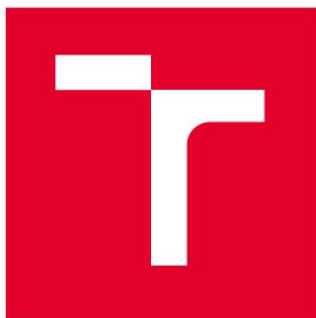




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

DESIGN MOBILNÍ MAGNETICKÉ REZONANCE

DESIGN OF MOBILE MAGNETIC RESONANCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Viktorie Hlobilová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.

BRNO 2026

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav konstruování
Studentka: **Bc. Viktorie Hlobilová**
Studijní program: Průmyslový design ve strojírenství
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.**
Akademický rok: 2025/26

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Design mobilní magnetické rezonance

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Mobilní magnetická rezonance využívá stejný princip jako stacionární přístroje, tedy měření změn magnetických momentů atomových jader vodíku. Na rozdíl od klasické MR je však koncipována pouze pro zobrazování mozku a umožňuje monitorování pacienta přímo na lůžku. To klade nároky na kompaktnost, mobilitu, nízkou energetickou náročnost a ergonomii. Inovativní tvarové i materiálové přístupy mohou přispět k lepšímu komfortu pacienta i efektivnější práci zdravotnického personálu.

Typ práce: vývojová – designérská

Výstup práce: aplikovaný výsledek (Fužit, Fprum, Gprot, Gfunk, R)

Projekt: specifický vysokoškolský výzkum

Cíle diplomové práce:

Cílem je navrhnout progresivní designérskou vizi mobilního přístroje pro magnetickou rezonanci s aplikací klasických i nejnovějších technologií.

Dílčí cíle diplomové práce:

- analyzovat současnou produkci mobilních přístrojů pro magnetickou rezonanci,
- navrhnout originální, technicky a vizuálně progresivní vizi mobilního MR přístroje,
- zpracovat prostorový model navrženého designu ve zmenšeném měřítku.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, sumarizační poster, technický poster, ergonomický poster, designérský poster, fotografie modelu, fyzický model.

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 – 50 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<https://www.ustavkonstruovani.cz/texty/magisterske-studium-ukoncenii/>

Seznam doporučené literatury:

DREYFUSS, Henry. Designing for people. New York: Allworth Press, 2003. ISBN 1581153120.

FIELL, Charlotte a Peter FIELL (eds.). Designing the 21st century: design des 21. Jahrhunderts Le design du 21 siècle. Köln: Taschen, c2001. ISBN 3-8228-5883-8.

LIDWELL, William. a Gerry. MANACSA. Deconstructing product design: exploring the form, function, usability, sustainability, and commercial success of 100 amazing products. Beverly, Mass.: Rockport Publishers, c2009. ISBN 1592533450.

NORMAN, Donald A. Emotional design: why we love (or hate) everyday things. New York: Basic Books, 2005. ISBN 0-465-05136-7.

PELCL, Jiří. Design: od myšlenky k realizaci = from idea to realization. V Praze: Vysoká škola uměleckoprůmyslová v Praze, c2012. ISBN 978-80-86863-45-0.

THOMPSON, Rob. a Young Yun. KIM. Product and furniture design. New York: Thames & Hudson, 2011. Manufacturing guides. ISBN 0500289190.

KULA, Daniel, Elodie TERNAUX a Quentin HIRSINGER. c2012. Materiology: průvodce světem materiálů a technologií pro architekty a designéry. Praha: Happy Materials. ISBN 978-80-260-0538-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2025/26

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tématem diplomové práce je návrh designu mobilní magnetické rezonance pro snímání mozku pacienta přímo u nemocničního lůžka. Cílem práce bylo analyzovat problematické stránky současných řešení a navrhnout zařízení, které bude lépe odpovídat požadavkům nemocnic, zdravotnického personálu i vyšetřovaného pacienta. Finální koncept proto pracuje s otočnou vyšetřovací částí, která usnadňuje přístup k části lůžka, kde je umístěna hlava pacienta. Přesnější manipulace ve stísněných prostorech je podpořena použitím všesměrných kol a ochranná zóna kolem přístroje je vymezena pomocí liniových laserů, které slouží také pro vizuální komunikaci s obsluhou. Tvarové řešení je navrženo s ohledem na hygienickou údržbu, snadnou obsluhu a přívětivější působení na pacienta. Práce ukazuje možný směr vývoje mobilních magnetických rezonancí a jejich vhodnějšího začlenění do běžného nemocničního provozu.

KLÍČOVÁ SLOVA

mobilní magnetická rezonance, point-of-care diagnostika, zdravotnický přístroj, design

ABSTRACT

The topic of this diploma thesis is the design of a portable magnetic resonance imaging device intended for neuroimaging directly at the patient's hospital bed. The aim of the thesis was to analyse the problematic aspects of current solutions and to design a device that better responds to the requirements of hospitals, medical staff and the examined patient. The final concept therefore works with a rotatable examination part, which facilitates access to the part of the bed where the patient's head is positioned. More precise manipulation in confined spaces is supported by the use of omnidirectional wheels, and the protective zone around the device is defined by line lasers, which also serve for visual communication with the operator. The shaping of the design is created with regard to hygienic maintenance, easy operation and a more patient-friendly impression. The thesis presents a possible direction for the development of portable magnetic resonance imaging devices and their more suitable integration into routine hospital operation.

KEYWORDS

portable magnetic resonance, point-of-care diagnostics, medical device, design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HLOBILOVÁ, Viktorie. Design mobilní magnetické rezonance. Online, diplomová práce. doc. akad. soch. Ladislav KŘENEK, ArtD. (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2026. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/173831>.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce doc. akad. soch. Ladislavu Křenkovi, ArtD. za odborné vedení, cenné rady a připomínky v průběhu vypracování diplomové práce. Dále bych také chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu po celou dobu studia.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracovala samostatně, pod odborným vedením doc. akad. soch. Ladislava Křenka, ArtD. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	14
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	15
2.1	Rešeršní metody	15
2.1.1	Kritéria relevance pro výběr informačních zdrojů	15
2.1.2	Rešeršní požadavek a rešeršní strategie	15
2.1.3	Výběr relevantních informačních pramenů	16
2.1.4	Užité metody zpracování dat	16
2.1.5	Sumarizace počtu a druhu vybraných informačních zdrojů	16
2.2	Rešerše na stav techniky	17
2.2.1	Motivace	17
2.2.2	Designérská analýza	18
2.2.3	Technická analýza	31
2.3	Shrnutí hlavních zjištění	40
2.4	Identifikace novosti a příležitostí	42
3	CÍLE PRÁCE	43
3.1	Vymezení problému	43
3.1.1	Název produktu a jeho klasifikace	43
3.1.2	Specifikace zákazníka	43
3.1.3	Specifikace spotřebitele	43
3.1.4	Specifikace trhu, ceny a použitých výrobních technologií	44
3.1.5	Vymezení problému	44
3.2	Cíle vývoje	46
4	KONCEPČNÍ NÁVRH	47
4.1	Analýza cílů a specifikace omezení	47
4.2	Technická a funkční analýza	48
4.3	Návrh alternativních řešení	49
4.3.1	Varianta I	51
4.3.2	Varianta II	52
4.3.3	Varianta III	53
4.4	Analýza alternativních řešení a výběr nejlepšího	54
5	PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH	57
5.1	Určení tvarů, rozměrů a materiálů	57

5.1.1	Určení tvarů	57
5.1.2	Určení rozměrů	58
5.1.3	Testování ergonomických vlastností	60
5.1.4	Určení materiálů	61
5.2	Matematický model	61
5.2.1	Kapacita baterie	61
5.2.2	Ověření stability	63
5.3	Odhad výrobních nákladů a objemu výroby	65
6	DETAILNÍ NÁVRH	66
6.1	Tvarové řešení	66
6.2	Konstrukční řešení	74
6.3	Ergonomické řešení, bezpečnost a hygiena	76
6.3.1	Ergonomické řešení	76
6.3.2	Bezpečnost a hygiena	85
6.4	Barevné a grafické řešení	88
6.4.1	Barevné řešení	88
6.4.2	Grafické řešení	92
6.5	Udržitelnost produktu	95
6.6	Hodnocení klíčových parametrů	95
7	ZÁVĚR	97
8	VÝSLEDEK VÝZKUMU PODLE RIV	99
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	100
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	106
11	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	107
12	SEZNAM TABULEK	111
13	SEZNAM PŘÍLOH	112

1 ÚVOD

Magnetická rezonance patří mezi klíčové diagnostické metody současné medicíny. Jedná se o technologii, se kterou se může v průběhu života setkat téměř každý z nás a jejíž výsledky mohou v rozhodujícím okamžiku zásadně ovlivnit další postup léčby. Přesto však zůstává dostupnost tohoto vyšetření v mnoha případech omezená. Důvodem jsou nejen vysoké pořizovací a provozní náklady, ale také náročné stavební a technické požadavky na samotné pracoviště magnetické rezonance. To se následně může projevovat delšími čekacími dobami, které jsou problematické především v případech, kdy je rychlé stanovení diagnózy zásadní pro zahájení vhodné léčby.

Jednou z možností, jak dostupnost této diagnostické metody rozšířit, je vývoj mobilních magnetických rezonancí. Tyto přístroje přinášejí odlišný přístup k vyšetření, kdy není pacient převážen na specializované pracoviště, ale zobrazovací technologie je dopravena přímo k němu. To je zásadní především u pacientů na jednotkách intenzivní péče nebo urgentních příjmech, kde samotný transport představuje organizační i zdravotní riziko. Převoz kriticky nemocného pacienta často vyžaduje koordinaci vícečlenného týmu, připojení podpůrných přístrojů a zvýšenou časovou zátěž zdravotnického personálu. Mobilní magnetická rezonance může tento proces výrazně zjednodušit. Výhodou těchto zmenšených jednotek je také to, že pro jejich provoz, není zapotřebí specializované obsluhy, ale pouze proškoleného personálu. Mobilní zobrazovací zařízení tak mohou přispět nejen ke zrychlení diagnostiky, ale také k efektivnějšímu využití personálu a snížení provozní zátěže nemocnice.

Mobilní magnetická rezonance však není pouze technickým zařízením určeným ke snímání mozku pacienta. Jedná se o přístroj, se kterým pracuje zdravotnický personál a zároveň přichází do přímého kontaktu s vyšetřovaným pacientem. Jeho návrh proto musí respektovat nejen konstrukční uspořádání vnitřních komponent, ale také ergonomii obsluhy, komfort pacienta, snadnou manipulaci v nemocničním interiéru a celkové psychologické působení zařízení.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem designu mobilní magnetické rezonance pro snímání mozku pacienta přímo u nemocničního lůžka. Cílem práce je vytvořit koncepti zařízení, které bude lépe reagovat na požadavky nemocničního provozu a současně zohlední potřeby zdravotnického personálu i vyšetřovaného pacienta. Návrh vychází z analýzy současných mobilních zobrazovacích zařízení a poznatků získaných z prostředí nemocnice. Důraz je kladen především na interakci s přístrojem ve všech fázích jeho použití, konstrukční návaznost na nemocniční lůžko a hygienickou údržbu, která odpovídá použití v medicínském prostředí.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Rešeršní metody

Tato kapitola je zaměřena na samotný postup získávání informací, které jsou následně využity při návrhu řešeného produktu.

2.1.1 Kritéria relevance pro výběr informačních zdrojů

V průběhu vyhledávání a výběru informací byl kromě relevantnosti obsahu sledován také rok vydání jednotlivých odborných článků a jiných publikací. Za vhodné zdroje byly označeny ty, které splňovali kritérium aktuálnosti informací a svým obsahem byly přínosné pro tematiku diplomové práce. Jako velmi prospěšný zdroj se ukázaly katalogy a videa, které uvádějí bližší informace o produktu a názorně popisují práci s ním. Dále také patenty, jež poskytly částečný přehled o vnitřních komponentech mobilních magnetických rezonancí.

Pro vyhledávání informačních zdrojů byly použity bibliografické databáze Google Scholar, Google Patents, Elsevier, PubMed a VUT Primo. Díky těmto databázím bylo možné získat několik odborných článků, patentů a také knižních publikací splňující stanovená kritéria.

2.1.2 Rešeršní požadavek a rešeršní strategie

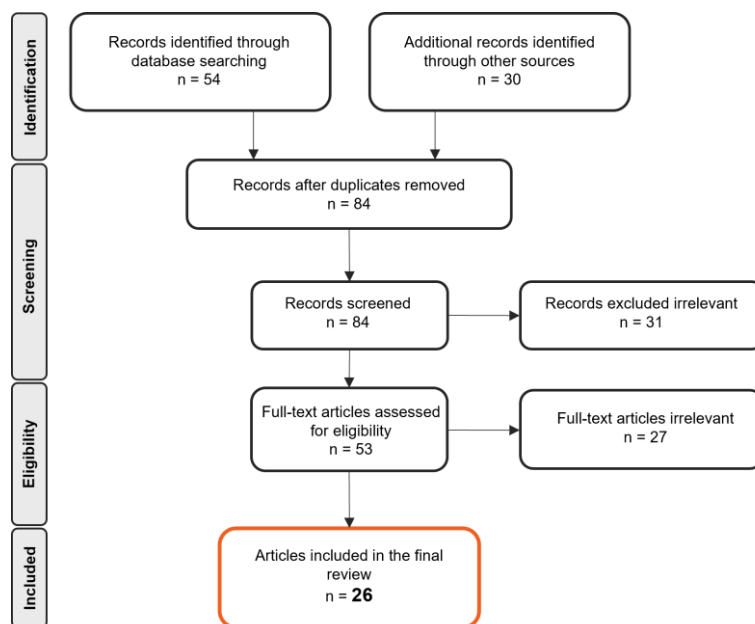
Při rešerši byla využita kombinace dvou rešeršních strategií – strategie rostoucí perly a strategie stavebních kamenů. Vyhledávání výrazů probíhalo v anglickém i českém jazyce.

