	78 000,00	93 600,00
Varianta 4	a	16 766,29	33 532,57	50 298,86	67 065,14	83 831,43	100 597,72
	b	16 465,00	32 930,00	49 395,00	65 860,00	82 325,00	98 790,00
	c	17 425,00	34 850,00	52 275,00	69 700,00	87 125,00	104 550,00
Varianta 5	a, d, g, j	14 418,62	28 837,24	43 255,86	57 674,48	72 093,10	86 511,72
	b, e, h, k	14 117,33	28 234,67	42 352,00	56 469,33	70 586,67	84 704,00
	c, f, i, l	15 077,33	30 154,67	45 232,00	60 309,33	75 386,67	90 464,00
Nejnižší náklady	14 117,33	28 234,67	42 352,00	56 469,33	70 586,67	84 704,00	

5.4.4 Náklady na likvidaci

U žádného z přístrojů pro terapii HFNC není nutné odborné odinstalování. Náklady na likvidaci byly expertem odhadnuty na 2 500 Kč pro technologie typu 1 a na 2 000 Kč pro technologie typu 2. Náklady na likvidaci jednotlivých variant jsou uvedené v tabulce 5.14.

Tabulka 5.14: Náklady na likvidaci jednotlivých variant technologií HFNC (VAP – Vapotherm, HAM – Hamilton Medical, SECH – Sechrist, BIO – Bio-Med Devices, FUS – FusionCare, WIL – Wilamed, F&P – Fisher&Paykel)

Varianta 1		VAP	Precision Flow Plus		Celkem 2 500,00	
		2 500,00				
Varianta 2		VAP	Precision Flow		2 500,00	
		2 500,00				
Varianta 3	a, d	Směšovač		Zvlhčovač		2 000,00
		SECH	Sechrist 3500	HAM	H900	
	b, e	BIO	Neo2Blend	HAM	H900	2 000,00
		500,00		1 500,00		
	c, f	FUS	MicroBlend	HAM	H900	2 000,00
		500,00		1 500,00		
Varianta 4	a	SECH	Sechrist 3500	WIL	AirCon	2 000,00
		500,00		1 500,00		
	b	BIO	Neo2Blend	WIL	AirCon	2 000,00
		500,00		1 500,00		
	c	FUS	MicroBlend	WIL	AirCon	2 000,00
		500,00		1 500,00		
Varianta 5	a, d, g, j	SECH	Sechrist 3500	F&P	MR850	2 000,00
		500,00		1 500,00		
	b, e, h, k	BIO	Neo2Blend	F&P	MR850	2 000,00
		500,00		1 500,00		
	c, f, i, l	FUS	MicroBlend	F&P	MR850	2 000,00
		500,00		1 500,00		

5.5 Modelové situace

V rámci práce byly vyhodnoceny náklady spojené s vlastnictvím terapie HFNC pro dvě modelové situace.

Náklady na pořízení technologií HFNC, servis a údržbu a likvidaci jsou pro obě modelové situace shodné. Náklady na pořízení a likvidaci lze považovat za jednorázové, proto byla pro obě modelové situace využita data uvedená v tabulce 4.1 a 4.2.

Na základě stanoveného období 5 let, které je opět shodné pro obě modelové situace byly vypočteny náklady na servis a údržbu jednotlivých variant (viz tabulka 5.15).

Tabulka 5.15: Náklady na servis a údržbu jednotlivých variant HFNC na 5 let (VAP – Vapotherm, HAM – Hamilton Medical, SECH – Sechrist, BIO – Bio-Med Devices, FUS – FusionCare, WIL – Wilamed, F&P – Fisher&Paykel)

Varianta 1		VAP	Precision Flow Plus				Celkem
		89 666,95					89 666,95
Varianta 2		VAP	Precision Flow				83 973,90
		83 973,90					
		Směšovač		Zvlhčovač			
Varianta 3	a, d	SECH	Sechrist 3500	HAM	H900	74 706,43	
		59 206,43		15 500,00			
	b, e	BIO	Neo2Blend	HAM	H900	73 200,00	
		57 700,00		15 500,00			
	c, f	FUS	MicroBlend	HAM	H900	78 000,00	
		62 500,00		15 500,00			
Varianta 4	a	SECH	Sechrist 3500	WIL	AirCon	83 831,43	
		59 206,43		24 625,00			
	b	BIO	Neo2Blend	WIL	AirCon	82 325,00	
		57 700,00		24 625,00			
	c	FUS	MicroBlend	WIL	AirCon	87 125,00	
		62 500,00		24 625,00			
Varianta 5	a, d, g, j	SECH	Sechrist 3500	F&P	MR850	72 093,10	
		59 206,43		12 886,67			
	b, e, h, k	BIO	Neo2Blend	F&P	MR850	70 586,67	
		57 700,00		12 886,67			
	c, f, i, l	FUS	MicroBlend	F&P	MR850	75 386,67	
		62 500,00		12 886,67			

Průměrná délka terapie pacienta má vliv pouze na provozní náklady. Ty ovšem tvoří majoritní podíl na nákladech spojených s vlastnictvím technologie HFNC. Průměrné délky terapie pro jednotlivé skupiny pacientů jsou v obou modelových situacích shodné. Provozní náklady tedy byly nejdříve vyčísleny pouze pro jednoho pacienta z každé skupiny. V tabulce 5.16 jsou provozní náklady na hlavní jednotku technologie HFNC typu 1. V tabulkách 5.17 a 5.18 jsou provozní náklady na směšovače a zvlhčovače plynu.

Tabulka 5.16: Tabulka provozních nákladů na hlavní jednotku pro jednoho pacienta v závislosti na délce terapie pro obě modelové situace

Skupina	1	2	3	4
Precision Flow Plus (Vapotherm, USA)	21 531,46	11 179,73	4 525,05	2 306,82
Precision Flow (Vapotherm, USA)	21 578,08	11 203,84	4 534,69	2 311,64
Nejnižší náklady	21 531,46	11 179,73	4 525,05	2 306,82

Tabulka 5.17: Tabulka provozních nákladů směšovačů plynů na jednoho pacienta v závislosti na délce terapie pro obě modelové situace

Skupina	1	2	3	4
Sechrist 3500 (Sechrist, USA)	19 573,21	10 138,33	4 073,05	2 051,29
Neo2Blend (Bio-Med Devices, USA)	19 573,21	10 138,33	4 073,05	2 051,29
MicroBlender (CareFusion, USA)	19 573,21	10 138,33	4 073,05	2 051,29
Nejnižší náklady	19 573,21	10 138,33	4 073,05	2 051,29

Tabulka 5.18: Provozní náklady na zvlhčovače plynů na jednoho pacienta v závislosti na délce terapie pro obě modelové situace

Skupina	1	2	3	4
H900 (Hamilton Medical, Švýcarsko)	2 035,04	1 081,12	467,88	263,47
AirCon (Wilamed, Německo)	2 004,87	1 065,51	461,64	260,35
MR 850 (Fisher&Paykel, Nový Zéland)	1 977,45	1 051,33	455,97	257,51
Nejnižší náklady	1 977,45	1 051,33	455,97	257,51

Následovně byly vypočítány náklady na spotřební materiál pro jednoho pacienta z každé skupiny, tedy na 29, 15, 6 a 3 dny (viz tabulka 5.19). Pro první dvě skupiny, vyšly nejvýhodněji technologie HFNC typu 1, tedy Precision Flow Plus a Precision Flow od výrobce Vapotherm. Pro 3. a 4. skupinu, tedy pro pacienty s kratší dobou terapie, byly nejnižší náklady na spotřební materiál výrobce Flexicare (varianta 5g, 5h a 5i typu 2).

Tabulka 5.19: Náklady na spotřební materiál pro jednoho pacienta v závislosti na délce terapie pro obě modelové situace

Skupina		1	2	3	4
Varianta 1		2 755,29	2 728,78	2 711,74	2 706,06
Varianta 2		2 755,29	2 728,78	2 711,74	2 706,06
Varianta 3	a, b, c	11 404,61	6 321,39	3 760,93	3 755,25
	d, e, f	8 526,08	4 594,27	3 185,22	3 179,54
Varianta 4		8 875,86	5 306,80	1 747,20	1 741,52
Varianta 5	a, b, c	10 949,56	6 618,62	2 297,14	2 291,46
	d, e, f	8 875,86	5 306,80	1 747,20	1 741,52
	g, h, i	6 964,82	4 160,17	1 364,99	1 359,31
	j, k, l	9 843,35	5 887,29	1 940,70	1 935,02
Nejnižší náklady		2 755,29	2 728,78	1 364,99	1 359,31

Na základě uvedených dat byly vypočteny celkové provozní náklady na jednotlivé varianty technologií HFNC pro novorozence na období 5 let pro obě modelové situace. Celkové provozní náklady pro první modelovou situaci, kdy převládají pacienti v prvních dvou skupinách, tedy s delší dobou připojení na terapii (29 dní a 15 dní), jsou vyčísleny v tabulce 5.20. Nejnižší provozní náklady měly technologie prvního typu Precision Flow Plus a Precision Flow od výrobce VapoTherm.

Tabulka 5.20: Celkové provozní náklady pro první modelovou situaci na 5 let (převažující pacienti s delší průměrnou dobou terapie)

Skupina	1	2	3	4	Celkové provozní náklady na zvolené období	
Varianta 1	7 099 863	5 004 521	1 157 439	538 738	13 800 561	
Varianta2	7 113 499	5 013 201	1 158 983	539 256	13 824 939	
Varianta 3	a, b, c	9 652 265	6 312 156	1 327 851	652 379	17 944 650
	d, e, f	8 810 295	5 690 394	1 235 738	590 490	16 326 917
Varianta 4	8 903 834	5 941 329	1 004 656	435 568	16 285 388	
Varianta 5	a, b, c	9 502 370	6 408 478	1 091 739	494 382	17 496 968
	d, e, f	8 895 813	5 936 223	1 003 748	435 263	16 271 048
	g, h, i	8 336 833	5 523 438	942 595	394 176	15 197 042
	j, k, l	9 178 803	6 145 200	1 034 708	456 064	16 814 776
Nejnižší náklady	7 099 863	5 004 521	942 595	394 176	13 800 561	

Celkové provozní náklady na druhou modelovou situaci, kdy převládají pacienti v třetí a čtvrté skupině, tedy s kratší dobou připojení na terapii (6 dní a 3 dny), jsou vyčísleny v tabulce 5.21. Nejnižší náklady na pak měla varianta 5g, 5h a 5i.

Tabulka 5.21: Celkové provozní náklady pro druhou modelovou situaci na 5 let (převažující pacienti s kratší průměrnou dobou terapie)

Skupina	1	2	3	4	Celkové provozní náklady na zvolené období	
Varianta 1	2 609 351	2 224 232	2 604 239	1 465 867	8 903 689	
Varianta2	2 614 363	2 228 090	2 607 711	1 467 278	8 917 441	
Varianta 3	a, b, c	3 547 413	2 805 403	2 987 664	1 775 077	11 115 558
	d, e, f	3 237 972	2 529 064	2 780 410	1 606 683	10 154 129
Varianta 4	3 272 349	2 640 591	2 260 477	1 185 150	9 358 567	
Varianta 5	a, b, c	3 492 324	2 848 212	2 456 412	1 345 178	10 142 126
	d, e, f	3 269 401	2 638 321	2 258 434	1 184 320	9 350 477
	g, h, i	3 063 964	2 454 861	2 120 839	1 072 524	8 712 189
	j, k, l	3 373 406	2 731 200	2 328 093	1 240 918	9 673 618
Nejnižší náklady	2 609 351	2 224 232	2 120 839	1 072 524	8 712 189	

Sečtením nákladů na pořízení, servis a údržbu, provoz a nákladů na likvidaci byly získány celkové náklady spojené s vlastnictvím technologie HFNC pro obě modelové situace.

V první modelové situaci (převažující pacienti s delší dobou terapie) jsou náklady na jednotlivé varianty uvedeny v tabulce 5.22. Nejnižší náklady spojené s vlastnictvím má pro zvolený zvolené počty pacientů varianta 1, tedy přístroj Precision Flow (Vapotherm, USA). Naopak nejvyšší náklady spojené s vlastnictvím za daných podmínek představuje varianta 3a (směšovač plynů Sechrist 3500, zvlhčovač H900 a spotřební materiál Hamilton Medical). Rozdíl mezi variantou s nejnižšími náklady spojenými s vlastnictvím a variantou s nejvyššími je 4 046 552 Kč.

Tabulka 5.22: Výsledky TCO jednotlivých variant technologií HFNC pro první modelovou situaci (předpokládaná doba provozu 5 let)

		Celkové náklady na pořízení, servis a likvidaci	Celkové náklady na provoz na 5 let	Celkové náklady spojené s vlastnictvím	Pořadí
Varianta 1		377 636,15	13 800 561,16	14 178 197,31	2
Varianta 2		300 374,60	13 824 939,20	14 125 313,80	1
Varianta 3	a	221 948,41	17 944 650,38	18 166 598,79	23
	b	208 610,53	17 944 650,38	18 153 260,91	21
	c	217 601,45	17 944 650,38	18 162 251,83	22
	d	221 948,41	16 326 916,80	16 548 865,21	13
	e	208 610,53	16 326 916,80	16 535 527,33	12
	f	221 948,41	16 326 916,80	16 548 865,21	13
Varianta 4	a	225 055,43	16 285 387,59	16 510 443,02	11
	b	211 717,55	16 285 387,59	16 497 105,13	9
	c	220 708,47	16 285 387,59	16 506 096,06	10
Varianta 5	a	198 001,74	17 496 968,11	17 694 969,84	20
	b	184 663,85	17 496 968,11	17 681 631,96	18
	c	193 654,78	17 496 968,11	17 690 622,88	19
	d	198 001,74	16 271 047,56	16 469 049,30	8
	e	184 663,85	16 271 047,56	16 455 711,42	6
	f	193 654,78	16 271 047,56	16 464 702,34	7
	g	198 001,74	15 197 041,95	15 395 043,68	5
	h	184 663,85	15 197 041,95	15 381 705,80	3
	i	193 654,78	15 197 041,95	15 390 696,72	4
	j	198 001,74	16 814 775,52	17 012 777,26	17
	k	184 663,85	16 814 775,52	16 999 439,38	15
l	193 654,78	16 814 775,52	17 008 430,30	16	
Nejnižší náklady		184 663,85	13 800 561,16	14 125 313,80	

Náklady spojené s vlastnictvím na jednotlivé varianty v případě druhé modelové situace, kdy převažují pacienti s kratší dobou terapie, jsou uvedeny v tabulce 5.23. Nejnižší náklady spojené s vlastnictvím má pro zvolený zvolené spektrum pacientů varianta 5h (směšovač plynů Neo2Blend, zvlhčovač MR 850 a spotřební materiál od výrobce Flexicare). Nejvyšší náklady spojené s vlastnictvím za daných podmínek

představuje opět varianta 3a (směšovač plynů Sechrist 3500, zvlhčovač H900 a spotřební materiál Hamilton Medical). Rozdíl mezi variantou s nejnižšími náklady spojenými s vlastnictvím a variantou s nejvyššími je 2 446 383 Kč.

Tabulka 5.23: Výsledky TCO jednotlivých variant technologií HFNC pro druhou modelovou situaci (předpokládaná doba provozu 5 let)

		Celkové náklady na pořízení, servis a likvidaci	Celkové náklady na provoz na 5 let	Celkové náklady spojené s vlastnictvím	Pořadí
Varianta 1		377 636,15	8 903 689,04	9 281 325,19	5
Varianta 2		300 374,60	8 917 441,37	9 217 815,97	4
Varianta 3	a	221 948,41	11 115 557,83	11 337 506,24	23
	b	208 610,53	11 115 557,83	11 324 168,36	21
	c	217 601,45	11 115 557,83	11 333 159,28	22
	d	221 948,41	10 154 128,98	10 376 077,39	19
	e	208 610,53	10 154 128,98	10 362 739,50	18
	f	221 948,41	10 154 128,98	10 376 077,39	19
Varianta 4	a	225 055,43	9 358 566,80	9 583 622,23	11
	b	211 717,55	9 358 566,80	9 570 284,35	9
	c	220 708,47	9 358 566,80	9 579 275,27	10
Varianta 5	a	198 001,74	10 142 126,48	10 340 128,22	17
	b	184 663,85	10 142 126,48	10 326 790,33	15
	c	193 654,78	10 142 126,48	10 335 781,26	16
	d	198 001,74	9 350 477,19	9 548 478,93	8
	e	184 663,85	9 350 477,19	9 535 141,04	6
	f	193 654,78	9 350 477,19	9 544 131,97	7
	g	198 001,74	8 712 189,15	8 910 190,89	3
	h	184 663,85	8 712 189,15	8 896 853,01	1
	i	193 654,78	8 712 189,15	8 905 843,93	2
	j	198 001,74	9 673 618,01	9 871 619,74	14
	k	184 663,85	9 673 618,01	9 858 281,86	12
l	193 654,78	9 673 618,01	9 867 272,78	13	
Nejnižší náklady		184 663,85	8 712 189,15	8 896 853,01	

5.5.1 Citlivostní analýza

Citlivostní analýza byla provedena z důvodu ověření robustnosti získaných výsledků. Nejdříve byl prahovou analýzou zkoumán vliv délky terapie na volbu varianty s nejnižšími celkovými provozními náklady. Z grafu na obrázku 5.2 je evidentní, že se varianta s nejnižšími provozními náklady mění právě v závislosti na délce terapie. A bylo tedy nutné určit prahovou hodnotu délky terapie, po jejímž překročení se změní varianta s nejnižšími provozními náklady. Výsledky jsou uvedené v tabulce 5.24. Pro terapii kratší než 8 dní má nejnižší náklady varianta 5g, 5h, 5i typu 2. Pro terapii přesahující 8 dní pak varianta 1 typu 1.

Tabulka 5.24: Výpočet prahové hodnoty délky terapie

Délka terapie (dny)		6	7	8	9
Varianta 1		7 249,71	7 993,17	8 736,63	9 480,08
Varianta 2		7 262,59	8 008,19	8 753,80	9 499,40
Varianta 3	a, b, c	8 320,11	9 067,10	11 085,80	11 832,79
	d, e, f	7 744,40	8 491,39	9 934,39	10 681,38
Varianta 4		6 298,05	7 043,65	9 560,53	10 306,14
Varianta 5	a, b, c	6 840,41	7 584,76	10 312,31	11 056,65
	d, e, f	6 290,48	7 034,82	9 550,43	10 294,77
	g, h, i	5 908,27	6 652,61	8 786,02	9 530,36
	j, k, l	6 483,97	7 228,31	9 937,43	10 681,77
Nejnižší náklady		5 908,27	6 652,61	8 736,63	9 480,08

Pro určení stability výsledků TCO byla použita metoda OWSA. Tou byl zkoumán vliv pořizovacích nákladů. Ty se pro jednotlivá zdravotnická zařízení liší. Pro ověření stability výsledků byly měněny v rozsahu $\pm 10\%$. V tabulce 5.25 jsou výsledky citlivostní analýzy pro první modelovou situaci a v tabulce 5.26 pro druhou. Citlivostní analýza potvrdila robustnost výsledků při změně pořizovacích nákladů o 10 % pro obě modelové situace.