Strategie rostoucí perly byla založena na postupném rozšiřování hledaných pojmů na základě relevantních zdrojů. Rešerše začínala základními výrazy jako „*Magnetic Resonance*“; „*Portable Magnetic Resonance (pMRI)*“, na které se následně nabalovaly pojmy jako „*ULF MRI*“; „*MRI components*“; „*ergonomics in medical devices*“.

Strategie stavebních kamenů spočívala v kombinování jednotlivých klíčových pojmů, které vystihovaly hlavní témata práce. Použitá klíčová slova zahrnovala například: „*Portable MRI*“; „*Ultra-low field MRI*“; „*MRI Magnet design*“; „*Bedside imaging*“; „*Mobile medical device*“; „*Mobile CT*“; „*Mobile X-ray*“; „*Medical device design*“ apod. Tímto způsobem bylo možné získat jak obecné, tak specifické informace, které přispěly k porozumění problémů a vytvoření přehledu dostupných řešení.

2.1.3 Výběr relevantních informačních pramenů

Informace získané z rešerše byly postupně podrobněji analyzovány. Z celkových 84 zdrojů bylo vyhodnoceno 26 zdrojů jako relevantních. Velká část zdrojů byla vyřazena z důvodu nedostatečného přínosu a duplicity informací.



Obr. 2-1 PRISMA diagram

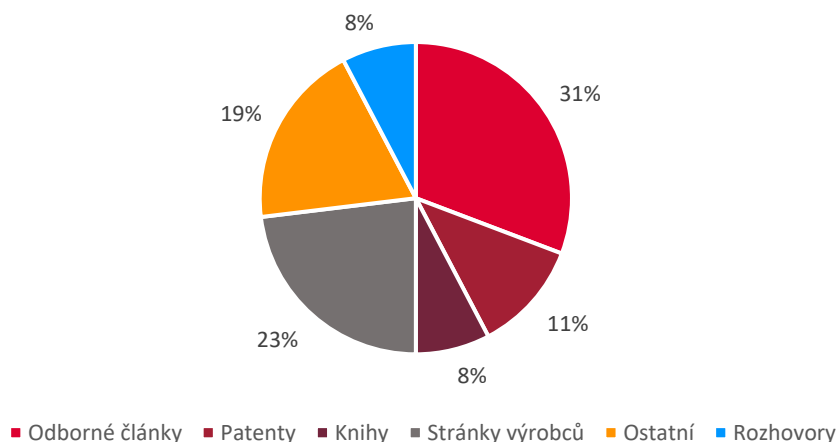
2.1.4 Užití metody zpracování dat

Nalezené informační zdroje byly ukládány do citačního manažeru Citace PRO. Dále byly rozříděny dle charakteru do kategorií Odborné články, Patenty, Knihy, Stránky výrobců (pod které spadají také katalogy produktů), Ostatní (videa apod.) a Rozhovory.

2.1.5 Sumarizace počtu a druhu vybraných informačních zdrojů

Nejvíce informací o produktu samotném bylo získáno z webových stránek výrobců a z katalogů produktu, které jsou v grafu řazeny pod stejnou skupinou. Patenty poté napomohly k získání informací týkajících se vnitřní konstrukce zařízení. Vzhledem k tomu, že není možné se k mobilním jednotkám magnetické rezonance v České republice fyzicky dostat, sehrála důležitou roli videa, která jsou v grafu řazena pod kategorií „Ostatní“. Ta byla klíčová pro pochopení provozu, ovládání a interakce zdravotnického personálu a pacienta s přístrojem.

Jako přínosný informační zdroj jsou zde uvedeny také rozhovory. Jednalo se o rozhovor se servisním technikem standardních magnetických rezonancí, který přinesl detailní náhled na funkčnost těchto magnetických rezonancí a z dostupných informací také došlo k odhadnutí přibližného princip fungování mobilních jednotek. Druhý rozhovor byl veden s personálem hodonínské nemocnice, převážně o možnostech využití mobilních magnetických rezonancí a efektivitě personálu při využití jiných mobilních zařízení, konkrétně mobilního RTG.



Obr. 2-2 Segmentace zdrojů

2.2 Rešerše na stav techniky

2.2.1 Motivace

Mobilní magnetická rezonance zapadá do rychle se rozvíjejícího Point-of-care přístupu ve zdravotnictví, kdy se diagnostika přesouvá k pacientovi místo transportu pacienta na specializované pracoviště. V prostředí JIP/ARO a urgentních příjmů je převoz pacientů často rizikový, logisticky náročný a časově zatěžující pro personál. Mobilní MR umožňuje získat obraz přímo u lůžka pacienta a výrazně tak zkrátit dobu pro diagnózu. [1]

Přístroj vznikl jako reakce na limity konvenčních MR pracovišť. Klasická MR vyžaduje náročné stavební a bezpečnostní zázemí, což omezuje její dostupnost v některých nemocnicích, a to zejména v nemocnicích v nízkopříjmových regionech. Aplikací mobilních jednotek MR by mohlo dojít ke zpřístupnění tohoto druhu vyšetření, a tedy zkrácení čekacích dob. Výrobci komunikují ultra-low-field MR jako doplňkové řešení ke standardním jednotkám s mnohem vyšším výkonem a rozlišovacími schopnostmi. Tento systém tedy nemá nahradit tradiční přístroje, spíše rozšířit možnosti diagnostiky, zefektivnit workflow personálu, a především také celkový proces určení diagnózy. Ultra-low-field koncepty také otvírají cestu k budoucímu využití magnetické rezonance i mimo zdravotnická zázemí například integrací do sanitních vozů. [2]

2.2.2 Designérská analýza

Na současném trhu se vyskytuje pouze jedna mobilní magnetická rezonance, která je schválena organizací FDA a je ji možné zakoupit. Několik dalších produktů je ve fázi prototypů a je o nich možné dohledat jen velmi limitované množství informací. Vzhledem k těmto skutečnostem je designérská analýza zaměřena také na jiné mobilní diagnostické přístroje jako je například mobilní RTG nebo mobilní CT. I když tyto přístroje využívají jinou technologii zobrazování, jsou velmi důležitou inspirací z hlediska vzhledu, konstrukce, rozměrů a jiných použitých prvků. Tyto přístroje se ve zdravotnictví využívají už několik let a v dnešní době jsou již standardně zařazeny do chodu mnoha nemocnic. Jejich design je tak promyšlenější a propracovanější právě proto, že staví na zkušenostech z používání několika předchozích generací těchto přístrojů.

Hyperfine Swoop 1. generace

Jedná se o pojízdný systém magnetické rezonance určený primárně pro zobrazování mozku přímo u lůžka pacienta. Swoop je zaměřen na neuroimaging, tedy vyšetření hlavy pacienta, zejména potom v situacích, kdy je potřeba obrazovou informaci získat rychle. Výrobce uvádí přínos zejména v intenzivní péči, kdy přístroj zajišťuje získání snímků bez nutnosti převozu pacienta. Tím dochází k eliminaci rizik, které vznikají při přesunu klinicky nemocných ke stacionárním zobrazovacím přístrojům. Přínosem je také zvýšení efektivity nemocničního personálu a rychlejší dostupnost informací pro další případné rozhodování. [3]



Obr. 2-3 Hyperfine Swoop 1. generace [4]

Na rozdíl od standardních uzavřených magnetických rezonancí využívá přístroj Swoop permanentních magnetů, které není potřeba chladit tekutým heliem. Intenzita magnetického pole se pohybuje kolem 64 mT. Důsledkem takto slabého magnetického pole vzniká při vyšetření pouze slabý měřený signál. To negativně ovlivňuje kvalitu pořízených snímků, kterou jsou při pořizování v takto slabém magnetickém poli v malém rozlišení a plně nežádoucího šumu. To zařízení Swoop kompenzuje softwarem doplněným o AI pro rekonstrukci obrazu. Pomocí tohoto nástroje jsou pořizované snímky dokreslovány, je také zvýšeno jejich rozlišení a částečně odstraněn šum. [5]

Rozměry přístroje se zataženým Gauss Guard v horní části jsou (860 x 860 x 1500) mm a hmotnost přístroje se pohybuje přibližně okolo 635 kg. [3] Vysoká hmotnost je typická i pro jiné typy Ultra-low-field MR jednotek, to je zapříčiněno především tíhou konstrukce magnetů. Ta je rovna přibližně polovině hmotnosti celého přístroje. Pro provedení vyšetření je nutné zařízení připojit do standardní 230 V zásuvky. Výrobce uvádí spotřebu přístroje 900 W a připravenost ke skenování za 2 minuty po zapojení přístroje. [3; 5] Vzhledem k hmotnosti zařízení je přístroj kromě standardních koleček vybaven také motorizovanými koly, která jsou ovládána malým joystickem umístěným v horní části přístroje vedle ovládacího panelu.

Ovládací panel je umístěn z boční strany mezi madly. Jedná se o vyčnívající hmotu vytvářející malý pultík, na kterém jsou umístěny všechny ovladače a sdělovače. Je zde spouštěcí tlačítko doplněno světelnou kontrolkou a klíček, který slouží jako bezpečnostní prvek proti samovolnému rozjetí přístroje. Až po jeho otočení do správné pozice je možné uvést přístroj do pohybu. Následně jsou mezi ovládacími prvky světelné sdělovače stavu napájení přístroje a stavu baterie. V neposlední řadě je zde také tlačítko emergency stop. Zařízení je dále možné ovládat pomocí tabletu na který se následně zobrazují i pořízené snímky mozku pacienta. Ovládací displej však není součástí samotného těla přístroje a je jej tedy nutné nosit zvlášť.



Obr. 2-4 Ovládací panel přístroje Swoop [3]

V horní části přístroje je dále tzv. vyklápěcí most, který slouží jako přechod mezi lůžkem a přístrojem. Ten je při příjezdu k lůžku vyklopen do horizontální polohy a jeho velká část je následně nasunuta a položena na matraci lůžka. I když je pacient v pozici pro vyšetření a leží na vyklopeném mostu, nenese samotný prvek velkou část váhy pacienta. Při převozu je most sklopen směrem nahoru, čímž jakoby uzavírá vstup do přístroje. Mezi magnety je upevněna hlavová radiofrekvenční cívka, do které je při přípravě k vyšetření umístěna hlava pacienta. Hlavová cívka je složena z osmi kanálové cívky, která je uložena v průhledném polykarbonátovém krytu. [3] Jelikož je nutné, aby zůstal pacient při vyšetření nehybný, může být jeho hlava zafixována nafukovacími polštářky, které jsou vloženy do prázdného prostoru mezi hlavou a stěnami cívky. Polštářky jsou následně jsou nafouknuty do požadované velikosti tak, aby s hlavou nebylo možné volně pohybovat. [6] V horní části přístroje je tzv. Gauss guard, neboli fyzická bariéra o průměru 1580 mm, která při roztažení vymezuje bezpečnou vzdálenost s hranicí magnetického pole o síle 0,5 mT (5 Gauss). [3]

Z hlediska designu působí celkový vzhled přístroje velmi konstruktivně, tvrdě a zastarale. To je výrazně ovlivněno viditelnou kabeláží a surovou konstrukcí nosných prvků. V nemocničním prostředí tedy může přístroj působit rušivě a pacient z jeho použití nemusí mít dobrý pocit. Opticky je přístroj rozdělen na tři části – podstavu s podvozkem a elektronikou, středovou část s magnety a nízkou horní část s horizontálně rozložitelnou konstrukcí, někdy také nazývanou jako „svatozář“. I přes to, že tyto jednotlivé části striktně dodržují kruhový půdorys definovaný tvarem magnetů, působí celkový vzhled nesourodě. Výrazným prvkem je, nejspíš kvůli odlišnému zabarvení, podvozek přístroje. Ten je od zbytku krytování oddělen širokou spárkou, která narušuje celistvost podstavy. Nápadným prvkem je také barevné logo a větrací otvory. Ty jsou však pojaty velmi jednoduše ve formě svislých čar, a tedy nedodávají designu žádný charakteristický vizuál. Ve středové části je dominantním prvkem hlavová cívka. Jedná se o čistě funkční součást, tudíž je zde samotný vzhled až sekundární a nehraje příliš velkou roli. Vizuálně zajímavou částí je však děrované krytování kolem magnetů, které zabraňuje interferenci externího elektromagnetického vlnění. [3] Perforování v plechu zapříčiňuje, že tato část přístroje působí velmi vzdušně. To může mít přívětivý vliv na pacienta, jelikož vnitřní prostor nebude působit příliš stísněně a uzavřeně. „Svatozář“ ve svém roztaženém stavu působí zajímavým dojmem. Díky výraznému zabarvení a netradičnímu tvarování jednotlivých dílků oživuje vzhled celého přístroje.

Negativní stránku konstrukce tohoto přístroje je také to, že ovládací tablet není součástí samotného těla přístroje, ani zde není vymezen prostor pro jeho upevnění nebo odložení. Personál tedy není schopen při převozu nést tablet a zároveň řídit přístroj, nebo alespoň velmi obtížně. Stejně tak na zařízení není žádný prostor pro uschování nafukovacích vložek, které mohou být potřeba při vyšetření. To může ztížit práci s přístrojem a výrazně zhoršit workflow personálu.

Hyperfine Swoop 2. generace

V roce 2025 uvedla společnost Hyperfine na trh novou generaci přístroje Swoop. Mimo jiné zdůrazňuje výrobce posun především v kvalitě pořízených snímků, díky pokročilejší AI rekonstrukci obrazu, avšak z funkčního hlediska zůstávají hodnoty obdobné jako u 1. generace tohoto přístroje. [7]



Obr. 2-5 Hyperfine Swoop 2. generace [7]

Rozměry přístroje jsou (1450 x 830 x 1500) mm, proti 1. generaci se tedy výrazně zvětšila šířka přístroje. [8] Díky tomu však došlo také k rozšíření vstupního otvoru, což může být výhodné pro snazší polohování pro vyšetření. Více otevřená architektura přístroje může také přispět proti klaustrofobnímu pocitu, a tedy k příjemnějšímu pocitu pacienta ze samotného přístroje a celého procesu vyšetření. Vyklápěcí most je zde doplněn o vrstvu polstrování vedoucímu k hlavové cívce. Důsledkem může být pohodlnější pocit při ležení, avšak zvyšuje se tak i přechod mezi matrací lůžka a přístrojem, který musí pacient při přesunu do přístroje překonat. Materiál polstrování může být také problematický, jelikož bude při posouvání vytvářet větší odpor při styku s oblečením pacienta a znemožňovat tak plynulý posun po vyklápěcím mostu. Řízení je obdobně jako na předchozí verzi řešeno joystickem situovaným na boční straně přístroje. I když je joystick mírně předsunut z celku přístroje, nevyčnívá z celku dostatečně a ovládání při přesunu zařízení tak nemusí být pro obsluhu příjemné. Při řízení bude obsluha příliš blízko přístroje, což nemusí být ideální pro chůzi. Může docházet ke kolizi nohou s krytovaním ve spodní části, jelikož zde není vymezen dostatečný prostor pro krok vpřed.