Tabulka 5.25: Vliv změny pořizovacích nákladů o $\pm 10\%$ na výsledky TCO pro první modelovou situaci

		Snížení nákladů na pořízení o 10 %		Současné náklady na pořízení		Navýšení nákladů na pořízení o 10 %	
		TCO	Pořadí	TCO	Pořadí	TCO	Pořadí
Varianta 1		14 149 650	2	14 178 197	2	14 206 744	2
Varianta 2		14 103 924	1	14 125 314	1	14 146 704	1
Varianta 3	a	18 152 075	23	18 166 599	23	18 181 123	23
	b	18 139 920	21	18 153 261	21	18 166 602	21
	c	18 148 492	22	18 162 252	22	18 176 012	22
	d	16 534 341	13	16 548 865	13	16 563 389	13
	e	16 522 186	12	16 535 527	12	16 548 868	12
	f	16 534 341	13	16 548 865	13	16 563 389	13
Varianta 4	a	16 496 521	11	16 510 443	11	16 524 365	11
	b	16 484 366	9	16 497 105	9	16 509 844	9
	c	16 492 938	10	16 506 096	10	16 519 254	10
Varianta 5	a	17 682 579	20	17 694 970	20	17 707 361	20
	b	17 670 424	18	17 681 632	18	17 692 840	18
	c	17 678 996	19	17 690 623	19	17 702 250	19
	d	16 456 658	8	16 469 049	8	16 481 440	8
	e	16 444 504	6	16 455 711	6	16 466 919	6
	f	16 453 076	7	16 464 702	7	16 476 329	7
	g	15 382 653	5	15 395 044	5	15 407 435	5
	h	15 370 498	3	15 381 706	3	15 392 914	3
	i	15 379 070	4	15 390 697	4	15 402 324	4
	j	17 000 386	17	17 012 777	17	17 025 168	17
	k	16 988 232	15	16 999 439	15	17 010 647	15
l	16 996 803	16	17 008 430	16	17 020 057	16	

Tabulka 5.26: Vliv změny pořizovacích nákladů o $\pm 10\%$ na výsledky TCO pro druhou modelovou situaci

		Snížení nákladů na pořízení o 10 %		Současné náklady na pořízení		Navýšení nákladů na pořízení o 10 %	
		TCO	Pořadí	TCO	Pořadí	TCO	Pořadí
Varianta 1		9 252 778	5	9 281 325	5	9 309 872	5
Varianta 2		9 196 426	4	9 217 816	4	9 239 206	4
Varianta 3	a	11 322 982	23	11 337 506	23	11 352 030	23
	b	11 310 827	21	11 324 168	21	11 337 509	21
	c	11 319 399	22	11 333 159	22	11 346 919	22
	d	10 361 553	19	10 376 077	19	10 390 602	19
	e	10 349 398	18	10 362 740	18	10 376 081	18
	f	10 361 553	19	10 376 077	19	10 390 602	19
Varianta 4	a	9 569 700	11	9 583 622	11	9 597 545	11
	b	9 557 545	9	9 570 284	9	9 583 024	9
	c	9 566 117	10	9 579 275	10	9 592 434	10
Varianta 5	a	10 327 737	17	10 340 128	17	10 352 519	17
	b	10 315 583	15	10 326 790	15	10 337 998	15
	c	10 324 154	16	10 335 781	16	10 347 408	16
	d	9 536 088	8	9 548 479	8	9 560 870	8
	e	9 523 933	6	9 535 141	6	9 546 349	6
	f	9 532 505	7	9 544 132	7	9 555 759	7
	g	8 897 800	3	8 910 191	3	8 922 582	3
	h	8 885 645	1	8 896 853	1	8 908 061	1
	i	8 894 217	2	8 905 844	2	8 917 471	2
	j	9 859 229	14	9 871 620	14	9 884 011	14
	k	9 847 074	12	9 858 282	12	9 869 490	12
l	9 855 646	13	9 867 273	13	9 878 900	13	

Stejným způsobem byl variován o $\pm 10\%$ součet nákladů na pořízení, servis a likvidaci pro obě modelové situace (tabulka 5.27 pro první modelovou situaci a tabulka 5.28 pro druhou). Při zachování všech ostatních parametrů jsou výsledky pro obě modelové situace robustní.

Tabulka 5.27: Vliv změny součtu nákladů na pořízení, servis a údržbu a likvidaci o $\pm 10\%$ na výsledky TCO pro první modelovou situaci

		Snížení nákladů na pořízení, servis a likvidaci o 10 %		Současné náklady na pořízení, servis a likvidaci		Navýšení nákladů na pořízení, servis a likvidaci o 10 %	
		TCO	Pořadí	TCO	Pořadí	TCO	Pořadí
Varianta 1		14 140 434	2	14 178 197	2	14 215 961	2
Varianta 2		14 095 276	1	14 125 314	1	14 155 351	1
Varianta 3	a	18 144 404	23	18 166 599	23	18 188 794	23
	b	18 132 400	21	18 153 261	21	18 174 122	21
	c	18 140 492	22	18 162 252	22	18 184 012	22
	d	16 526 670	13	16 548 865	13	16 571 060	13
	e	16 514 666	12	16 535 527	12	16 556 388	12
	f	16 526 670	13	16 548 865	13	16 571 060	13
Varianta 4	a	16 487 937	11	16 510 443	11	16 532 949	11
	b	16 475 933	9	16 497 105	9	16 518 277	9
	c	16 484 025	10	16 506 096	10	16 528 167	10
Varianta 5	a	17 675 170	20	17 694 970	20	17 714 770	20
	b	17 663 166	18	17 681 632	18	17 700 098	18
	c	17 671 257	19	17 690 623	19	17 709 988	19
	d	16 449 249	8	16 469 049	8	16 488 849	8
	e	16 437 245	6	16 455 711	6	16 474 178	6
	f	16 445 337	7	16 464 702	7	16 484 068	7
	g	15 375 244	5	15 395 044	5	15 414 844	5
	h	15 363 239	3	15 381 706	3	15 400 172	3
	i	15 371 331	4	15 390 697	4	15 410 062	4
	j	16 992 977	17	17 012 777	17	17 032 577	17
	k	16 980 973	15	16 999 439	15	17 017 906	15
	l	16 989 065	16	17 008 430	16	17 027 796	16

Tabulka 5.28: Vliv změny součtu nákladů na pořízení, servis a údržbu a likvidaci o $\pm 10\%$ na výsledky TCO pro druhou modelovou situaci

		Snížení nákladů na pořízení, servis a likvidaci o 10 %		Současné náklady na pořízení, servis a likvidaci		Navýšení nákladů na pořízení, servis a likvidaci o 10 %	
		TCO	Pořadí	TCO	Pořadí	TCO	Pořadí
Varianta 1		9 243 562	5	9 281 325	5	9 319 089	5
Varianta 2		9 187 779	4	9 217 816	4	9 247 853	4
Varianta 3	a	11 315 311	23	11 337 506	23	11 359 701	23
	b	11 303 307	21	11 324 168	21	11 345 029	21
	c	11 311 399	22	11 333 159	22	11 354 919	22
	d	10 353 883	19	10 376 077	19	10 398 272	19
	e	10 341 878	18	10 362 740	18	10 383 601	18
	f	10 353 883	19	10 376 077	19	10 398 272	19
Varianta 4	a	9 561 117	11	9 583 622	11	9 606 128	11
	b	9 549 113	9	9 570 284	9	9 591 456	9
	c	9 557 204	10	9 579 275	10	9 601 346	10
Varianta 5	a	10 320 328	17	10 340 128	17	10 359 928	17
	b	10 308 324	15	10 326 790	15	10 345 257	15
	c	10 316 416	16	10 335 781	16	10 355 147	16
	d	9 528 679	8	9 548 479	8	9 568 279	8
	e	9 516 675	6	9 535 141	6	9 553 607	6
	f	9 524 766	7	9 544 132	7	9 563 497	7
	g	8 890 391	3	8 910 191	3	8 929 991	3
	h	8 878 387	1	8 896 853	1	8 915 319	1
	i	8 886 478	2	8 905 844	2	8 925 209	2
	j	9 851 820	14	9 871 620	14	9 891 420	14
	k	9 839 815	12	9 858 282	12	9 876 748	12
	l	9 847 907	13	9 867 273	13	9 886 638	13

Prahovou analýzou bylo zkoumáno, při jakém počtu pacientů se projeví vliv součtu nákladů na pořízení, servis a údržbu a likvidaci při zachování ostatních parametrů. Nejnižší TCO má za současných podmínek vždy varianta 2, nebo varianta 5h. Proto byla prahová analýza zaměřena na tyto dvě varianty, které byly vždy na prvním, nebo druhém pořadovém místě. Analýza byla provedena postupně pro 3 délky terapie: 8, 15 a 22 dní. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.29 (zvýrazněna je varianta s nižšími náklady). Počty pacientů jsou uvedeny pro časové období 5 let.

Tabulka 5.29: Prahová analýza vlivu počtu pacientů na změnu varianty s nejnižšími náklady na období 5 let pro délky terapie 8,15 a 22 dní

Délka ventilace (dny)	8		15		22	
Počet pacientů	1647	1648	79	80	40	41
Varianta 2	14 617 871	14 626 565	1 397 694	1 411 585	1 063 861	1 082 949
Varianta 5h	14 617 863	14 626 626	1 396 752	1 412 094	1 061 561	1 083 484

5.6 Aplikace výsledků pro GPK VFN v Praze

Vstupní data byla primárně zvolena ze zdrojů GPK VFN v Praze. V případech, kdy data nebyla dostupná, byly náklady určeny na základě průměrných hodnot z jiných zdravotnických zařízení.

Náklady na elektrickou energii byly vyčísleny na 2,63 Kč/kWh. Cena byla určena na základě Výroční zprávy VFN z roku 2018. Z té byl určený i průměrný superhrubý měsíční plat lékaře. Ten zahrnuje základní plat, příplatky a doplatky k platu, odměny, náhrady platu, odměny za pracovní pohotovost a jiné složky platu, které byly v daném období zaměstnancům zúčtovány k výplatě. Následná likvidace spotřebního materiálu vyčíslili v GPK na 1,90 Kč/kg. Všechna vstupní data jsou uvedena v tabulce 5.30. [83]

Tabulka 5.30: Vstupní data pro výpočet provozních nákladů v GPK

Náklady na lidské zdroje (průměrná superhrubá mzda lékaře a sestry, Kč)	97 158,00	56 697,00
Náklady na zaškolení (Kč)	v ceně přístroje	
Náklady na energie (Kč/kWh)	2,63	
Náklady na 100% mediální kyslík (Kč/l)	0,52	
Průměrná FiO ₂	0,3	
Průměrný průtok (l/min)	3	
Náklady na likvidaci (Kč/kg)	1,9	
Váha patientské sady (kg)	0,2	
Likvidace 1 patientské sady (Kč)	0,38	

Výsledky výpočtu provozních nákladů pro technologie HFNC používané v GPK VFN v Praze jsou uvedeny v tabulce 5.31. Provozní náklady jsou vypočítané vždy pro jednoho pacienta ze skupiny, které se liší délkou ventilace.

Tabulka 5.31: Provozní náklady HFNC v GPK VFN na jednoho pacienta

Skupina	1	2	3	4	
Varianta 1	23 605,77	13 940,83	7 249,71	5 019,34	
Varianta 2	23 665,86	13 973,02	7 262,59	5 025,78	
Varianta 5	b	29 503,56	17 843,91	6 840,41	4 607,39
	e	27 979,80	16 532,10	6 290,48	4 057,45
	h	26 450,97	15 385,47	5 908,27	3 675,24
	k	28 753,79	17 112,59	6 483,97	4 250,95
Nejnižší náklady	23 605,77	13 940,83	5 908,27	3 675,24	

Na základě počtu pacientů z jednotlivých skupin pak byly vypočteny provozní náklady na jeden rok v případě, že by vždy byla zvolena nejvýhodnější varianta pro danou skupinu. V takovém případě by provozní náklady pro celkem 184 pacientů na

jeden rok činily 2 696 251 Kč. Rozdíl oproti volbě nejméně výhodných variant pro každou skupinu by byl 834 260 Kč.

5.7 Tabulkový nástroj pro výběr vhodné technologie HFNC

V rámci práce byl vytvořen tabulkový nástroj v programu Microsoft Excel, který umožňuje porovnání všech technologií pro kyslíkovou terapii HFNC vhodných pro neonatologické pacienty a dostupných na českém trhu. A to jak z hlediska technických parametrů jednotlivých technologií, tak i z hlediska ekonomiky jejich provozu.

Pro lepší orientaci ve významu jednotlivých tabulek byly jednotlivé části barevně označeny. Významy barevného označení jsou uvedeny v tabulce 5.32.

Tabulka 5.32: Význam barevného označení v dokumentu

Barva	Význam
	Výsledky
	Díličí výsledky a pomocné výpočty
	Vstupní data
	Data, která je možné měnit pro optimalizaci řešení pro konkrétní zdravotnické zařízení

Dokument je rozdělen do 11 listů:

- 1) Obsah a vysvětlivky
První list popisuje obsah následujících listů a návod pro práci s tabulkami.
- 2) Přehled technologií HFNC
List obsahuje přehled variant a všech možných kombinací přístrojové techniky a spotřebního materiálu pro HFNC dostupných v České republice.
- 3) Technické parametry
Tento list obsahuje tabulky s technickými parametry jednotlivých komponent. Umožňuje přehledně porovnat jednotlivé přístroje a vybrat varianty s požadovanými vlastnostmi. Dále list obsahuje i tabulky s přehledem spotřebního materiálu, u kterého je důležitá zejména maximální doba použití.
- 4) Celkové náklady TCO
Zde jsou vyčísleny veškeré náklady na jednotlivé varianty, které jsou výsledkem součtu nákladů na pořízení, servis a údržbu, likvidaci a provoz. Tyto položky jsou následně rozpracované v dalších listech. Následující listy obsahují data, která lze měnit podle aktuálních cenových nabídek distributorů zdravotnické techniky a spotřebního materiálu. Celkové náklady jsou vyčísleny na předem zvolené období, která je možné měnit v tabulce se vstupními daty o pacientech.

Nástroj umožňuje rozdělení pacientů do 1 - 4 skupin s rozdílnou průměrnou délkou ventilace, podle potřeby zdravotnického zařízení. Druhá tabulka umožňuje nastavit aktuální ceny za další položky nutné k výpočtu provozních nákladů, tedy náklady na lidské zdroje, náklady na energii (Kč/kWh), náklady na jeden litr medicínálního kyslíku. Dále lze zadat hodnoty průměrné frakce kyslíku podávaného pacientům, průměrný průtok plynu (l/min) a cenu za likvidaci jednoho kilogramu použitého spotřebního materiálu (Kč/kg).

5) Pořizovací náklady

Tento list obsahuje přehled pořizovacích nákladů na jednotlivé přístroje. Defaultně nastavená data jsou získána z údajů veřejných zakázek, nebo na základě údajů poskytnutých distributory. V první tabulce jsou uvedeny jednotlivé komponenty, které je nutné pořídit k dané přístrojové technice (např. stojan, nebo držák pro upevnění). Druhá tabulka uvádí pořizovací náklady na jednotlivé přístroje včetně nákladů na povinné komponenty. V poslední tabulce jsou pak vyčísleny pořizovací náklady na jednotlivé varianty HFNC.

Další tabulky označené žlutě uvádí dílčí výsledky provozních nákladů na jednoho pacienta rozdělené podle přístrojů, tedy provozní náklady směšovače plynu, provozní náklady na zvlhčovače plynů a náklady na spotřební materiál. Další tabulka uvádí celkové provozní náklady pro jednoho pacienta pro každou variantu technologie HFNC.

6) Ceny spotřebního materiálu

V této kartě je možné upravovat ceny spotřebního materiálu podle aktuálních nabídek.

7) Provozní náklady

List obsahuje výpočet celkových provozních nákladů pro jednotlivé varianty technologie HFNC. Provozní náklady jsou závislé na vstupních informacích o počtu pacientů a průměrné délce jejich připojení na kyslíkovou terapii. Tyto údaje lze měnit v tabulkách na listu 4) Celkové náklady TCO. Třetí tabulka na listu obsahuje výsledné provozní náklady na počet pacientů zadaný v tabulce 1. Kromě celkových nákladů na provoz jsou vyčísleny i provozní náklady pro každou skupinu pacientů s rozdílnou průměrnou dobou terapie zvlášť. Pro každou je vybrána varianta s nejnižšími náklady.

Další tabulky označené žlutě uvádí dílčí výsledky provozních nákladů na jednoho pacienta rozdělené podle přístrojů, tedy provozní náklady směšovače plynu, provozní náklady na zvlhčovače plynů a náklady na spotřební materiál. Další tabulka uvádí celkové provozní náklady pro jednoho pacienta pro každou variantu technologie HFNC.

8) Náklady na údržbu a servis

Stávající údaje o nákladech na servis a údržbu jednotlivých technologií jsou opět získány na základě dat z výsledků veřejných zakázek, nebo od distributorů a v prvních třech tabulkách je možné je upravit dle aktuální nabídky.

Poslední tabulka obsahuje jejich vyčíslení na zvolené období pro jednotlivé varianty technologie HFNC.

9) Náklady na likvidaci

V první tabulce tohoto listu je možné měnit náklady na likvidaci jednotlivých technologií. V druhé tabulce jsou pak vyčísleny náklady na likvidaci jednotlivých variant technologie HFNC.

10) Provozní náklady – podrobně

Desátý list obsahuje podrobně rozepsané provozní náklady a pomocné výpočty k jejich vyčíslení.

11) GPK

List shrnuje výsledky analýzy provozní náročnosti technologie HFNC pro konkrétní varianty dostupné na Gynekologicko-porodnické klinice Všeobecné nemocnice v Praze.

12) Data z veřejných zakázek

Poslední karta obsahuje přehled dat získaných z veřejných zakázek.

6 Diskuse

V práci bylo zjištěno, že na trhu v České republice jsou dva typy technologií pro kyslíkovou terapii pro novorozence metodou HFNC. Typ 1 je tvořen jedním přístrojem, který směšuje dýchací plyny v požadovaném poměru a zároveň je ohřívá a zvlhčuje. Typ 2 technologií HFNC tvoří sestava dvou separátních přístrojů, a to směšovače dýchacích plynů a zvlhčovače. Oba typy 1 i 2 jsou pak doplněny spotřebním materiálem.

Na základě vzájemné kompatibility přístrojů bylo sestaveno 5 možných variant technologie HFNC, které byly na základě kompatibility s různým spotřebním materiálem ještě rozděleny na podskupiny (a, b, c, ...). Tyto technologie se liší nejen konstrukčně, ale i a některými technickými vlastnostmi a lze proto předpokládat i rozdílné náklady spojené s jejich vlastnictvím.

6.1 Srovnání technických vlastností přístrojů

V práci byla provedena analýza potřebného technického vybavení pro neonatologická oddělení pro metodu HFNC a porovnání technických vlastností přístrojové techniky HFNC. Ty jsou klíčovým parametrem pro výběr konkrétního přístroje vhodného pro daný typ provozu.

Z hlediska směšovačů plynu je důležité, aby možné nastavení průtoku odpovídalo rozsahu používaného pro HF kyslíkové terapie. Všechny vybrané varianty to splňují. Rozhodující parametry, kterými se jednotlivé přístroje liší (kromě základních jako rozměry a hmotnost), jsou počty výstupních portů, typ vstupních konektorů, nebo rozsah vstupního tlaku plynu. Pouze jeden přístroj (Neo2Blend, Bio-Med Devices, USA) je kompatibilní s magnetickou rezonancí. Další rozdílné parametry jsou četnost a typ údržby, nebo i riziková třída zdravotního prostředku. [38, 39, 67-69]

Stejně tak všechny zvlhčovače plynu umožňují nastavení průtoku plynu v rozsahu HF terapií. Liší se ale nastavením teploty, a to jak z hlediska rozsahu, tak z hlediska nejmenších hodnot, po kterých je možné teplotu měnit. Nejčastěji používaná teplota ohřátí plynu je 37 °C. To umožňují všechny zvlhčovače. Limitace může nastat při požadavku na jiné nastavení. Například zvlhčovač MR850 (Fisher&Paykel, Nový Zéland) umožňuje plyn ohřát pouze na dvě hodnoty (31 a 37 °C). Oproti tomu zvlhčovač H900 (Hamilton Medical, Švýcarsko) umožňuje ohřátí v rozsahu 30 - 43 °C po 0,5 °C. Dalším rozdílným parametrem je čas zahřátí, který při připojení akutního pacienta může být velmi důležitý. Některé parametry jsou jedinečné pro jedno konkrétní zařízení. Například pouze technologie Precision Flow (VapoTherm, USA) a Precision Flow Plus (VapoTherm, USA) umožňují transport pacienta a pouze technologie

Precision Flow Plus (Vapotherm, USA) umožňuje propojení s elektronickou patientskou kartou. [38, 39, 48, 70, 71]

Kromě vyložené technických parametrů byly do srovnání zahrnuty i parametry týkající se provozu daného přístroje, například požadavky na údržbu. U spotřebního materiálu se liší zejména maximální doba použití daného komponentu. U nosních kanyl je pak nutné zohlednit povolený rozsah průtoku. [72, 79, 80, 81]