Výrazným vylepšením je však ovládací tablet, který je nyní již součástí přístroje samotného. Je umístěn na vyklápěcí konstrukci, která dovoluje tablet vysunout na potřebnou vzdálenost a případně jej také natočit. To může být výhodné při probíhajícím vyšetření, kdy si personál může tablet vysunout tak, aby měl dobrý výhled na pacienta a mohl s ním tak lépe komunikovat.

Vzhled nové generace přístroje Swoop působí lépe a více uceleně, avšak celkovým dojmem působí přístroj stále spíše zastarale než jako moderní zařízení disponující novou technologií. Díky větším rozměrům a sjednocenému krytování je přístroj mohutnější a svou konstrukcí tak lépe odráží hmotnost přístroje. Podvozek je tvořen zadními motorizovanými koly a malými předními, které slouží k manuálnímu natáčení pomocí madel. Madla jsou zde také z plastu, barevně sjednocena se zbytkem krytování. Díky tomu naprosto splývají se zbytkem přístroje a nenarušují jednoduchost tvarování. Výrazným prvkem jsou zde větrací otvory, navrženy jako linie pod úhlem 45 °, které vytváří dva samostatné obdélníky. Jejich umístění na přední straně v kombinaci s šířkou jednotlivých průduchů, dělá z větrání velmi dominantní prvek, který narušuje jednoduchost a čistotu vzhledu.

Wellumio Axana

Axana od firmy Wellumio je prototyp mobilní magnetické rezonance. Jelikož je toto zařízení pouze ve fázi prototypu, jsou dostupné informace o tomto konceptu pouze velmi omezené. Zařízení by mělo disponovat silou magnetického pole o hodnotě 0,1 T. Wellumio rámuje přístroj jako nástroj pro triáž a detekci cévní mozkové příhody. Cílem produktu je zkrátit čas pro vyšetření tím, že bude přístroj dopraven k lůžku pacienta, bez nutnosti jeho transportu na oddělení zobrazovacích technologií. Tím by mělo dojít k diagnostice v rámci kritického časového okna neboli v rámci tzv. „Zlaté hodiny“. [9]

Technicky vychází Axana z konstrukce magnetické rezonance, ale společnost Wellumio zdůrazňuje odlišný princip nazvaný Pulsed Gradient Free Mapping. Přístup, který údajně eliminuje potřebu klasického gradientního kódování a tím i část objemných komponent, což má umožnit menší, rychlejší a jednodušší systém. [9]



Obr. 2-6 Prototyp Wellumio Axana [10]

Design zařízení působí velmi čistě a moderně. Tělo přístroje je tvořeno širokou základnou se standardními kolečky s brzdou. Z podstavy vede následně úzký krk kruhového průřezu, na kterém je horní část s otvorem, kam pacient umístí hlavu. Prstencovitým tvarováním horní části připomíná zařízení konstrukci uzavřené magnetické rezonance. Madla jsou umístěna ze stran přístroje a také jedno v horní části ze zadní strany. Ovládání je řešeno pomocí tabletu, ten je umístěn ze strany přístroje u jednoho z bočních model.

Z hlediska ergonomie je velikost ovládacího tabletu v kombinaci s jeho umístěním problematická. Displej je pod ostrým úhlem a situován nízko na přístroji. Informace na displeji tak budou pro obsluhu špatně viditelné a stejně tak nebude ideální ani jeho ovladatelnost. Jako problematická část se také jeví zabrzdění přístroje, které působí jako nedostatečné. Při umísťování hlavy do přístroje může vzhledem k nižší hmotnosti dojít k samovolnému posunutí. To by byl z uživatelského hlediska velký problém. V realitě tomu tak však nemusí být, jelikož je produkt posuzován pouze na základě dostupných podkladů.

Somatom On.site

Somatom On.site je mobilní CT skener pro vyšetření hlavy od společnosti Siemens Healthineers. Přístroj je navržen primárně pro využití na odděleních intenzivní péče přímo u lůžka pacienta, aby byla eliminována nutnost náročného převozu na radiologii. Rozměry zařízení jsou (1600 x 740 x 1550) mm a hmotnosti přibližně 998 kg. Klíčovou inovací, oproti jiným mobilním CT přístrojům, je kompaktní prstencovitá konstrukce s teleskopickým mechanismem. Zadní část s rentgenkou a detektorem se během skenu pohybuje směrem dozadu, zatím co přední část s hlavou pacienta zůstává nehybná. Díky tomu je možné provádět vyšetření i na pacientech s ventilátory bez toho, aby hrozilo riziko poškození hadiček vlivem pohybu pacienta. Zařízení také disponuje „self-shielded“ konstrukcí skeneru a odnímatelnými radiačními štíty v oblasti otvoru pro hlavu. Ty mají za funkci snížit rozptýlené záření a zvýšit tak radiační bezpečnost pro personál i okolní pacienty. [11]



Obr. 2-7 Teleskopický mechanismus, vlevo – počáteční pozice skeneru, vpravo – konečná poloha skeneru [11]

Převoz přístroje je zajištěn motorizovanými zadními koly. Manévrování je poté řešeno madlem a menšími předními koly se středovým zavěšením. Kvůli výšce přístroje je zařízení v přední části doplněno o kameru, která při převozu snímá prostor před zařízením a promítá pořizovaný obraz na displej. [12] Díky tomu je zaručen dobrý výhled i pro osoby menšího vzrůstu. Přístroj je napájen čtyřmi dobíjecími olověnými bateriemi (4 x 12 V). [11]



Obr. 2-8 Somatom On.site [13]

Tělo přístroje je tvořeno dominantním krytováním ve tvaru prstence s vnitřním otvorem pro umístění hlavy pacienta o průměru 350 mm. [11] Konstrukce je upevněna na asymetrickém vozíku, jehož tvarování vizuálně objímá hlavní válcovitou část. Část s otvorem je od vozíku následně také opticky oddělena použitím světle šedé barvy na krytování. V pření části přístroje je dále výrazná grafika, držící barvu brandingu Siemens, která podtrhuje tvarování a dodává přístroji charakteristický vzhled. Nad logem v přední části je umístěna světelná signalizace, která slouží jako bezpečnostní indikátor a upozorňuje personál a okolí na probíhající vyšetření. [12] Přední strana přístroje je také doplněna o vyklápěcí most. Při příjezdu k lůžku se most vyklopí a nasune nad matraci. Hlava pacienta je následně položena do černě zbarveného držáku, který je součástí konstrukce nosníku pro vyklápěcí most. Díky teleskopickému mechanismu je také možné odsunout celou válcovitou část směrem dozadu tak, aby došlo k odhalení opěrného hlavového prvku. [12] Tím se výrazně zvýší jeho dostupnost a umístění hlavy pro vyšetření je pro pacienta mnohem snadnější. Následně se zmáčknutím příslušného tlačítka vysune prstenec opět dopředu do výchozí pozice a hlava pacienta se tak ocitne uvnitř tunelu, v pozici připravené pro vyšetření.

Na vyvýšené zadní straně vozíku je umístěn dotykový displej, ovládací prvky a také tlačítko emergency stop. Vše je velmi elegantně zakomponováno do kytování přístroje. Pod madlem jsou viditelná také výklopná dvířka. Ty mohou sloužit k uschování drobného příslušenství, které by obsluha mohla potřebovat. Může se jednat např. o jednorázové hygienické potřeby nebo mohou dvířka sloužit k uschování odnímatelných radiačních štítů, o které je možné přístroj doplnit.

Design zařízení působí velmi čistě a moderně. Asymetrie a organické tvarování vozíku dodává zařízení na zajímavosti a vytváří tak nezaměnitelnou siluetu. Velmi pozitivní je také kompaktnost zařízení a minimalizace výčnělků. Díky tomu pak snadnější a efektivnější hygienická údržba celého přístroje. Za minimalistický design a inovativní přístup k funkčnosti mobilního CT získalo zařízení Somatom On.site ocenění Reddot v roce 2020. [12]

V roce 2025 integrovala společnost Siemens Healthineers tuto mobilní jednotku CT do vozidla a vytvořili tak specializovanou sanitku, která reaguje na potřebu rychlé identifikace rozsahu cévní mozkové příhody. Při podezření na mrtvici, získané například přes nouzový hovor, je tato jednotka vyslána na místo. Zde je provedeno CT vyšetření a je rozlišena povaha příhody. Výsledky jsou následně již po cestě do nemocnice konzultovány se specialisty, což má výrazně urychlit proces rozhodování a zahájení léčby. [14]



Obr. 2-9 Jednotka Somatom On.site integrovaná do specializované sanitky [14]

Konstrukce jednotky nebyla pro integraci do vozidla téměř nijak změněna. Motorizovaný podvozek byl pouze nahrazen podstavou, skrz kterou je zařízení CT upevněno do podlahy. Jednotce by pro tento druh použití nepochybně prospěl vlastní design, reflektující tento jiný druh využití. Problémem nezměněné konstrukce je například umístění displeje z boční strany, kde je přístup k němu velmi limitován, a tudíž může být obsluhování přístroje velmi nekomfortní.

CIARTIC move

Jedná se o mobilní C-arm přístroj pro intraoperační 2D/3D rentgenové zobrazování. Hlavní přidaná hodnota tohoto produktu je v automatizaci jeho pohybu a polohování. Systém má snižovat fyzickou a časovou zátěž chirurgického týmu na operačním sále. Pomocí přednastavených pozic ramene a asistenčních režimů má přístroj převzít část práce RTG asistenta při chirurgických zákrocích. [53]



Obr. 2-10 CIARTIC move [16]

CIARTIC Move je postaven na plně motorizovaném podvozku se speciálním typem všesměrných kol. Holonomní kola umožňují zařízení pohyb v jakémkoli směru i např. rotaci na místě. [53] To zajišťuje možnost přesného manévrování ve stísněných prostorech operačního sálu. Pohyb a ovládání je zde řešeno dvěma způsoby – pomocí madla nebo pomocí dálkového ovladače. Přístroj využívá u madla systému „Touch sense“, který při úchopu aktivuje motory pro asistovaný pohyb se zařízením. Při puštění madla se poté přístroj přepne do bezpečnějšího stavu, tedy zastavení a držení polohy. [53; 19]



Obr. 2-11 Kola přístroje CIARTIC move [53]

Madlo je uprostřed dále doplněno o panel s tlačítka pro rozšířené ovládání přístroje. Šikově je zde řešeno i umístění tlačítka emergency stop, které je schováno za ovládacím panelem neboli téměř ze spodní strany madla. Zde je ukryto před nechtěným stlačením, ale zároveň zůstává snadno dostupné. Částečně skryté tlačítko však může být zároveň i nevýhodou. V krizové situaci, kdy může mírně zpanikařit také proškolený personál, může být náročné tlačítko rychle lokalizovat, jelikož není viditelné hned na první pohled. Druhým způsobem pro ovládání je dálkový ovladač. Ten je v přístroji uschován v přihrádce pod madlem. Jedná se o standardní obdélníkový ovladač, kde je možné pomocí tlačítek ovládat natočení ramene, přednastavené polohy zařízení, ale také samotný pohyb přístroje a další funkce.



Obr. 2-12 Dálkový ovladač přístroje CIARTIC move [21]

Díky možnosti bezdrátového ovládání může být systém řízen personálem přímo z prostoru sterilního pole. [53; 19] V horní části přístroje je umístěn displej, který je možné natáčet do stran dle potřeby. K jeho konstrukci je připojen ještě další ovladač, ten je však kabelem spojen s tělem přístroje. Tento sekundární ovladač zrcadlí všechny funkce ovladače dálkového. Obsluha si tedy může vybrat variantu ovládání, která ji na danou situaci bude vyhovovat lépe.

Vzhledově působí zařízení velmi moderně a robustně. Dominantním prvkem je samozřejmě C-rameno, které je lemováno modrou grafikou sledující úhel natočení. Podstava přístroje kombinuje světle šedé krytování podvozku s bíle zabarveným krytím horní části. To je poté doplněno o grafické prvky v barvách Siemens a logo společnosti. Barevně oddělené krytování a organické tvarování podvozku, poutá pozornost na vyčnívající krytování speciálních kol a dělá z nich vizuálně silný prvek designu přístroje.