6.2 Ekonomická náročnost technologií HFNC

Součástí zadání práce byl i požadavek na ekonomické porovnání terapií HFNC. Pro ekonomické porovnání technologií HFNC byla zvolena metoda TCO. Ta byla zvolena zejména pro svou komplexnost, protože zahrnuje veškeré náklady na danou technologii v průběhu celého jejího životního cyklu. Na druhou stranu analýza TCO pracuje pouze se strohými finančními daty (hodnotí pouze nákladové položky) a nezohledňuje, např. preference personálu, nebo složitost ovládání přístrojů. Právě i z důvodů zjištěných odlišných technických parametrů jednotlivých technologií HFNC, lze souhlasit s tvrzením [54], že analýza TCO nemůže být jediná, která rozhodne o nákupu konkrétní technologie. Nicméně je vhodná v oblasti investičního plánování pro nákladové hodnocení několika variant přístrojů se stejným účelem použití. Pro určení důležitých technických vlastností je pak možné využít například metody multikriteriálního rozhodování. Další limitací využití pouze TCO je, že neporovnává technologie z hlediska klinického účinku. K získání objektivního výsledku může dopomoci kombinace metody TCO s metodami jako jsou např. CEA, CBA a CUA, které zahrnují i hodnocení klinického účinku. Do procesu výběru by měli být zapojeni kromě ekonomů i další odborní pracovníci. [53, 54, 85, 89]

Metoda TCO byla použita pro hodnocení všech pěti variant HFNC dostupných na trhu v České republice a byly do ní zahrnuty pořizovací náklady, provozní náklady, náklady na servis a údržbu a náklady na likvidaci. Protože metoda TCO není standardizovaná, byly jednotlivé nákladové položky identifikovány za pomoci odborníků. Diskutovanou položkou pak mohou být například náklady na lidské zdroje. Koupí přístrojů se nemusí předpokládat potřeba přijetí nových pracovníků. Další limitací porovnání výsledků více studií mezi sebou může být zahrnutí rozdílných nákladových položek. [38, 86]

Náklady na pořízení a likvidaci, lze považovat za jednorázové. Výše pořizovacích nákladů přístrojové techniky jsou často odlišné pro jednotlivá zdravotnická zařízení. Pořizovací náklady tedy byly primárně čerpány ze zveřejněných výsledků 19 veřejných zakázek, vypsaných v letech 2015-2019, dostupné údaje byly zprůměrovány (viz list 12 v tabulkovém nástroji). V jednom případě, kdy nebylo možné cenu za konkrétní přístroj dohledat, byli osloveni distributoři a odborníci. [87]

Pořizovací náklady (viz tabulka 5.8) se pohybovaly v rozmezí od 112 077 Kč (varianta 5b, 5e, 5h, 5k) do 285 469 Kč (varianta 1). Obecně lze říci, že pořizovací náklady typu 2 technologií HFNC, který je složen z více komponent, jsou podstatně nižší než pořizovací náklady u typu 1, při porovnání extrémních hodnot až 2,5x. Náklady na likvidaci byly stanoveny expertem na 2000 Kč u technologie druhého typu a na 2 500 Kč pro technologii prvního typu (viz tabulka 5.14).

Náklady na servis a údržbu jsou závislé na čase. Zahrnují náklady na periodické kontroly, BTK, kalibrace a díly, které je nutné pravidelně měnit. Byly vypočteny pro jednotlivé varianty na období 1-6 let. Nejnižší náklady na servis a údržbu má varianta 5b, 5e, 5h a 5k (viz tabulka 5.13).

Dále byly vyčísleny provozní náklady. Ty se skládají z fixních nákladů, které obsahují náklady na lidské zdroje pro úvodní nastavení přístrojů a pak složky, která je se mění v závislosti na délce terapie. Proto mají provozní náklady lineárně rostoucí průběh s prodlužující se dobou terapie. Provozní náklady byly nejdříve vyčísleny pro typ 1 technologií HFNC, tedy variantu 1 a 2 (viz tabulka 5.10). Pro typ 2 byly provozní náklady vypočteny zvlášť pro směšovače plynu a zvlášť pro zvlhčovače plynu. V tabulce 5.11 je zobrazen vývoj nákladů na provoz směšovačů plynu. V tomto případě jsou náklady pro všechny přístroje stejné, neboť hlavní položkou jsou náklady na léčiva. Obdobně byly vypočteny i náklady na zvlhčovače plynu (tabulka 5.12) a mají lineárně rostoucí průběh v čase, ale pro jednotlivé přístroje se mírně liší, a to z důvodu rozdílné spotřeby elektrické energie.

Výše nákladů na spotřební materiál pro jednotlivé varianty v závislosti na délce terapie je zobrazena v grafu na obrázku 5.2. Na základě konzultace s odborníky z GPK VFN v Praze byla délka terapie volena od 3 do 31 dní. U chronických pacientů je sice možné připojení na kyslíkovou terapii i déle, ale v těchto případech je častý přechod do domácí péče, pro kterou jsou vyráběny speciální technologie upravené pro tento provoz. Schodovitý tvar křivek je způsoben maximální dobou užití daného spotřebního materiálu. Náklady na spotřební materiál jsou tedy až do dosažení této maximální doby konstantní, poté skokově vzrostou. Pro krátkodobou terapii je nejvýhodnější varianta 5g, 5h, 5i, pro dlouhodobější je pak méně nákladný spotřební materiál pro typ 1 technologie HFNC (varianta 1 a 2).

Celkové prozní náklady byly získány sečtením nákladů na provoz přístroje a nákladů na spotřební materiál u typu 1 HFNC a nákladů na provoz směšovače plynů, zvlhčovače plynů a náklady na spotřební materiál u typu 2. Výsledky zobrazené v grafu na obrázku 5.11 porovnávají provozní náklady na jednotlivé varianty s variantou 1, která má nejnižší provozní náklady převážnou většinu sledovaného období (obrázek 5.3). Na jejich vývoji lze pozorovat prudké nárůsty vzniklé dosažením maximální doby použití spotřebního materiálu a nutnou výměnou za nový. Pokles rozdílu mezi provozními náklady na variantu 1 a technologiemi typu 2 po dosažení

délky terapie 30 dní je způsoben dosažením maximální doby použití spotřebního materiálu pro typ 1 technologií HFNC.

6.2.1 Výše nákladů ve vztahu k provozní situaci

Jako příklad byly vyhodnoceny dvě modelové situace. V obou byli pacienti rozděleni do 4 skupin s průměrnou dobou ventilace 29, 15, 6 a 3 dny, rozdílný je počet pacientů v těchto skupinách.

První modelová situace má vyšší počty pacientů v 1. a 2. skupině. Simuluje situaci ve zdravotnickém zařízení, kde převažují neonatologičtí pacienti s chronickou poruchou dechové soustavy, ve vážnějším zdravotním stavu, nebo extrémně nedonošení novorozenci, kteří potřebují být připojeni na kyslíkovou terapii déle. Jedná se zejména o perinatologická centra. Proto byla využita data o počtu pacientů z GPK.

Druhá modelová situace simuluje neonatologická oddělení s převažující akutní péčí, popřípadě s mírně nedonošenými novorozenci, kteří zůstávají na kyslíkové terapii jen krátkou dobu. V druhé modelové situaci tedy převažují pacienti ve 3. a 4. skupině (6 a 3 dny).

Pro zvolené období 5 let jsou pořizovací náklady, náklady na likvidaci, náklady na servis a údržbu shodné (viz tabulka 5.15).

Součtem provozních nákladů na jednotlivé přístroje a na spotřební materiál byly stanoveny celkové provozní náklady pro jednoho pacienta pro jednotlivé skupiny. Pro první dvě skupiny vyšly nejvýhodněji technologie HFNC typu 1, pro 3. a 4. skupinu byly nejnižší provozní náklady na variantu 5g, 5h a 5i typu 2. Vynásobením provozních nákladů počtem pacientů v jednotlivých skupinách, jejich následném součtu a vynásobením počtem let, byly získány celkové provozní náklady pro každou modelovou situaci. Celkové provozní náklady pro první modelovou situaci (převládají pacienti s delší terapií) jsou vyčísleny v tabulce 5.20. Nejnižší provozní náklady měly technologie typu 1 Precision Flow Plus a Precision Flow od výrobce Vapotherm. Celkové provozní náklady pro druhou modelovou situaci (převládají pacienti s kratší terapií) jsou vyčísleny v tabulce 5.21. Nejnižší náklady na provoz měla varianta 5g, 5h a 5i.

Sečtením nákladů na pořízení, servis a údržbu, provoz a nákladů na likvidaci byly získány celkové náklady spojené s vlastnictvím technologie HFNC pro každou modelovou situaci.

Konečným výsledkem práce bylo stanovení TCO pro obě modelové situace. V první modelové situaci (převažující pacienti s delší terapií) má tyto náklady nejnižší varianta 1 (14 173 301 Kč), tedy přístroj Precision Flow (Vapotherm, USA) a to i přes skutečnost, že její pořizovací náklady jsou téměř dvojnásobné než u varianty s nejnižšími pořizovacími náklady (5 b, e, h, k). Náklady na pořízení totiž představují

pouze 1,5 % TCO. Naopak nejvyšší náklady (18 219 863 Kč) představuje varianta 3a (směšovač plynů Sechrist 3500, zvlhčovač H900 a spotřební materiál Hamilton Medical). Rozdíl mezi variantou s nejnižšími náklady spojenými s vlastnictvím a variantou s nejvyššími činí 4 046 552 Kč. Volbou vhodné technologie lze v první modelové situaci snížit veškeré náklady až o 28,55 %.

Nejnižší TCO (8 921 144 Kč) pro druhou modelovou situaci (viz tabulka 5.23) má varianta 5h (směšovač plynů Neo2Blend, zvlhčovač MR 850 a spotřební materiál od výrobce Flexicare). Toto je zároveň varianta i s nejnižšími náklady na pořízení (1,2 % TCO) a na servis a údržbu (1,0 % TCO). Nejvyšší náklady spojené s vlastnictvím za daných podmínek představuje opět varianta 3a (směšovač plynů Sechrist 3500, zvlhčovač H900 a spotřební materiál Hamilton Medical). Rozdíl mezi variantou s nejnižšími náklady spojenými s vlastnictvím a variantou s nejvyššími je 2 446 383 Kč. Volbou vhodné technologie lze v druhé modelové situaci snížit veškeré náklady až o 21,52 %.