Za propojení promyšleného designu, zaměřeného na snadnou hygienickou údržbu, spolu s efektivními funkcemi jako je možnost dálkového ovládání, automatizace pohybu a integrace holonomních kol, získalo zařízení v roce 2024 ocenění Reddot a také zlaté ocenění UX design awards v roce 2025. [16; 19]

Samsung GM85 Elite

Samsung GM85 Elite je digitální mobilní rentgen od společnosti Samsung Healthcare. Rozměry přístroje s ramenem v parkovací poloze jsou (1258 x 555 x 1396) mm a hmotnost přístroje je 349 kg. Výrobce zdůrazňuje u zařízení především úzkou šířku, která má zjednodušit manipulaci malých prostorách. [23]



Obr. 2-13 Samsung GM85 Elite [24]

Zařízení je napájeno lithium-iontovými bateriemi. Nabíjení baterií do plné kapacity trvá přibližně 3-4 hodiny. Na jedno nabití vydrží přístroj 10 hodin plného provozu – s přístrojem je možné na jedno nabití najezdit vzdálenost až 50 km a pořídit přibližně 500 snímků. Přístroj je také možné mít v režimu „Standby“ neboli v režimu spánku, v tomto stavu vydrží přístroj přibližně 31 hodin při plném nabití baterií. [25]

Tvarové řešení přístroje je řešeno především s ohledem na hygienickou údržbu a pohodlnou ovladatelnost. Krytování je velmi čisté bez zbytečných výčnělků, což podporuje právě snadnou dezinfekci vnějších dílů. Bokorys hlavní části je definován především organickou křivkou vytvářející působivý a netradiční tvar. Zajímavým přístupem je také odlišná barevnost krytování v této části. Matně bílé krytování vnitřních komponent přechází ve velmi kontrastní tmavě šedý odstín, který vymezuje úložnou část přístroje s madlem a displejem. Úložný prostor určen pro odložení digitálních detektorů a kabelu je umístěn pod madlem. Zde je také prostor pro ruční spínače určené ke spuštění snímání z bezpečné vzdálenosti. Za madlem je následně umístěn displej, který je zapuštěn do těla přístroje. To opět podporuje jeho hygienickou údržbu, avšak z pohledu ergonomie může být jeho umístění problematické. Část přístroje s displejem je naklopena směrem k obsluze, což zajišťuje lepší výhled. Madlo však výrazně vyčnívá nad displejem, takže může obsluze při jeho ovládání překážet. U zbylých částí přístroje už se organické tvarování příliš neopakuje. Jedná se spíše o geometrické díly, které jsou však měkčeny výraznými rádiusy. V přední části je přístroj doplněn také o gumový nárazník. Díky tomu budou lépe tlumeny nárazy při kolizích a mohla by tak být příznivě ovlivněna životnost přístroje.

Mobilní rentgen GM85 Elite je také doplněn o světelnou signalizaci, která je využívána jako bezpečnostní prvek a změnou barev informuje obsluhu o stavu přístroje. Světelný prvek je umístěn na rameni přístroje a dále také na ručních spínačích. [25]

MOBILETT Elara Max

Jedná se o plně digitální mobilní rentgen od společnosti Siemens určený pro rychlé snímkování u lůžka pacienta. Rozměry přístroje při převozu, tedy s ramenem v parkovací poloze, jsou (1278 x 598 x 1570) mm. Hmotnost přístroje se pohybuje okolo 380 kg. [26] Zařízení je navrženo pro práci jak na baterie, tak i při připojení na síť. [27] Díky tomu je maximalizována doba použitelnosti přístroje.

Konstrukce MOBILETT Elara Max je navržena především s ohledem na hygienickou údržbu. Krytování je doplněno o antibakteriální povlak, který ještě více zdůrazňuje orientaci přístroje směrem k jeho snadné údržbě. [26] Na podvozku s motorizovanými zadními koly, je upevněno rameno s rentgenkou, které je možné otočit o 180 °. [27] To výrazně zvyšuje možnosti umístění a polohy těla přístroje při vyšetření, což může být vzhledem k úzkým prostorům mezi lůžky velká výhoda.



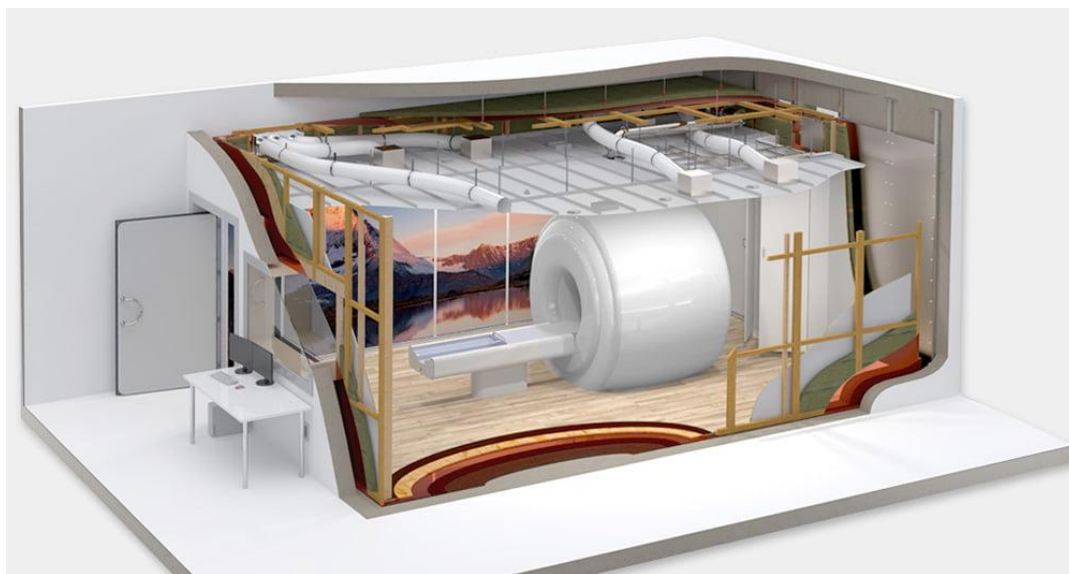
Obr. 2-14 MOBILETT Elara Max [26]

Přístroj je specifický minimalistickým tvarováním, které vychází ze zaměření na snadnou čistitelnost. Dominantním prvkem jsou také organické linie tvarující podvozek přístroje. To přidává minimalistickému přístupu na zajímavosti a je tak vytvořen jednoduchý a čistý vzhled s charakteristickou siluetou přístroje. V zadní části přístroje je úložný prostor na digitální detektory a další příslušenství mobilního RTG, který plynule vybíhá z podstavky přístroje. V horní části je dále ovládací madlo, které je umístěno nad dotykovým displejem. Jedná se o velký displej téměř o šířce samotného zařízení, který vyčnívá pod úhlem z těla podstavky. Natočení a pozice displeje je velmi příznivá pro ovládání i z hlediska zorného pole. Ve spodní části pod displejem je následně umístěno také tlačítko emergency stop. Zajímavým prvkem jsou dále výčnělky umístěné v kloubu polohovacího ramena. Ty slouží k zavěšení ochranné vesty. Siemens se i u tohoto přístroje drží svého standardního zbarvení neboli kombinace světle šedého a matně bílého krytování, které je doplněno o kontrastní barevné prvky v odstínu logotypu.

2.2.3 Technická analýza

Mobilní magnetická rezonance se typicky řadí do kategorie tzv. ultra-low-field MR, kde se statické magnetické pole pohybuje pod hranicí 0,1 T. [28] Oproti standardním klinickým přístrojům, kde se v závislosti na určitých typech pohybuje síla magnetického pole v rozmezí 1,5 – 3 T. V dnešní době se však na trhu vyskytují i přístroje, které disponují silou až 7 T a naopak se tak řadí do kategorie tzv. ultra-high-field MR. [29]

Výrazně slabší pole mobilního zařízení se promítá do obecně nižších nároků na provoz. Jelikož není okolí vystaveno tak silným magnetickým gradientům, jako u vysoko pólových systémů, je možné se i při probíhající vyšetření pohybovat téměř v bezprostřední vzdálenosti od přístroje. U mobilního zařízení se také omezila potřeba některých tradičních konstrukčních opatření jako je například Faradayova klec, která izoluje přístroj od vnějšího elektromagnetického vlnění. Ta je u standardních magnetických rezonancí nezbytnou součástí konstrukce samotné místnosti, v které je přístroj umístěn. Nejčastěji se jedná o konstrukci měděných desek a folií v kombinaci s nosnými dřevěnými prvky. [30]



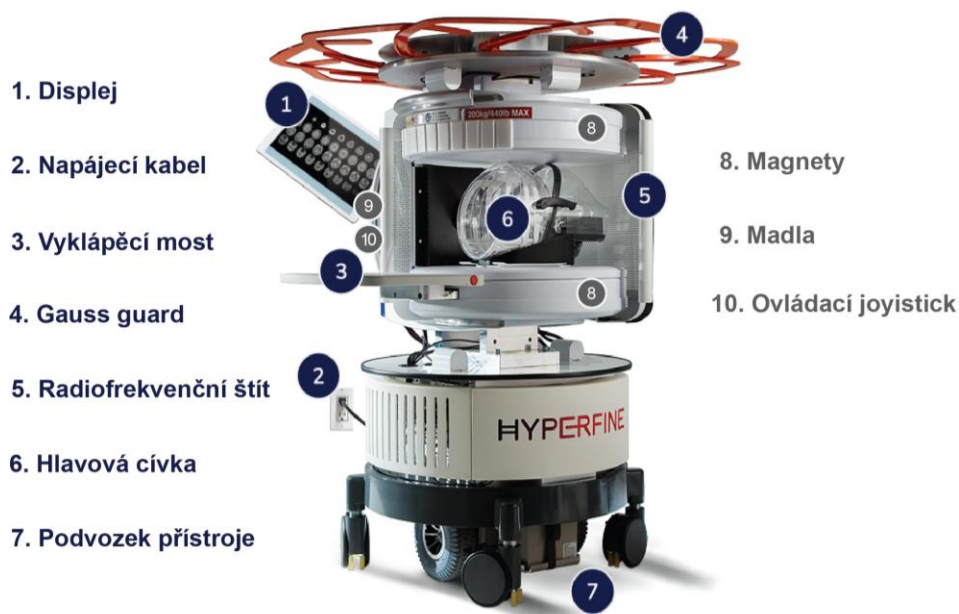
Obr. 2-15 Konstrukce místnosti magnetické rezonance [30]

U mobilního přístroje je odstínění řešeno podobně, avšak v mnohem menším měřítku. Je využito hliníkového nebo měděného plechu tzv. radiofrekvenčního štítu, který „objímají“ pouze konstrukci magnetů. [31]

Současně však ale platí, že nižší magnetické pole přináší i kompromisy v možnostech zobrazení. Hlavním limitem ULF MR je nižší signál, který vede k výrazně nižší kvalitě snímků, tedy snímků s vysokou koncentrací šumu a nízkým rozlišením. Aby byly pořízené snímky relevantní pro diagnózu, je mobilní přístroj vybaven systémem s AI rekonstrukcí obrazu, který částečně potlačuje tyto zobrazovací limity. Navzdory tomu se kvalita snímků pořízených pomocí mobilní magnetické rezonance, nemůže rovnat kvalitě snímků získaných pomocí stacionárních přístrojů. [8]

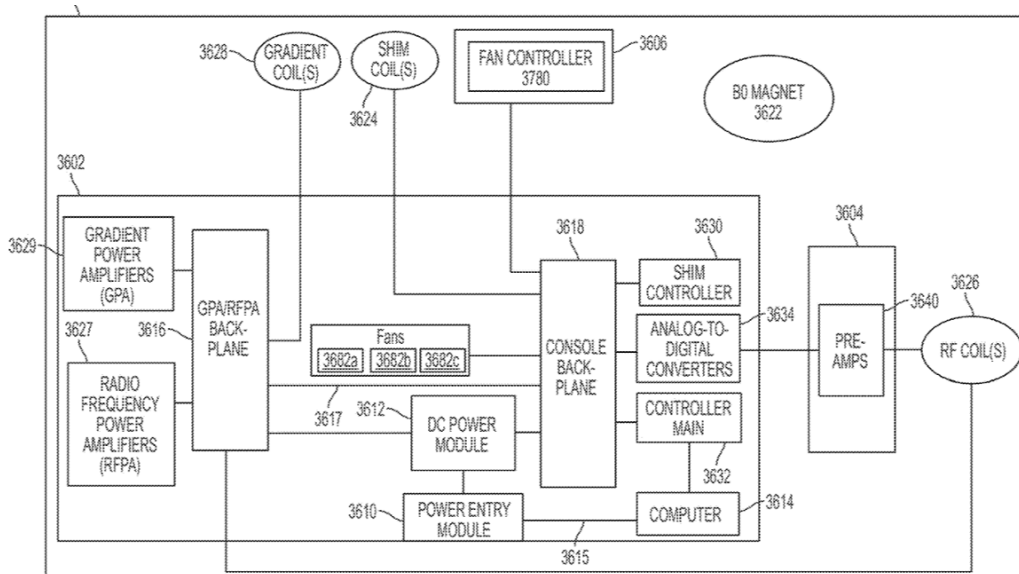
Popis mobilní magnetické rezonance

Kromě své hlavní funkce, získání diagnostických MR obrazů, musí přístroj mobilní magnetická rezonance umožňovat plynulý přesun a jednoduchou obsluhu. Dále také kontrolu při vyšetření, zajištění stabilních podmínek pro provoz a zároveň vytvářet praktické zázemí pro přípravu pacienta.



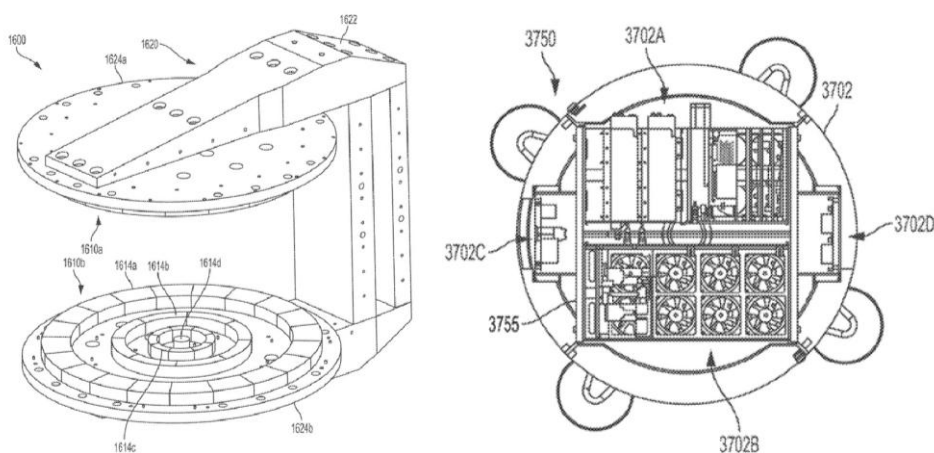
Obr. 2-16 Popis vnějších částí mobilní magnetické rezonance [31] (upraveno)

Veřejně dostupné zdroje, které by popisovaly vnitřní komponenty mobilních magnetických rezonancí, jejich uspořádání a technické specifikace, jsou velmi omezené. Z tohoto důvodu vychází tato diplomová práce především z komponent a jejich funkčních vazeb uvedených v patentové dokumentaci zařízení Hyperfine Swoop (viz Obr.2-7).