Pro ověření stability výsledků a zjištění vlivu změny některých vstupních parametrů na získané výsledky byla provedena citlivostní analýza. Prahovou analýzou byla určena délka terapie, po jejímž překročení se změni varianta s nejnižšími provozními náklady (viz tabulka 5.24). Ta byla vypočítána na 8 dní. Pro kratší terapii než 8 dní má nejnižší provozní náklady varianta 5g, 5h, 5i, pro terapii přesahující 8 dní pak varianta 1. Z toho vyplývá, že náklady na spotřební materiál a délka terapie jsou určující pro výběr varianty s nejnižšími náklady. V případě typu 1 je maximální doba použití spotřebního materiálu technologií HFNC až 30 dní, u typu 2 pak, až na pár výjimek, pouze 7 dní.

Pro určení stability výsledků TCO byly nejdříve variovány náklady na pořízení o ± 10 % (viz tabulka 5.25 pro první modelovou situaci a 5.26 pro druhou) a poté součet nákladů na pořízení, servis a údržbu a likvidaci také o ± 10 % (viz tabulka 5.27 pro první modelovou situaci a 5.28 pro druhou). V obou případech byly výsledky obou modelových situací robustní. Při zachování ostatních parametrů tedy nemá změna nákladů na pořízení, servis a likvidaci v rozsahu ± 10 % vliv na pořadí variant. Toto potvrdilo, že na volbu varianty s nejnižšími náklady mají signifikantní vliv provozní náklady. Ty v tomto případě tvoří majoritní podíl celkových nákladů spojených s vlastnictvím (až 98 %). Zároveň bylo ověřeno i tvrzení studie [88], že varianta s nejnižšími pořizovacími náklady není vždy nejvýhodnější. Výše provozních nákladů se odvíjí od počtu pacientů a jejich průměrné délce terapie. [88]

Pro zjištění, za jakých podmínek by součet nákladů na pořízení, servis a likvidaci měl vliv na pořadí variant s nejnižší TCO byla provedena prahová analýza. Byl tak určen maximální počet pacientů, po jehož překročení nemají tyto náklady vliv na pořadí variant (za předpokladu konstantních cen spotřebního materiálu a ostatních vstupních parametrů). Prahová analýza byla provedena pro tři délky terapie: 8, 15 a 22 dní. Pro délku terapie kratší než 8 dní jsou TCO vždy nejnižší pro variantu 5h (viz tabulka 5.29).

6.2.2 Aplikace výsledků na situaci konkrétního pracoviště

Součástí práce je i aplikace výsledků na konkrétní zdravotnické zařízení. Pro toto hodnocení byla použita data GPK VFN, která vlastní několik přístrojů pro terapii metodou HFNC. Z tohoto důvodu byl výpočet zaměřen na provozní náklady. GPK VFN disponuje několika technologiemi HFNC (varianta 1, 2 a 5b, 5e, 5h, 5k). Data o pacientech byla rozdělena do 4 skupin podle jejich gestačního stáří. Skupiny odpovídají rozdělení z modelových situací, a proto jsou náklady na jednoho pacienta shodné. Nejvýhodnější varianta pro danou skupinu byla vynásobena počtem pacientů ve skupině. Sečtením výsledků pro všechny skupiny pak byly získány celkové minimální provozní náklady na jeden rok, které činí 2 696 251 Kč. Naopak při zvolení nejnákladnější varianty technologie HFNC pro danou skupinu by celkové provozní náklady na jeden rok činily 3 530 512 Kč. Zvolením varianty s nejnižšími náklady tedy může snížit roční provozní náklady až o 834 261 Kč, tedy o 30,94 %. GPK má samozřejmě pouze limitovaný počet technologií pro HFNC a ne vždy musí být pro konkrétního pacienta k dispozici varianta s pro něj předpokládanými nejnižšími náklady. To znamená, že vypočtené náklady jsou reálné za předpokladu, že varianta s nejnižšími náklady je pro daného pacienta vždy k dispozici.

6.3 Aplikace pro individualizaci řešení pro jednotlivá neonatologická oddělení

Obecně lze tvrdit, že typ 1 technologie je vhodnější pro oddělení, kde převažují pacienti s potřebou dlouhodobé terapie. Tedy většina novorozenců narozených do 31. gestačního týdne, nebo novorozenci s poruchami dýchací soustavy. U typu 2 pak z důvodu velké variability nákladů nelze stanovit obecné doporučení.

Lze předpokládat, že napříč neonatologickými odděleními se preference jednotlivých variant mohou lišit. Rozdílné požadavky vznikají na základě velikosti oddělení, počtu pacientů a závažnosti jejich zdravotního stavu (délce terapie). Například jiné nároky na technické a provozní vlastnosti lze očekávat od perinatologických center než od pracovišť prvního stupně. Není tedy možné zvolit jednu variantu HFNC jako obecně nejvhodnější, ale řešení je nutné konkretizovat pro vybrané zdravotnické zařízení. [54]

Metoda TCO není často používaná i z důvodu časové náročnosti. Pro individualizaci řešení pro jednotlivá neonatologická oddělení a usnadnění práce jejím zpracování pro technologie HFNC byl v rámci práce vytvořen tabulkový nástroj v programu Microsoft Excel. Je vhodný jak pro neonatologická oddělení, která plánují nákup technologie HFNC, tak i pro oddělení, která již některou z těchto technologií disponují a plánují snížit náklady na její provoz. [54]

Tabulkový nástroj obsahuje listy, kde jsou přehledně uvedeny technické vlastnosti jednotlivých přístrojů používaných pro terapii HFNC a umožňuje tak na základě

individuální preference porovnat jednotlivé komponenty. Na základě úpravy vstupních dat umožňuje zvolit variantu s nejnižšími provozními náklady a náklady spojenými s vlastnictvím technologií HFNC. Vstupní data, která je možné měnit podle aktuálních nabídek distributorů zdravotnických prostředků, jsou: náklady na pořízení přístrojů, náklady na servis a údržbu, náklady na likvidaci a ceny spotřebního materiálu. Zároveň je možné měnit ceny a hodnoty položek jako jsou ceny léčiva, likvidace spotřebního materiálu, elektrické energie a průměrné hodnoty FiO_2 a průtoku plynu.

Zdravotnická technika se neustále vyvíjí a na český trh přicházejí noví výrobci s technologií HFNC. Práce je sice zpracovaná pro současnou situaci, ale aktualizací dostupných technologií a jim příslušných vstupních dat, lze do tabulkového nástroje implementovat další technologie HFNC, které se objeví na českém trhu.

Otázka nákladovosti je důležitým faktorem při volbě technologií, nicméně vždy je nutné vycházet z potřeb zdravotního stavu pacientů tak, aby měli zajištěnou odpovídající péči s požadovaným klinickým efektem. Velký počet vstupních parametrů potvrzuje nutnost individuálního řešení nejen tedy z ekonomického hlediska, ale i z hlediska technických vlastností technologií a požadavků zdravotnického personálu.

7 Závěr

V současné době nebyla v České republice provedena žádná ekonomická analýza, která by se zabývala tématem kyslíkové terapie HFNC. Studie provedené v zahraničí jsou ve většině případů zaměřené na porovnání klinických a ekonomických údajů HFNC s nCPAP [43,44,45,46]. Z tohoto důvodu vznikl na Gynekologicko-porodnické klinice Všeobecné fakultní nemocnice v Praze podnět k vytvoření práce, která by se touto tematikou zabývala.

Na základě tohoto podmětu byla zpracována tato práce, která analyzuje dostupné technologie vhodné pro neonatologické pacienty na českém trhu a potřebné technické vybavení k jejich provozu. Bylo sestaveno 5 variant přístrojové techniky obou typů doplněné o různé kombinace spotřebního materiálu (celkem 23 kombinací). Vzájemně je porovnává technické vlastnosti jednotlivých technologií HFNC a porovnává je i z ekonomického hlediska. K tomu byla zvolena metoda celkových nákladů spojených s vlastnictvím TCO pro všechny kyslíkové terapie dostupné na českém trhu, vhodné pro neonatologické pacienty.

Analýzou nákladů spojených s vlastnictvím technologií HFNC bylo zjištěno, že majoritní část celkových nákladů spojených s vlastnictvím technologie HFNC představují náklady na provoz (až 98 %). Ty jsou přímo závislé na počtu pacientů na oddělení a jejich zdravotním stavu (délce terapie). Kvůli velkému počtu vstupních parametrů a jejich variabilitě, není možné zvolit jednu variantu HFNC s nejnižšími provozními náklady obecně, ale řešení je nutné konkretizovat pro vybrané zdravotnické zařízení. Pro možnou individualizaci řešení byl vytvořen tabulkový nástroj v programu Microsoft Excel, který umožňuje porovnání všech technologií vhodných pro neonatologické pacienty a dostupných na českém trhu, a to jak z hlediska technických vlastností jednotlivých přístrojů, tak i z hlediska ekonomiky jejich provozu změnou vstupních dat (např. průměrné počty pacientů, průměrnou délku terapie, ceny léčiva, elektrické energie a průměrné hodnoty FiO_2 a průtoku plynu). Takto je možné simulovat situaci na konkrétních neonatologických odděleních a získat pro ně relevantní výsledky. Pro ověření funkce tohoto nástroje byly vytvořeny dvě modelové situace a vyhodnoceny jejich výsledky.

Součástí práce byl také návrh řešení, jak snížit provozní náklady v GPK VFN v Praze. Na základě poskytnutých dat bylo zjištěno, že volbou vhodné technologie (dle závažnosti jeho stavu, popřípadě podle gestačního stáří) je možné snížit provozní náklady až o 30,94 % (z 3 530 512 Kč na 2 696 251 Kč).