Obr. 2-17 Diagram vnitřních komponent [32]

Na základě patentové dokumentace byly odvozeny i rozměry specifických vnitřních komponent. Z náhledu na půdorysný řez elektronikou byly určeny základní hranice jednotlivých prvků. Jejich objem byl následně určen v modelovacím softwaru, kde finální rozměry komponent vyplynuly na základě rozměrů zařízení Hyperfine Swoop.



Obr. 2-18 Vlevo – konstrukce magnetů, vpravo – půdorysný řez elektronikou [32][33]

Zároveň také proběhla konzultace s technikem společnosti Siemens, který blíže objasnil funkci jednotlivých prvků a na základě odborné praxe pomohl odhadnout i další pravděpodobné konstrukční parametry mobilní magnetické rezonance.

Gauss guard

Gauss guard, označován také jako „svatozář“, je u mobilní MR rozkládací konstrukce, která fyzicky vymezuje vzdálenost kolem přístroje. Jedná se o tzv. bezpečnou vzdálenost, jež je rovna magnetickému poli o síle 5 gauss (0,5 mT).[5] Tato hodnota vymezuje hranici, za kterou může dojít k interferenci s implantovanými elektronickými přístroji, jako jsou např. kardiostimulátory nebo nežádoucí interakci s feromagnetickými předměty. Tento jev však souvisí také se silou samotných magnetů, proto je u ULF MR riziko tohoto jevu výrazně nižší než u stacionárních jednotek se silou pole 1,5 T, avšak nelze jej označit za zcela nulové. [34]

Rozkládací mechanismus je připevněn k základně přístroje, je tak neoddělitelnou součástí konstrukce. Pro převoz jsou obruče zataženy, aby bylo zařízení kompaktnější. Při dosažení požadovaného místa obsluha mechanicky roztáhne prvky radiálně ven do maximálního průměru 1580 mm. [3][5]

V souvislosti s vymezením bezpečnostních zón kolem zdravotnických magnetů nastala však v posledních letech změna a došlo k posunutí prahové hodnoty statického pole. Norma *IEC 60601-2-33 edice 4.0* (v ČR jako *ČSN EN IEC 60601-2-33 ed. 4:2024*) zavádí definici „B0 hazard area“ a hranici 0,9 mT, která v této souvislosti nahrazuje dříve používanou referenční hodnotu 0,5 mT pro řízení přístupu do prostoru ovlivněného magnetickým polem. Vymezená hranice se tak snižuje přibližně o 500 mm. [34] [35]

Radiofrekvenční štít

Jedná se o částečně otevřené krytí s otvorem pro přístup pacienta. Cílem RF štítu je omezit pronikání vnějšího elektromagnetického rušení do přijímací části radiofrekvenční cívky. Z materiálového hlediska je nutné zajistit především dobrou elektrickou vodivost. Pro konstrukci je tedy využíváno paramagnetických materiálů, nejčastěji pak hliníku nebo mědi, tyto materiály absorbují energii RF vlnění a spolehlivě ji neutralizují. [30] Zařízení Swoop využívá pro stínění konkrétně hliníkový plech s kruhovým perforováním. [5]

U standardních statických magnetických rezonancí je nutné odstínit také okna a průhledy. To je nejčastěji řešeno integrací černě zabarvené měděné mřížky s antireflexní vrstvou mezi dvě vrstvy laminovaného bezpečnostního skla umístěného v hliníkovém rámu. Hliníkový rám slouží jako vodivé propojení měděné mřížky se zbylým stíněním místnosti. [36]

Konstrukce magnetů a hlavová cívka

Hlavová cívka

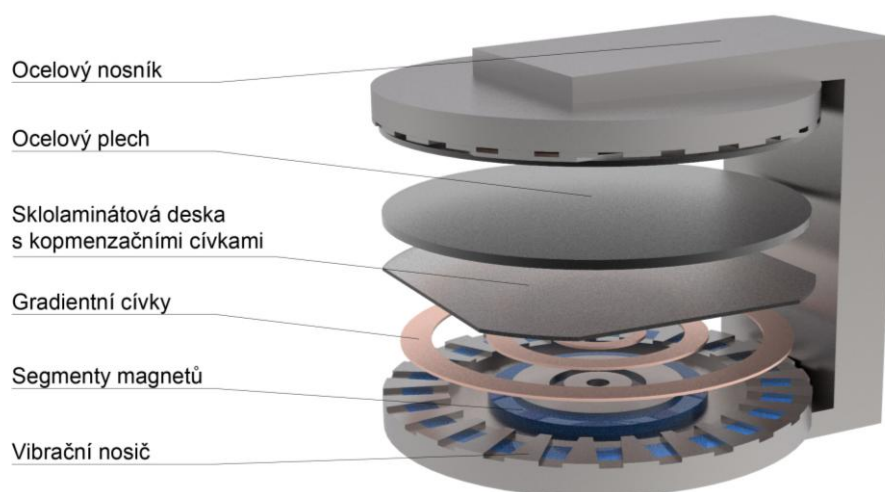
U mobilní magnetické rezonance slouží jako RF anténa pro vysílání i příjem (Tx/Rx) signálů. Generují se zde RF pulzy a současně snímá slabý signál z tkání hlavy, který je před výstupem zesílen a následně digitalizován. U systému Swoop je využita osmi kanálová cívka zapouzdřená v průhledném polykarbonátovém krytu. Ten slouží mimo jiné jako mechanická ochrana cívek a umožňuje snadnou dezinfekci po každém vyšetření. Celek je možné snadno vyjmout ze zařízení, důkladně jej vydezinfikovat a poté jej vložit a upevnit zpět do zařízení. Celkové rozměry hlavové cívky jsou (260 x 260 x 200) mm (délka x výška x šířka), což odpovídá geometrii vycházející z rozměrů lidské hlavy. [5; 2]



Obr. 2-19 Hlavová cívka [5]

Magnety

Konstrukce magnetů vychází z principu otevřené magnetické rezonance. Je zde využito dvoupólové konfigurace s magnetickými prvky nad a pod vyšetřovanou oblastí. U mobilního low-field systému je konstantní statické magnetické pole B_0 tvořeno permanentními magnety. Jednotlivé segmenty magnetického materiálu (např. NdFeB nebo SmCo) jsou uspořádány do několika prstenců rozmístěných v různé vzdálenosti od středu. Ty jsou připevněny k nosné konstrukci z feromagnetického materiálu, která uzavírá magnetický obvod a zvyšuje tak využití magnetického toku pro zobrazení. Pro efektivní vedení toku je typicky používaným materiálem pro konstrukci propojující magnety nízkouhlíková ocel. Mezi kruhy magnetů jsou umístěny gradientní cívky, které jsou spolu s magnety upevněny ke konstrukci pomocí tzv. vibračního držáku. Na držáku je umístěna deska ze sklolaminátu, jejíž součástí jsou kompenzační cívky (shim coils), které zajišťují homogenizaci statického pole B_0 . Pro lepší homogenitu pole a zmenšení jeho rozptylu je konstrukce magnetů ještě doplněna o plech z feromagnetického materiálu. [33]



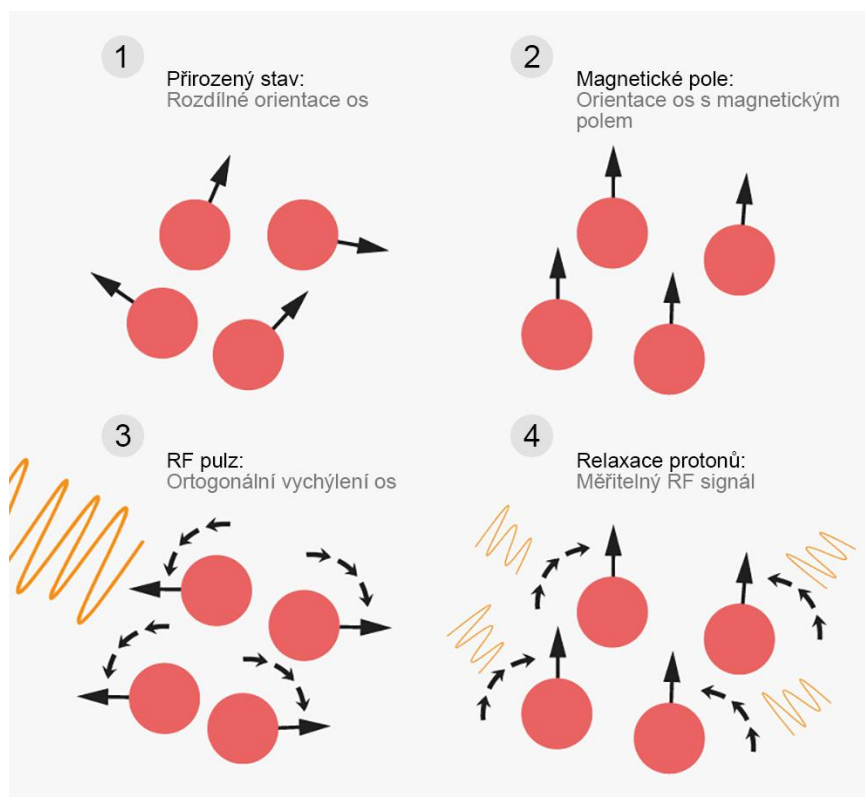
Obr. 2-20 Konstrukce magnetů mobilní magnetické rezonance

Průměr samotné součásti s magnety je 830 mm. Vzdálenost jednotlivých pólů neboli prostor volný prostor pro umístění pacienta vymezený konstrukcí je roven 320 mm. [5; 33]

Proces získávání snímků

Ve statickém magnetickém poli B_0 jsou osy rotace jednotlivých protonů v části těla pacienta umístěného mezi konstrukci magnetů zarovnány s magnetickým polem. Kmitání protonů je zde dále nastaveno na Larmorovu frekvenci, která je u magnetického pole systému Swoop o síle 0,064 T rovna hodnotě přibližně 2,7 MHz. [5] Po zahájení vyšetření je z RF systému cívky vyslán RF pulz, který stimuluje protony. Jejich osy jsou vychýleny z rovnováhy a jsou tak namáhány ortogonálně k přitažlivosti magnetického pole. Po pominutí RF pulzu protony zrelaxují a vychýlené osy se vrací do původní polohy. Tím vzniká měřitelný signál, který senzory RF cívky zachytí. [37; 38]

Měří se tedy čas, za který se vrátí osy protonů do svých počátečních poloh. Čas vracení závisí na prostředí, ve kterém se protony nachází a také na chemické povaze molekul. Na základě těchto magnetických vlastností jsou lékaři schopni rozlišit mezi různými typy tkání.[37; 38]

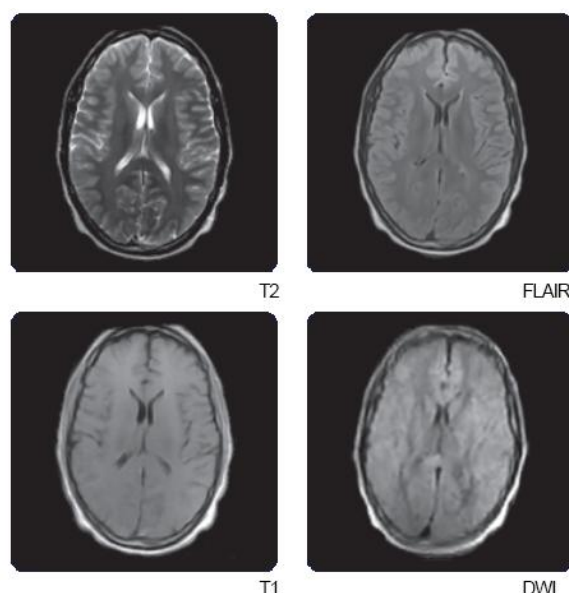


Obr. 2-21 Princip interakce protonů při MR [39] (upraveno)

Pro určení polohy přijímaného signálu jsou použity tři gradientní cívky (X,Y,Z), které vytvářejí malé řízené změny v B_0 prostoru. Tím se rezonanční frekvence stává funkcí polohy. Výběr konkrétní roviny řezu je řešen pomocí tzv. slice select gradientu. Ten během RF pulzu selektuje pouze protony v určité rovině, které splňují rezonanční podmínku. Tloušťku řezu určuje kombinace gradientu a šířky pásma RF pulzů. [38]

Vlastní snímkování je řízeno časovými sekvencemi RF pulzů a gradientů, které určují generování a čtení signálu a tím pádem i výsledný kontrast. Naměřená data se ukládají jako vzorky v tzv. k-prostoru. Teprve po jeho naplnění opakovanými cykly je obraz rekonstruován matematicky a následně mapován do stupňů šedi. Jas pixelu odpovídá velikosti rekonstruovaného MR signálu a je ovlivněn parametry sekvence a fyzikálními vlastnostmi tkání. Jednotlivým návratovým (relaxačním) časům je přiřazen odstín šedé, který definuje daný druh tkáně. [38]

Magnetické rezonance nabízejí různé varianty sekvencí, kde různé sekvence zvýrazňují určitou fyzikální vlastnost tkání v obraze. Každá sekvence tak má vlastní diagnostickou hodnotu a nabízí rozdílné možnosti zobrazování. [37] Hyperfine Swoop nabízí varianty nastavení sekvencí T1, T2, FLAIR a DWI. [40]

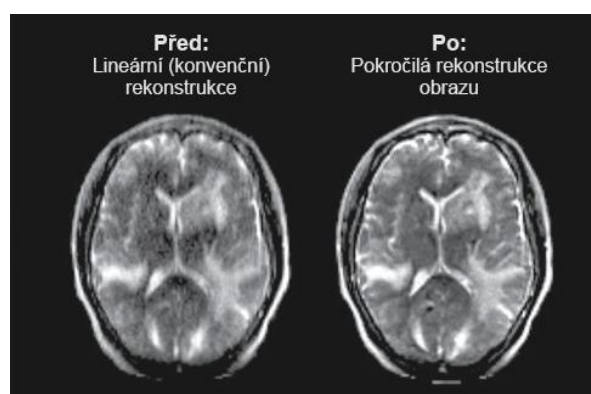


Obr. 2-22 Varianty zobrazovacích sekvencí získané systémem Swoop [40]