Seznam použité literatury

- [1] ŠANDA, Robert, 2019. Pohyb obyvatelstva - rok 2018. Český statistický úřad [online]. 21.3.2019 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/cris/pohyb-obyvatelstva-rok-2018>
- [2] GOLDENBERG, Robert L, Jennifer F CULHANE, Jay D IAMS a Roberto ROMERO. Epidemiology and causes of preterm birth. The Lancet[online]. 2008, 371(9606), 75-84 [cit. 2018-06-28]. DOI: 10.1016/S0140-6736(08)60074-4. ISSN 01406736. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673608600744>
- [3] V Česku vzrostl počet předčasných porodů. Může za to asistovaná reprodukce i životní styl rodiček. Česká televize [online]. 6.3.2019 [cit. 2018-06-28]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/2410438-v-cesku-prudce-roste-pocet-predcasnych-porodu-jeza-tim-hlavne-asistovana-reprodukce>
- [4] PĚŠEK, R., Česká neonatologie "na špičce." A co dál?: Malý průvodce vývojem některých ukazatelů kvality péče o novorozence v uplynulých 15 letech v České republice [online]. Gynekologicko porodnická klinika VFN a 1.LF UK Praha, 1-7 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://www.neonatology.cz/upload/neonatalogie.web360.cz/ceskaneonatalogie.pdf>
- [5] DORT, Jiří, Eva DORTOVÁ a Petr JEHLIČKA. Neonatologie. 2. upravené vydání. Univerzita Karlova v Praze: Karolinum, 2013. ISBN 978-80-246-2642-0
- [6] ZOBAN, P. a J. BIOLEK, 2009. Léčba kyslíkem: Doporučené postupy české neonatologické společnosti. Moderní naniectví [online]. 2009(18) [cit. 2019-11-24].
- [7] ZOBAN, P. a J. BIOLEK, 2008. Léčba kyslíkem [online]. Česká neonatologická společnost České lékařské společnosti J. E. Purkyně, 1-5 [cit. 2019-11-24].
- [8] Babi.Plus® Bubble nCPAP System: Focus on the Baby, not the device, Respiralogics [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: http://www.respiralogics.com/content/babi_nCPAP_system.html
- [9] WALTER, Eric, High-Flow Nasal Cannula — What Is it, How Does it Work, and Do We Know if it Works? Free CME [online]. 1.4.2013 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.freecme.com/articles/111-high-flow-nasal-cannula-8212-what-is-it-how-does-it-work-and-do-we-know-if-it-works>

- [10]RESLER, Jan, 2015. PROBLEMATIKA SPRAVEDLIVÉHO ROZDĚLENÍ OMEZENÝCH PROSTŘEDKŮ VE ZDRAVOTNICTVÍ [online]. Praha [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/76054/DPTX_2013_1_11220_0_281949_0_144567.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce JUDr. Petr Šustek, Ph.D.
- [11]ŠTEMBERA, Zdeněk. Historie české perinatologie. Praha: Maxdorf, 2004. ISBN 9788073450212
- [12]HADAŠ, Libor, Kristína KIČOVÁ a Anton VIK, 2016. Skripta neonatologie [online]. Praha [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <http://avikspace.xf.cz/web/medicine.html>. Univerzita Karlova v Praze.
- [13]Zdravotnická ročenka České republiky 2014, Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2014.
- [14]Seznam perinatologických center intenzivní a intermediární péče a kontakt na jejich Neonatologická pracoviště:, 2011. Česká neonatologická společnost [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://www.neonatology.cz/neonatologicka-centra>
- [15]American Academy of Pediatrics: Guidelines for Neonatal Resuscitation: Translating Evidence-Based Guidelines to the NRP, 2005.
- [16]Hamilton Medical, High flow oxygen therapy: Propagation.
- [17]LODESERTO, Frank, High Flow Nasal Cannula (HFNC) - Part 1: How It Works. R.E.B.E.L.E.M. [online]. 20.8.2018 [cit. 2019-11-24].
- [18]PERMALL, Dhivya Lakshmi, Asfia Banu PASHA a Xiao-qing CHEN, 2019. Current insights in non-invasive ventilation for the treatment of neonatal respiratory disease. Italian Journal of Pediatrics [online]. 45(1) [cit. 2019-11-30]. DOI: 10.1186/s13052-019-0707-x. ISSN 1824-7288. Dostupné z: <https://ijponline.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13052-019-0707-x>
- [19]LANGDON, Davis. Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology. [online]. 2007. [vid. 1. 11. 2017]
- [20]LODESERTO, Frank, Thomas LETTICH a Salim REZAIE, High-flow Nasal Cannula: Mechanisms of Action and Adult and Pediatric Indications [online]. 26.11.2018 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6358040/>
- [21]WARD, J., 2013. Respir Care. ISBN 10.4187.

- [22] NISHIMURA, Masaji. High-flow nasal cannula oxygen therapy in adults. *Journal of Intensive Care* [online]. 2015, 3(1) [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.1186/s40560-015-0084-5. ISSN 2052-0492. Dostupné z: <https://jintensivecare.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40560-015-0084-5>
- [23] NISHIMURA, Masaji. High-flow nasal cannula oxygen therapy in adults. *Journal of Intensive Care* [online]. 2015, 3(1) [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.1186/s40560-015-0084-5. ISSN 2052-0492. Dostupné z: <https://jintensivecare.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40560-015-0084-5>
- [24] LAMPLAND, Andrea L., Brenda PLUMM, Patricia A. MEYERS, Cathy T. WORWA a Mark C. MAMMEL. Observational Study of Humidified High-Flow Nasal Cannula Compared with Nasal Continuous Positive Airway Pressure. *The Journal of Pediatrics* [online]. 2009, 154(2), 177-182.e2 [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.1016/j.jpeds.2008.07.021. ISSN 00223476. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022347608005957>
- [25] DOSTÁLOVÁ, Věra, HFNC (High-flow nasal cannula) u novorozence: Novorozenecké odd. KNTB Zlín [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.fnbrno.cz/data/files/877.pdf>
- [26] FRAT, Jean-Pierre, Rémi COUDROY, Nicolas MARJANOVIC a Arnaud W. THILLE. High-flow nasal oxygen therapy and noninvasive ventilation in the management of acute hypoxemic respiratory failure. *Annals of Translational Medicine* [online]. 2017, 5(14), 297-297 [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.21037/atm.2017.06.52. ISSN 23055839. Dostupné z: <http://atm.amegroups.com/article/view/15608/15789>
- [27] GOTERA, C., S. DÍAZ LOBATO, T. PINTO a J.C. WINCK. Clinical evidence on high flow oxygen therapy and active humidification in adults. *Revista Portuguesa de Pneumologia* [online]. 2013, 19(5), 217-227 [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.1016/j.rppneu.2013.03.005. ISSN 08732159. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0873215913000391>
- [28] GOTERA, C., S. DÍAZ LOBATO, T. PINTO a J.C. WINCK. Clinical evidence on high flow oxygen therapy and active humidification in adults. *Revista Portuguesa de Pneumologia* [online]. 2013, 19(5), 217-227 [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.1016/j.rppneu.2013.03.005. ISSN 08732159. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0873215913000391>

- [29] FERNANDEZ-ALVAREZ, Jose Ramon, Rashmi Shreyans GANDHI, Philip AMESS, Liam MAHONEY, Ryan WATKINS a Heike RABE. Heated humidified high-flow nasal cannula versus low-flow nasal cannula as weaning mode from nasal CPAP in infants ≤ 28 weeks of gestation. *European Journal of Pediatrics* [online]. 2014, 173(1), 93-98 [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.1007/s00431-013-2116-2. ISSN 0340-6199. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00431-013-2116-2>
- [30] KOZEL, Roman. *Moderní marketingový výzkum: nové trendy, kvantitativní a kvalitativní metody a techniky, průběh a organizace, aplikace v praxi, přínosy a možnosti*. 1. vyd. Praha: Grada, 2006. Expert (Grada). ISBN 80-247-0966-X
- [31] FORET, Miroslav. *Marketingový průzkum: poznáváme svoje zákazníky*. 2. aktualiz. vyd. Brno: BizBooks, 2012, iv, 116 s. ISBN 978-80-265-0038-4.]:
- [32] Vapotherm: Deliver nonstop Hi-VNI® Technology [online], [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://vapotherm.com/vapotherm-transfer-unit/>
- [33] OmniaHealth: F&P 850 system [online], [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.omnia-health.com/product/fp-850%E2%84%A2-system-optiflow%E2%84%A2>
- [34] ACUTRONIC MEDICAL SYSTEMS AG, Návod k použití: Ventilátor fabian +nCPAP evolution [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/83218>
- [35] MAXTEC, Návod k použití: MaxVenturi [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/115164>
- [36] FISHER&PAYKEL, Návod k použití: AIRVO 2 Nasal High Flow [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/100932>
- [37] Registr Zdravotnických Prostředků [online], 2015 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/107850>
- [38] Precision Flow: Návod k obsluze [online], In: . [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/136735>

- [39] VAPOTHERM, Návod k použití: Precision Flow Plus [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z:
<https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/136735>
- [40] MOON, Mary, Vapotherm Devices Contaminated With Ralstonia. Pediatric news [online]. 1.2.2006 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z:
<https://www.mdedge.com/pediatrics/article/38640/infectious-diseases/vapotherm-devices-contaminated-ralstonia>
- [41] Vapotherm [online], 2019 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z:
<https://vapotherm.com/vapotherm-transfer-unit/>
- [42] CareOX: Neo2Blender [online], [cit. 2020-04-08]. Dostupné z:
<https://careoxmed.com/neo2-blender>
- [43] MedWrench: Sechrist - 3500HL [online], [cit. 2020-04-08]. Dostupné z:
<https://www.medwrench.com/equipment/7912/sechrist-3500hl>
- [44] MedOne: Carefusion Blender kit Microblender [online], [cit. 2020-04-08].
Dostupné z: <https://www.medonegroup.com/equipment/respiratory/carefusion-blender-kit-microblender>
- [45] Indiamart: Fisher And Paykel Health Care [online], [cit. 2020-04-08]. Dostupné z:
<https://www.indiamart.com/proddetail/mr850-heated-humidifier-9672051362.html>
- [46] Eastin: AIRcon [online], [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: http://www.eastin.eu/mt-mt/searches/products/detail/database-rehadat/id-IW_040312.063
- [47] Papapostolou: Hamilton - H900 [online], [cit. 2020-04-08]. Dostupné z:
<https://www.papapostolou.gr/en/product/hamilton-h900-2/>
- [48] Zvlhčovač MR850: Návod k obsluze [online], In: . [cit. 2019-11-28]. Dostupné z:
<https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/136735##>
- [49] GAJDOŠ, Ondřej, Úvod do ekonomických analýz [online]. [cit. 2020-04-27].
Dostupné z:
https://predmety.fbmi.cvut.cz/sites/default/files/predmet/1664/prednasky/17PMSCIA_20190925_133941_e296f9c8c0bdbcd893a6083ee255bd65.pptx
- [50] PLANT, P K, Cost effectiveness of ward based non-invasive ventilation for acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease: economic analysis of randomised controlled trial. BMJ [online]. 326(7396), 956-956 [cit. 2020-04-27]. DOI: 10.1136/bmj.326.7396.956. ISSN 09598138. Dostupné z:
<http://www.bmj.com/cgi/doi/10.1136/bmj.326.7396.956>