Doba pořízení snímků se dle zvolené sekvence pohybuje v rozmezí jednotek minut. Sekvence T1 Standard je možné získat již za 4 minuty, zatímco sekvence DWI trvá přibližně 9 minut. [5]

AI řízená rekonstrukce obrazu

Software zařízení Swoop je vybaven AI rekonstrukcí obrazu, která částečně kompenzuje slabé magnetické pole a zvyšuje tak diagnostickou relevanci pořízených snímků. Systém je založen na „deep learningu“ ze snímků pořízených pomocí standardních magnetických rezonancí. Po nasnímání dat systém neprovede pouze klasický lineární rekonstrukční postup dat do obrazu ve stupních šedi, ale vkládá do procesu dva mezikroky. Jedná se právě o AI řízené kroky – advanced gridding a advanced denoising. Advanced gridding spočívá v optimalizaci vzorků v k-prostoru před transformací do obrazu. Při Advanced denoising dochází k odstraňování šumu a rozmazání po malých blocích tak, aby byly zachovány diagnosticky podstatné struktury. AI řízená rekonstrukce obrazu je u mobilní magnetické součástí samotného procesu a přispívá tak i rychlejším časům pro pořízení snímku. [31]



Obr. 2-23 Snímek před a po AI rekonstrukci obrazu [41] (upraveno)

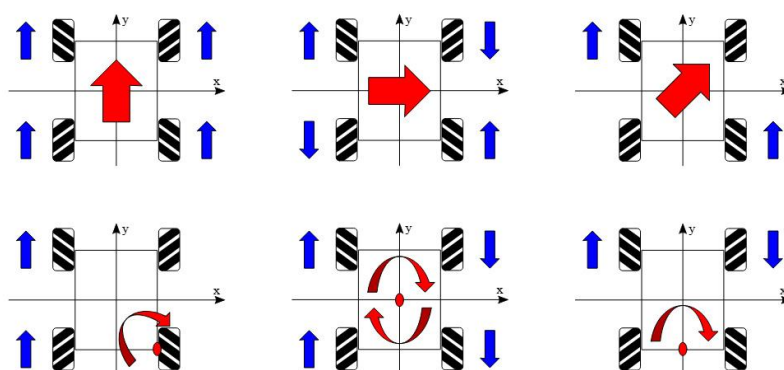
Elektromotor

U mobilní magnetická rezonance, stejně jako u jiných mobilních zdravotnických zařízení, je využíváno elektromotorů pro snazší pohyb se zařízením a asistenci při rozjezdech nebo zastavení. Elektromotory jsou integrovány z důvodu vysokých hmotností těchto přístrojů a zajišťují tak snadnou manipulaci se zařízením pro veškerý personál. U většiny zdravotnických zařízení je elektromotor využit pro pohon pouze zadních kol a to tak, že je poháněno každé kolo zvlášť. Madla či jiné ovládací prvky jsou většinou doplněny o pojistku např. ve formě tlačítka, které je nutné stlačit a aktivně držet, aby bylo možné se zařízením pohybovat. Jedná se o tzv. tlačítko mrtvého muže, které chrání před nechtěným pohybem přístroje. Při jeho puštění dochází k okamžitému zabrzdění a jednotka je zablokována v jakékoli poloze. Využití tohoto typu bezpečnostního systému pojezdu je typické především pro mobilní RTG.

Podvozek

U mobilních zařízení je důležitá přesná manipulace, především poté v omezených prostorách nemocnice. Přístroj musí být možné navést k lůžku pacienta, pohybovat s ním mezi dalším vybavením a přesně jej polohovat bez zbytečného opakovaného couvání a natáčení. Z tohoto důvodu se u některých mobilních systémů využívají holonomická kola, která umožňují pohyb v libovolném směru. Tento princip se běžně využívá u mobilních robotů, skladové techniky, autonomních vozíků a v posledních letech také u vybraných zdravotnických přístrojů. [53]

Princip holonomického pohybu je založen na samostatném řízení jednotlivých kol. Každé kolo je poháněno vlastním elektromotorem a výsledný pohyb zařízení vzniká kombinací směrů a rychlostí otáčení všech kol. Díky tomu není nutné měnit natočení celého podvozku, jako je tomu u klasických otočných kol. U čtyřkolového podvozku lze změnou otáček jednotlivých kol dosáhnout příčného posuvu, diagonálního pohybu i rotace na místě. [43; 44]



Obr. 2-24 Schéma pohybu kol Mecanum [40]

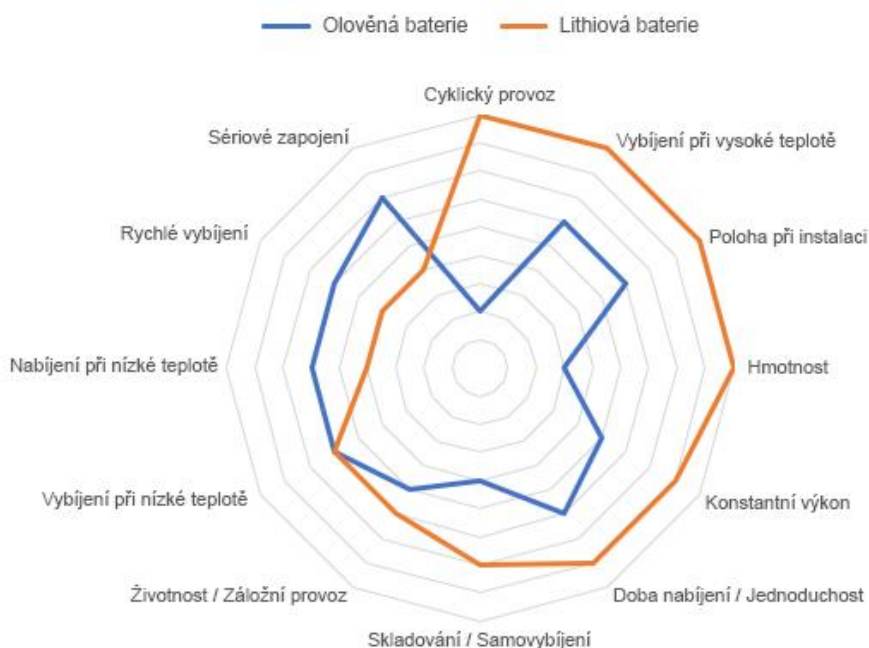
Všesměrná kola lze rozdělit především na dva typy – Omni a Mecanum. U kol typu Omni jsou menší válečky po obvodu orientovány zpravidla kolmo k rovině kola. Tento typ je konstrukčně jednodušší a často se používá u menších mobilních robotů. Kola typu Mecanum mají válečky natočené šikmo, nejčastěji pod úhlem 45° . Využívají se zpravidla ve čtyřkolové konfiguraci, kde jsou levá a pravá kola uspořádána zrcadlově. Tento typ je vhodnější pro robustnější zařízení, u kterých je požadována vyšší nosnost a stabilnější podpora. [41]



Obr. 2-25 Holonmická kola – Omni wheel (vlevo), Mecanum wheel (vpravo) [42]

Baterie

Baterie zajišťují napájení elektromotorů a chod přístroje po omezenou dobu bez nutnosti zapojení do sítě. Pro mobilní zdravotnická zařízení se využívá olověných či lithiových akumulátorů. Olověné baterie jsou rozšířené především kvůli nižším pořizovacím nákladům. Navzdory tomu Li-ion baterie mají výrazně vyšší měrnou energii, takže pro stejnou výdrž jsou výrazně menší a lehčí. Jejich nevýhodou je však vyšší pořizovací cena. [43]



Obr. 2-26 Porovnání výkonnostních parametrů lithiových a olověných baterií [43] (upraveno)

Trendem moderních mobilních lékařských zařízení je využití Li-ion akumulátorů, právě kvůli nižší hmotnosti, delší výdrži a rychlejšímu nabíjení. Přesto je využití olověných baterií běžné, a to typicky tam, kde je prioritou nižší pořizovací cena a tolik nevádí vyšší hmotnost.

Přístroje jsou poté napájeny pomocí kabelů ze standardních 230 V zásuvek. Koncovka napájecího kabelu je na přístrojích nejčastěji umístěna v blízkosti madel a ovládacích prvků.

Krytování a podpůrná konstrukce

U medicínským mobilních zařízení je pro krytování používán nejčastěji ABS plast, díky svým charakteristickým vlastnostem jako je odolnost a pevnost. ABS plast je zároveň vhodný také z hlediska hygieny, jelikož má hladký snadno čistitelný povrch.

Vnitřní podpůrná konstrukce musí být u mobilní magnetické rezonance tvořena z paramagnetického materiálu, aby nedocházelo k rušení magnetického pole. Je využíváno hliníkových profilů, které jsou k sobě svařeny a šroubovány.

Specifickým konstrukčním prvkem magnetických rezonancí je stínění elektroniky. Jedná se o boxy z hliníkových či měděných plechů, v kterých je uzavřena veškerá vnitřní elektronika. Vodivá obálka brání elektromagnetickému rušení mezi elektronikou a RF cívkou.

2.3 Shrnutí hlavních zjištění

Aktuální trh nabízí pouze velmi omezenou nabídku mobilních magnetických rezonancí určených pro snímkování hlavy. Přesněji jsou na současném trhu dostupné pouze dvě zařízení, schválené organizací FDA. Několik dalších konstrukcí je poté ve fázi konceptů a testovacích prototypů. Ty zkoumají jiné přístupy ke konstrukci magnetů, než je odvození od otevřené magnetické rezonance, jak je tomu u stávajících zařízení na trhu a mohly by tak nabídnout výrazně kompaktnější řešení. Jelikož však nebylo možné k těmto konceptům dohledat bližší informace o funkčnosti, vychází tato diplomová práce z konstrukce schválených zařízení jako je Hyperfine Swoop.

Předmětem výzkumů jsou také úpravy konstrukce mobilní magnetické rezonance a její aplikace do sanitních vozů, či vytvoření speciálních vozidel poskytujících tuto službu pro zrychlení diagnostického procesu nebo také k poskytnutí této služby v místech, kde to dříve nebylo možné. Obdobný přístup se vyskytl u mobilního CT Somatom On.site, kde již proběhla integrace do speciálního sanitního vozu, aby mohlo vyšetření proběhnout hned při převozu pacienta. I když se jedná o zajímavou myšlenku, u magnetické rezonance byla tato možnost zatím pouze testována a její výhody nebyly podloženy dostatečně pádnými údaji. Hlavní zájem této práce je tedy zaměřen na mobilní magnetickou rezonanci určenou pro použití v nemocničních prostředí.

Rozměry mobilních MR vychází především z rozměrů konstrukce magnetů a z návaznosti na nemocniční interiér, primárně pak na nemocniční lůžko, na kterém je umístěn vyšetřovaný pacient. Průměr magnetů je 830 mm, což definuje minimální možnou šířku. Výška přístroje se poté pohybuje okolo 1500 mm.

Ta je dána především pozicí vstupního otvoru, tedy prostorem mezi horním a spodním magnetem, o výšce 320 mm, pro umístění pacienta. Horní část těla pacienta je přes tzv. vyklápěcí most posunuta z lůžka přímo do přístroje, takže výška nemocničního lůžka a horní hrany spodního magnetu musí být zarovnána. Posun z lůžka do přístroje musí vyšetřovaný pacienta vykonat vlastní silou. Pokud není schopen, personál může pacientovi s pohybem asistovat tak, že jej posune pomocí prostěradla na lůžku. Tento proces je však poměrně komplikovaný a vyžaduje většinou dva pracovníky.

Oproti jiným zdravotnickým mobilním zařízením (RTG, CT), které jsou do chodu nemocnic zařazeny už déle, působí design mobilních MR spíše zastarale a nahodile. Stejně jako ostatní přístroje využívá také primárně kombinací neutrálních barev. Nejčastěji lze pozorovat využití bílé a odstínů šedé, které jsou doplněny o výrazně zbarvené prvky v odstínech loga firmy.

Ovládání je řešeno pomocí joysticku, určeného pro přesun zařízení a pro ovládání ostatních operací je využíváno dotykového tabletu. Ten však u jednoho ze zařízení není součástí samotného přístroje a je nutno jej nosit odděleně. Dalšími ovládacími prvky jsou pouze tlačítko emergency stop a malé světelné kontrolky signalizující stav baterie a napájení přístroje. Na rozdíl od mobilní MR můžeme u příbuzných zařízení z rešerše pozorovat například využití světelné signalizace jako estetického prvku, který kromě své hlavní funkce také podtrhuje tvarování přístroje.

Z technické analýzy vyplývá, že účinnějším zdrojem pro napájení jsou lithiové baterie. Oproti olověným jsou lehčí, mají vyšší kapacitu ku rozměrům a rychleji se nabíjí. I přes tyto výhody jsou u mnoha zařízení využity olověné baterie, a to zejména z důvodu nižší ceny.

Jelikož se jedná o zařízení, kde se vyskytuje magnetické pole, je také nutné zvolit vhodné materiály. Zatím co nosný prvek spojující magnety je z oceli, tedy feromagnetického materiálu, aby došlo k uzavření magnetického obvodu, pro všechny ostatní prvky musí být využito paramagnetických materiálů. Jinak by mohlo dojít k rušení magnetického pole a kompromitaci samotného vyšetření nebo k nežádoucímu rozptýlení pole do okolí. Nejčastěji je pro tyto prvky využíváno hliníku nebo mědi.

Mobilní magnetická rezonance se bohužel zatím nevyskytuje na českém trhu, a tak nebylo možné získat přímé uživatelské zkušenosti s tímto zařízením. K identifikaci spotřebitelských problémů tak sloužily převážně videa, které zobrazují manipulaci a práci se zařízením, dále také video z exhibice, kde si lidé si lidé zkoušejí tento druh vyšetření a simulují tak potenciální pacienty. Pro analýzu nemocničního prostředí, byla navštívena nemocnice v Hodoníně, kde proběhly i rozhovory s personálem přibližující workflow s mobilními zařízeními a standardní magnetickou rezonancí.