- [51] SCHMIDT, C. DUWAYNE, C. GREGORY ELLIOTT, DORIT CARMELLI, ROBERT L. JENSEN, MARJORIE CENGIZ, JEFFREY C. SCHMIDT, E. DENNIS TOLMAN a TERRY P CLEMMER, 1983. Prolonged mechanical ventilation for respiratory failure. *Critical Care Medicine* [online]. 2016, 11(6), 407-411 [cit. 2020-04-27]. DOI: 10.1097/00003246-198306000-00001. ISSN 0090-3493. Dostupné z: <http://journals.lww.com/00003246-198306000-00001>
- [52] WIGINTON, Brent, 2016. Saving money and eliminating waste through total cost of ownership. *Management in Healthcare* [online]. 2016, (1), 102-107 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.ingentaconnect.com/content/hsp/mih/2016/00000001/00000002/art00002>
- [53] VOCHYÁNOVÁ, Aneta, Petra HOSPODKOVÁ, Gleb DONIN a Vladimír ROGALEWICZ, 2016. Aplikace metody Total cost of ownership (TCO) na zdravotnické přístroje — případová studie na SPECT/CT. *Ekonomie ve zdravotnictví & hodnocení zdravotnických technologií* [online]. (4), 13-18 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Vladimir_Rogalewicz/publication/313877956_Aplikace_metody_Total_cost_of_ownership_na_zdravotnicke_pristroje_-_pripadova_studie_na_SPECTCT/links/5a5124e90f7e9bbc1054304e/Aplikace-metody-Total-cost-of-ownership-na-zdravotnicke-pristroje-pripadova-studie-na-SPECT-CT.pdf
- [54] VOCHYÁNOVÁ, Aneta, 2016. Využití metody Total Cost of Ownership ve zdravotnictví. Kladno. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Petra Hospodková, MBA.
- [55] MILLER, SM a SA DOWD, High-flow nasal cannula and extubation success in the premature infant: a comparison of two modalities. *Nature America* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/jp201038.pdf>
- [56] EATON TURNER, Emily a Michelle JENKS. Cost-effectiveness analysis of the use of high-flow oxygen through nasal cannula in intensive care units in NHS England. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research* [online]. 2017, 18(3), 331-337 [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.1080/14737167.2018.1411804. ISSN 1473-7167. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14737167.2018.1411804>
- [57] FLEEMAN, Nigel, James MAHON, Vickie BATES, et al. The clinical effectiveness and cost-effectiveness of heated humidified high-flow nasal cannula compared with usual care for preterm infants: systematic review and economic evaluation. *Health Technology Assessment* [online]. 2016, 20(30), 1-68 [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.3310/hta20300. ISSN 1366-5278. Dostupné z: <https://www.journalslibrary.nihr.ac.uk/hta/hta20300/>

- [58]HUANG, Li, Calum T. ROBERTS, Brett J. MANLEY, Louise S. OWEN, Peter G. DAVIS a Kim M. DALZIEL. Cost-Effectiveness Analysis of Nasal Continuous Positive Airway Pressure Versus Nasal High Flow Therapy as Primary Support for Infants Born Preterm. *The Journal of Pediatrics* [online]. 2018, 196, 58-64.e2 [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.1016/j.jpeds.2017.12.072. ISSN 00223476. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022347617317699>
- [59]FERNANDEZ-ALVAREZ, Jose Ramon, Rashmi Shreyans GANDHI, Philip AMESS, Liam MAHONEY, Ryan WATKINS a Heike RABE. Heated humidified high-flow nasal cannula versus low-flow nasal cannula as weaning mode from nasal CPAP in infants ≤ 28 weeks of gestation. *European Journal of Pediatrics* [online]. 2014, 173(1), 93-98 [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.1007/s00431-013-2116-2. ISSN 0340-6199. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00431-013-2116-2>
- [60]Kopelman A, Holbert D. Use of oxygen cannulas in extremely low birthweight infants is associated with mucosal trauma and bleeding, and possibly with coagulase-negative staphylococcal sepsis. *J Perinatol* 2003; 23(2): 94–97.
- [61]SCHMIDT, Marty. Total Cost of Ownership TCO. Definitions, Meaning Explained, Example Calculations [online]. Solution Matrix Ltd, © 2017. [vid. 1. 11. 2017]. ISBN 978-1929500109. Dostupné z: <https://www.business-caseanalysis.com/total-cost-of-ownership.html>
- [62]KONSCHAK, Colin. Understanding the Total Cost of Ownership (TCO) analysis for IS in the healthcare setting [online]. Divurgent. [vid. 31. 10. 2017]. Dostupné z: <http://www.colinkonschak.com/images/TotalCostofOwnership.pdf>.
- [63]HOCKEL, Dale, Terry HAMILTON. Understanding total cost of ownership [online]. KSR Publishing Inc., © 2017. [vid. 24. 11. 2017]. Dostupné z: <https://www.hponline.com/inside/2011-09/1109-EquipPlan-TCO.html>
- [64]Ponder before you purchase [online]. Climate Control Middle East, © 2017. [vid. 31. 10. 2017]. Dostupné z: <http://climatecontrolme.com/2012/09/ponderbefore-you-purchase/>.
- [65]KAMENSKÝ, Vojtěch, Citlivostní analýza [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: https://predmety.fbmi.cvut.cz/sites/default/files/predmet/1664/prednasky/17PMSCIA_20191106_160227_0f690be7916ed09c5c11406fdfa89305.pdf
- [66]NOVÁK, Ondřej, 2016. Využití citlivostních analýz v rámci hodnocení zdravotnické techniky. Kladno. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Ivana Kubátová, Ph.D.

- [67] BIO-MED DEVICES, Návod k použití Neo2Blender: Směšovač vzduch/kyslík [online]. In: . 18.4.2019 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/142610>
- [68] SECHRIST, Návod k použití Sechrist 3500: Směšovač vzduchu a kyslíku [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/96217>
- [69] CAREFUSION, Návod k použití MicroBlender: Směšovač vzduchu a kyslíku [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/101862>
- [70] WILAMED, Návod k použití AIRcon: Zvlhčovač respiračních plynů [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/168533>
- [71] HAMILTON MEDICAL, Návod k použití H900: Zvlhčovač respiračních plynů [online]. In: . 20.5.2016 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/104635>
- [72] WILAMED, Dýchací okruhy a zvlhčovací komory pro jedno použití: návod k použití [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/142356>
- [73] HAMILTON MEDICAL, Návod k použití BC8022: Set dýchacího okruhu se dvěma trubicemi, vyhřívaný, s vodní komorou [online]. In: . 11.5.2016 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/104643>
- [74] FLEXICARE, Návod k použití: Dýchací okruh s vyhříváním pro dospělé a děti [online]. In: . 01/2017 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/139712>
- [75] VAPOTHERM, Návod k použití: Precision Flow patientský dýchací okruh [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/142323>

- [76] FISHER&PAYKEL, Návod k použití: Pacientský dýchací okruh série RT [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://erepublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/175540>
- [77] FLEXICARE, Návod k použití: Zvlhčovací komora s automatickým napouštěním [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://erepublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/139256>
- [78] FISHER&PAYKEL, Návod k použití: Komora s automatickým připouštěním vody MR290 [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://erepublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/174901>
- [79] VAPOTHERM, Návod k použití: Vapotherm nasální aplikátor [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://erepublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/142390>
- [80] FISHER&PAYKEL, Návod k použití: Kanyla nosní OptiFlow junior 2 [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://erepublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/174901>
- [81] FLEXICARE, Návod k použití: Nosní kanyly DUAL pro novorozence [online]. In: . [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://erepublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/139291>
- [82] Informační systém o průměrném výděлку: Rok 2019 Mzdová sféra [online], 2020. 25.3.2020. [cit. 2020-04-27].
- [83] Všeobecná fakultní nemocnice V Praze, 2019. Výroční zpráva 2018 [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://www.vfn.cz/wp-content/uploads/2019/07/VFN_VZ-2018_final.pdf
- [84] FISHER&PAYKEL, MR850 Respiratory humidifier: Technical Manual [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <http://www.nbn-group.com/manuals/machine/V-MR850TechManual.pdf>
- [85] IVLEV, Ilya, Jakub VACEK a Peter KNEPPO, Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of medical devices under uncertainty. European Journal of Operational Research [online]. 16.11.2015, (247), 216-228 [cit. 2020-04-27]. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.05.075. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715004877>

- [86] REJDOVÁ, Petra, 2018. Návrh na modernizaci přístrojového vybavení oddělení perinatologie ve VFN v Praze. Kladno. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Petra Hospodková, MBA.
- [87] ROUN, Václav, 2017. Cenotvorba zdravotnických prostředků - vyhodnocení zahraničních cen při organizaci nákupu nového zdravotnického přístroje. Kladno. Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Ing. Petra Hospodková, MBA.
- [88] NISREEN, H.J., SALLOOM, A.J. a OMER, N.M. Medical Devices Service Life Cycle Cost Management in Al Karak Hospital as a Case Stud. J Account Mark [online]. 2015, 4(2) [cit. 2015-10-13]. ISSN 2168-9601. Dostupné z: <http://www.omicsgroup.org/journals/medical-devices-service-life-cycle-cost-management-in-al-karak-hospital-as-a-case-study-2168-9601-1000134.pdf>
- [89] ROSINA, Jozef, Vladimír ROGALEWICZ, Ilja IVLEV, et al., HEALTH TECHNOLOGY ASSESSMENT FOR MEDICAL DEVICES [online]. 23-36 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/CTJ/article/download/4361/4>

Příloha A: Obsah příloženého CD

- Klíčová slova v českém jazyce
- Klíčová slova v anglickém jazyce
- Abstrakt v českém jazyce
- Abstrakt v anglickém jazyce
- Zadání diplomové práce
- Diplomová práce
- Tabulkový nástroj (Microsoft Excel)