2.4 Identifikace novosti a příležitostí

Problematickým bodem při použití přístroje je přístup k pacientovi, jelikož je přístroj nutné umístit za hlavu pacienta. V nemocničních pokojích jsou však lůžka většinou orientována tak, že hlava pacienta směřuje směrem ke zdi. Předtím než je přístrojem najeto za hlavu pacienta, je nutné celé lůžko odsunout a až následně pokračovat s pozicováním přístroje. Nabízí se zkoumat možnosti konstrukce, které by usnadnily přístup k lůžku a zefektivnil se tak workflow při použití přístroje.

Uživatelky nepříznivé je pro pacienta také posouvání horní části těla do přístroje. Stávající konstrukce nenabízí žádné prvky, kterých by se mohl vyšetřovaný pacient chytit a pomoci si tak při přesunu.

Další uživatelskou inovací by mohla být integrace úložného prostoru na příslušenství a případně i jiné předměty, které je dobré mít při vyšetření po ruce. Stávající zařízení úložný prostor nemají, i když je při vyšetření někdy nutné využít např. nafukovacích polštářků, které zafixují hlavu v hlavové cívce.

Jelikož se jedná o novou technologii je přístup k designu mobilních magnetických rezonancí vyskytující se na trhu spíše konstrukční záležitostí. Příležitostí pro návrh je tedy inspirace konstrukčními a designovými principy jiných mobilních zdravotnických zařízení, které jsou na trhu již řadu let a poskytují tak používané vzory, ověřené reálným nemocničním provozem.

3 CÍLE PRÁCE

Na základě provedených analýz existujících řešení magnetických rezonancí, mobilních magnetických rezonancí a také jiných mobilních lékařských zařízení byly stanoveny problémy a příležitosti pro vylepšení. Na jejich základě byly definovány cíle diplomové práce, které jsou blíže rozepsány v této kapitole.

3.1 Vymezení problému

3.1.1 Název produktu a jeho klasifikace

Tématem diplomové práce je mobilní magnetická rezonance. Jedná se o lékařský přístroj určen k profesionálnímu použití v nemocničním prostředí. Na rozdíl od standardní magnetické rezonance je tato mobilní verze určena pouze ke snímání mozku pacienta. Přístroj slouží zejména k pořizování snímků mimo oddělní MR, tzn. že přístroj je dopraven za pacientem.

Přístroj lze klasifikovat jako materiální produkt, který je možné vzhledem k využití v nemocnicích označit za speciální spotřební zboží.

3.1.2 Specifikace zákazníka

Zadání diplomové práce zákazníka nijak nespecifikuje. Zákazníkem je tedy fiktivní společnost nabízející medicínské přístroje se specializací na zobrazovací techniku, konkrétněji na přístroje se zaměřením na diagnostiku pomocí magnetické rezonance. Na základě provedené analýzy můžeme předpokládat, že se jedná o společnost jako je např. Siemens, Philips, Samsung apod.

3.1.3 Specifikace spotřebitele

Primárním spotřebitelem jsou nemocnice. U velkých a středně velkých nemocnic může mobilní magnetická rezonance sloužit pro doplňkovou diagnostiku ke stacionárním MR. Zařízení je však určeno i do malých nemocnic a zdravotnických center. Díky tomuto přístroji by tak mohlo dojít ke zkvalitnění jejich poskytovaných služeb a tím zvýšení dostupnosti tohoto vyšetření.

Sekundární spotřebitele lze poté rozdělit na přímé a nepřímé. Přímým spotřebitelem je zdravotnický personál, který bude přístroj obsluhovat. S přístrojem bude pracovat pouze proškolený personál. Obsluha přístroje zahrnuje jeho převoz k pacientovi, chystání zařízení k vyšetření a dále také přípravu pacienta a jeho případné polohování do správné pozice pro vyšetření. Zdravotnický personál od tohoto druhu přístrojů vyžaduje snadnou manipulaci a intuitivní ovládání.

Nepřímým spotřebitelem je vyšetřovaný pacient. Pacientem mohou být lidé všech věkových kategorií. U pacientů s potřebou diagnostiky přímo u nemocničního lůžka můžeme předpokládat omezenou pohyblivost a někdy i zvýšenou psychickou zátěž. Při vyšetření je tedy nutné minimalizovat narušení klidového režimu pacientů. Vzhled produktu by neměl být rušivý a neměl by u pacienta vzbuzovat negativní emoce.

Finální design by měl respektovat problémy těchto spotřebitelů a maximálně se přizpůsobit jejich potřebám.

3.1.4 Specifikace trhu, ceny a použitých výrobních technologií

Mobilní magnetické rezonance nejsou zatím příliš rozšířený produkt. Návrh tohoto zařízení vychází z evropských norem pro lékařská zařízení, avšak lze předpokládat, že návrh bude určen pro celosvětový trh.

Pořizovací cena těchto zařízení se pohybuje v rozmezí 6-7 milionů Kč. Tato cena se odvíjí zejména od cen komponent charakteristických pro magnetické rezonance, jako jsou např. permanentní magnety, gradientní cívky atd. Celkovou výši ceny také nepochybně ovlivňuje integrovaný systém pro rekonstrukci obrazu pomocí AI.

Nosníky, které tvoří podpůrnou konstrukci přístroje, jsou z řezaných a následně ohýbaných plechů z hliníku. Permanentní magnety jsou drženy masivním obrobkem z oceli. Krytování je předpokládáno z plastu. Pro obdobné lékařské přístroje se nejčastěji využívá ABS plast, díky jeho odolnosti a dobrým hygienickým vlastnostem. V závislosti na tvarování krytování se předpokládá využití technologie vstřikování plástů nebo vakuového tvarování. Vzhledem k neustálé přítomnosti magnetického pole jsou citlivé části odstíněny, a to nejčastěji za pomoci hliníkových nebo měděných plechů. Tento materiál je také využíván pro odstínění radiofrekvenčních signálů okolo části přístroje s magnetickou konstrukcí.

3.1.5 Vymezení problému

Jednotlivé aspekty definující návrh produktu jsou zapsány do tabulky Tab. 3-1. Ta je rozdělena do tří skupin dle charakteristiky požadavků – ergonomické, technické a estetické. V tabulce jsou jednotlivé požadavky rozděleny na C – cíle, O – omezení, F – funkce, P – prostředky.

Ergonomické požadavky	C	O	F	P
Konstrukce respektující 5P až 95P		✓		
Manipulace ve stísněných prostorech	✓	✓		
Minimalizace pohybu pacienta	✓			
Fixace pacienta do hlavové cívky	✓		✓	
Výhled při převozu zařízení	✓			
Vhodné umístění ovladačů a sdělovačů	✓		✓	
Vhodný typ ovládání	✓			✓
Technické požadavky	C	O	F	P
Vhodný typ elektromotoru a baterie		✓	✓	
Stabilita a fixace přístroje	✓	✓		
EMERGENCY STOP tlačítko				✓
Stínění magnetického pole		✓	✓	✓
Napájení ze zásuvky 230 V kabelem 3 m			✓	✓
Vymezení zóny 9 Gauss	✓		✓	
Pojistka pro umožnění pojezdu přístroje	✓	✓	✓	
Elektronické brzdy			✓	✓
Estetické požadavky	C	O	F	P
Design respektující vnitřní komponenty	✓	✓		
Design zapadající do nemocničního prostředí	✓			
Hygienická údržba hlavové cívky	✓	✓		
Světelná a zvuková signalizace	✓			✓

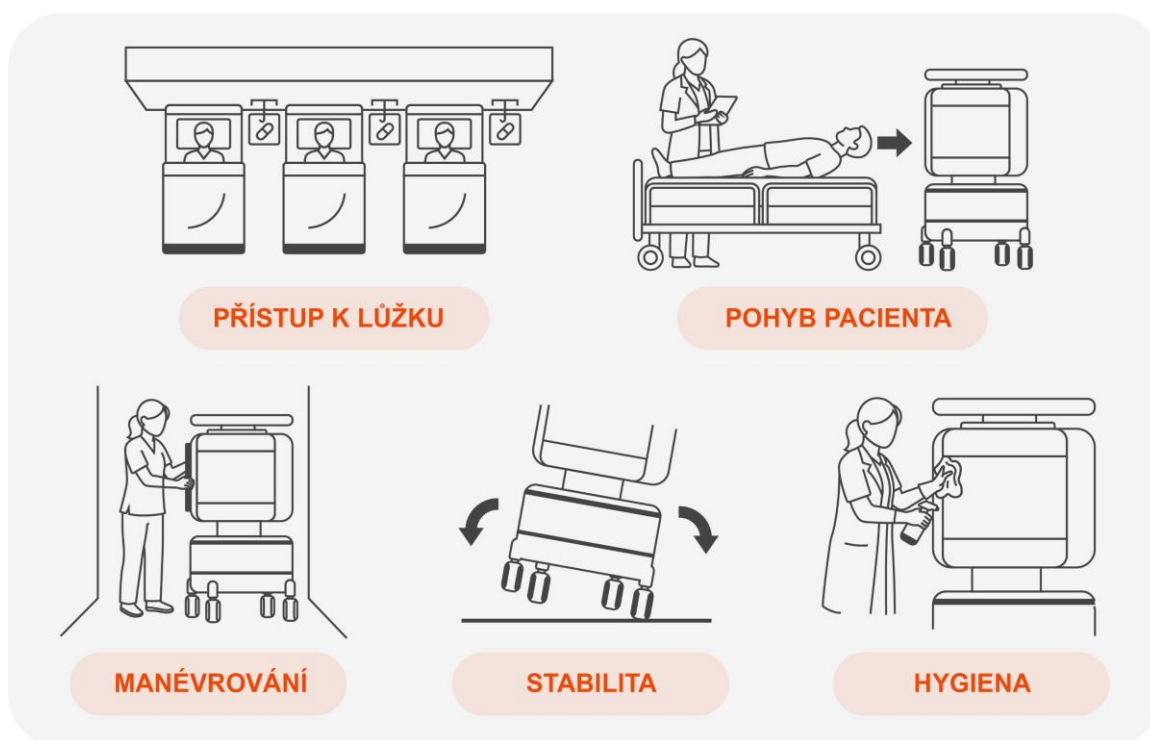
Tab. 3-1 Vymezení problému

3.2 Cíle vývoje

Hlavním cílem je navrhnout design mobilní magnetické rezonance určené pro snímkování mozku, která bude využívána primárně v nemocničním prostředí. U návrhu je kladen důraz na snadnou manipulaci při převozu a integraci prvků pro snadnou interakci uživatelů s přístrojem.

Dílčí cíle:

- usnadnění přístupu k lůžku
- snadná manévrovatelnost s přístrojem
- zajištění snadné hygienické údržby povrchů, které přijdou do kontaktu s pacientem
- stabilita a fixace přístroje při vyšetření
- aplikace prvků usnadňující pacientům polohování pro vyšetření
- návrh vhodného ovládání přístroje
- implementovaná světelná/zvuková signalizace související se stavem přístroje
- barevné řešení zapadající do nemocničního prostředí



Obr. 3-1 Ilustrace vymezené problematiky

4 KONCEPČNÍ NÁVRH

Kapitola popisuje návrh alternativních řešení, které vznikly na základě předchozích analýz, stanovených cílů, omezení a požadavků. Jsou zde představeny tři variantní návrhy, které jsou následně porovnávány a vyhodnocovány dle zvolených kritérií.

4.1 Analýza cílů a specifikace omezení

Vymezená problematika je znázorněna ve stromu cílů a omezení viz Obr. 4-1. Cíle a omezení jsou zde rozděleny do tří kategorií dle řešené oblasti – ergonomie, design a konstrukce, funkčnost. Hlavní aspekty jsou následně specifikovány pomocí bližšího popisu v odrážkách. Z hlediska ergonomie personálu, který bude přístroj obsluhovat, je nutné zaměřit se hlavně na převoz zařízení a celkově na manipulaci s přístrojem. To je mimo jiné výrazně ovlivněno prostředím, kde bude přístroj využíván. Designérská a konstrukční kategorie zdůrazňuje omezení týkající se konstrukce magnetů. To vzhledem k umístění magnetů úzce souvisí s celkovou stabilitou přístroje. Nedílnou součástí této kategorie je také řešení krytování, které bude z největší části definovat vzhled přístroje, a určovat tak jeho celý dojem. Kategorie funkčnost blíže popisuje technické specifikace nabíjení, bezpečnostní charakteristiky a v neposlední řadě je zde také zařazena hygiena, pod kterou spadá primárně vyjímání a dezinfekce hlavové cívky.



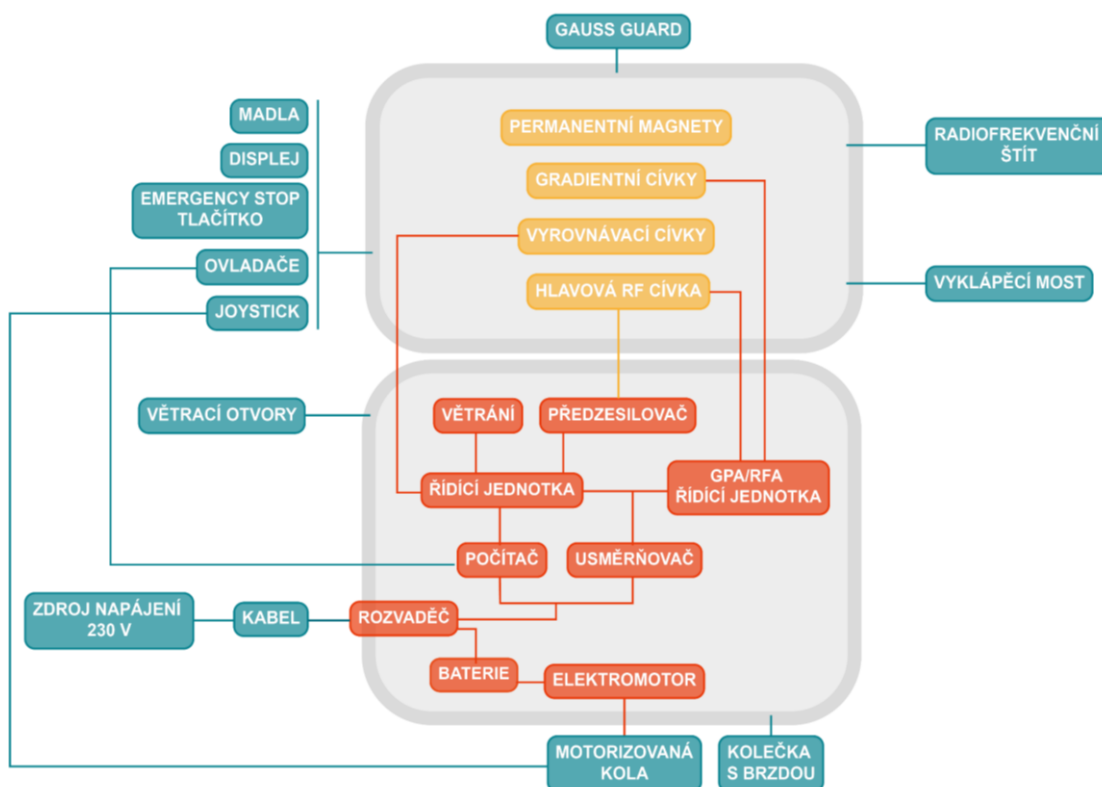
Obr. 4-1 Strom cílů

4.2 Technická a funkční analýza

Na průhledovém schématu viz Obr.4-2 jsou zjednodušeně zobrazeny hlavní vnitřní komponenty. Přibližné umístění jednotlivých součástí ve schématu vychází z odvozených pozic komponent v přístroji Hyperfine Swoop. Jejich propojení symbolizuje vzájemnou závislost mezi dílčími prvky.

Ve schématu jsou komponenty barevně rozděleny do tří skupin. Jednou ze skupin jsou prvky znázorněny na obrázku v odstínu modré barvy, umístěné mimo hlavní části siluety přístroje. Jedná se o skupinu komponent situovanou na vnějších částech přístroje. Tělo přístroje je rozděleno na dvě skupiny. Horní žlutě zabarvená část obsahuje komponenty tvořící konstrukci magnetů a také hlavovou radiofrekvenční cívku, s kterou přichází pacient do přímého kontaktu. Spodní oranžová část představuje skupinu složenou převážně z elektroniky zajišťující chod přístroje.

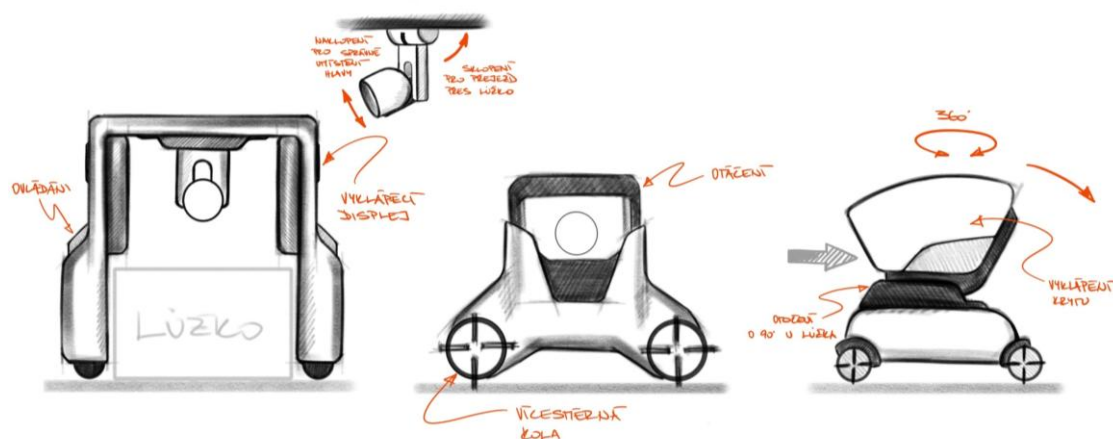
Elektronické součásti jsou poté umístěny v boxech vyrobených z mědi či hliníku, které slouží k odstínění magnetického pole. Tím je elektronika chráněna před poškozením a je tak zaručena delší životnost přístroje.



Obr. 4-2 Průhledové schéma

Pro řešení této problematiky bylo v prvotních fázích uvažováno nad alternativním přístupem ke konstrukci magnetů, která by výše zmíněné problémy eliminovala. Vzhledem k charakteru přístroje však byly možnosti úprav omezené a přístupy, které by tuto problematiku zcela vyřešily již hraničili s dodržáním funkčnosti přístroje. Z těchto myšlenek následně vychází Varianta I, která byla zvolena jako zástupce a znázorňuje tak i více experimentální přístup ke konceptu mobilní magnetické rezonance.

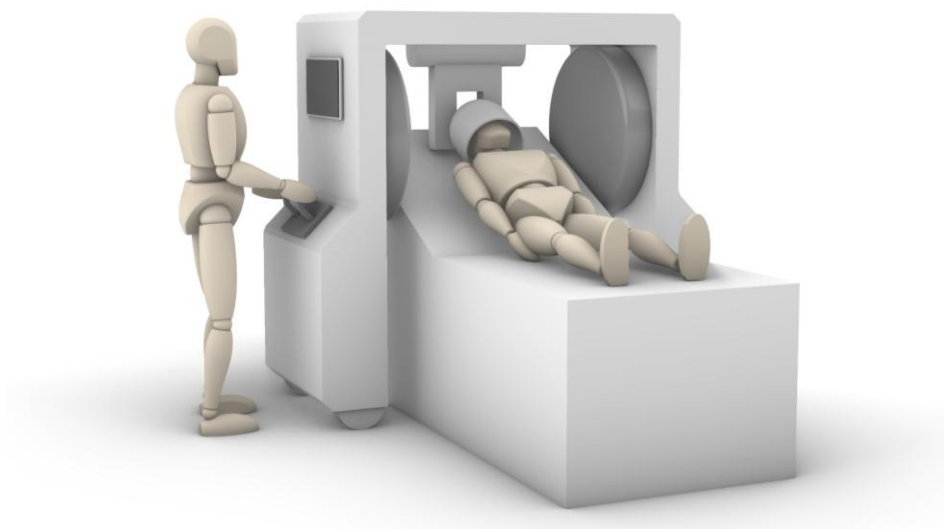
Při návrzích potom bylo nutné myslet také na snadnou ovladatelnost přístroje při jeho převozu např. pro vyhýbání objektů na chodbách nebo pro snadný pohyb mezi nemocničními lůžky. Významným technickým požadavkem je poté stabilita a fixace přístroje. Ten musí zůstat nehybně ve zvolené poloze i při pozicování pacienta, který se může o přístroj různě zachytávat nebo na něj působit nárazovými silami při posunování během přípravy na vyšetření. Části přístroje, které přijdou do kontaktu s pacientem je nutné po každém použití dezinfikovat. Proto byl při navrhování důraz také na snadný přístup k vnitřním plochám.



Obr. 4-4 Skici – Variantní studie

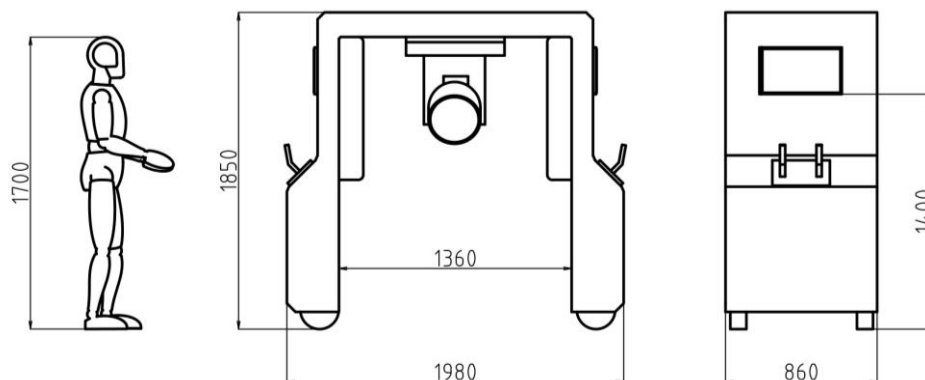
V reakci na vymezenou problematiku byly vybrány tři variantní přístupy, které maximalizují její řešení. Ve vybraných přístupech byla snaha vyřešit co nejvíce stanovených problémů, avšak řešení jednoho často znemožňovalo, ideální řešení problému druhého. Proto se každý přístup soustředí primárně na vybranou kombinaci jednotlivých problémů a vznikají tak zcela odlišné přístupy ke konstrukci řešeného zařízení. Variantní návrhy byly následně zjednodušeně vymodelovány pomocí modelovacího softwaru, aby byly blíže specifikovány skutečné rozměry jednotlivých návrhů.

4.3.1 Varianta I



Obr. 4-5 Varianta I

Návrh se soustředí na řešení problému přístupu k lůžku s přístrojem a nutnost pohybu s pacientem pro jeho umístění do přístroje pro vyšetření. Standardně je nutno celé nemocniční lůžko odsunout, najet přístrojem za hlavu pacienta a následně se pacient musí vlastní silou nebo za pomoci personálu vsunout do přístroje. Tato varianta reaguje na tento problém změnou konstrukce, která přejede přes celé lůžko.



Obr. 4-6 Rozměry – Varianta I

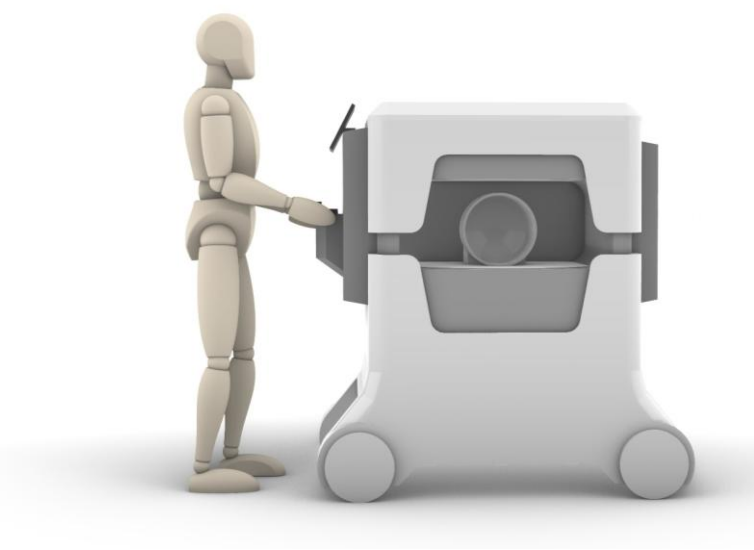
Alternativní přístup k lůžku je zajištěn rozměrnou konstrukcí, která lůžko obejmě a přístroj tak může přejet nad ležícím pacientem až nad jeho hlavu. Část s hlavovou cívkou je možné pro přejezd přes lůžko sklopit směrem dozadu, aby vznikl větší prostor. Pro vyšetření je také potřeba pacientovu hlavu umístit přibližně do osy spojující středy magnetů. Zde je počítáno s využitím funkce již standardně používaných polohovacích lůžek. Pacient je tedy napolohován do pozice polosedu pouze zvednutím zadní části lůžka.

Následně je konstrukce s hlavovou cívkou sklopena zpět do vertikální polohy a hlavová cívka je nasunuta na hlavu pacienta. I když tato varianta eliminuje mnoho problémů souvisejících s přípravou pro vyšetření a manipulací s pacientem, vznikají vzhledem k rozměrům návrhu problémy v jiných oblastech. Konkrétně problém s manipulací, a to obzvlášť v úzkých prostorách. Kvůli velkým rozměrům by také bylo velmi náročné najít prostor pro uskladnění takovéhoho přístroje.

Ovládání přístroje je umístěno z obou stran konstrukce. Displej je navržen jako vyklápěcí do strany. Při jeho vyklopení je tak zajištěno ovládání z přední strany přístroje, což je výhodnější pro komunikaci s pacientem při vyšetření a také z hlediska většího prostoru pro pohyb obsluhy.

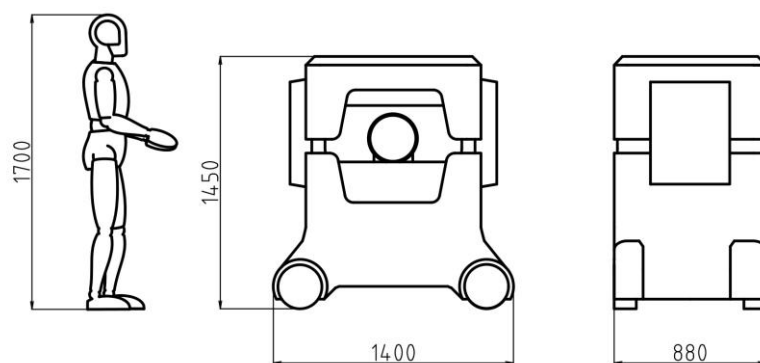
Tato varianta je však pouze vizí. Je zde navržena konstrukce, která mění umístění magnetů z horizontální do vertikální polohy. Také vzdálenost magnetů je u tohoto návrhu větší než při umístění magnetů nad sebe. Při reálném využití by u této varianty bylo nutné upravit samotnou konstrukci a sílu magnetů, aby se i při této vzdálenosti zachovala potřebná síla magnetického pole pro provedení vyšetření. Proto je tento přístup uváděn pouze jako myšlenka, nikoli jako reálně využitelný koncept.

4.3.2 Varianta II



Obr. 4-7 Varianta II

Druhá varianta následuje koncepci současného modelu mobilní magnetické rezonance Hyperfine Swoop. Na rozdíl od Varianty II se jedná o statickou konstrukci, kterou není možné nijak natáčet a polohovat. Přístup do přístroje je možný pouze z přední strany, takže je nutné zařízení nastavit do správné pozice před najetím k lůžku.

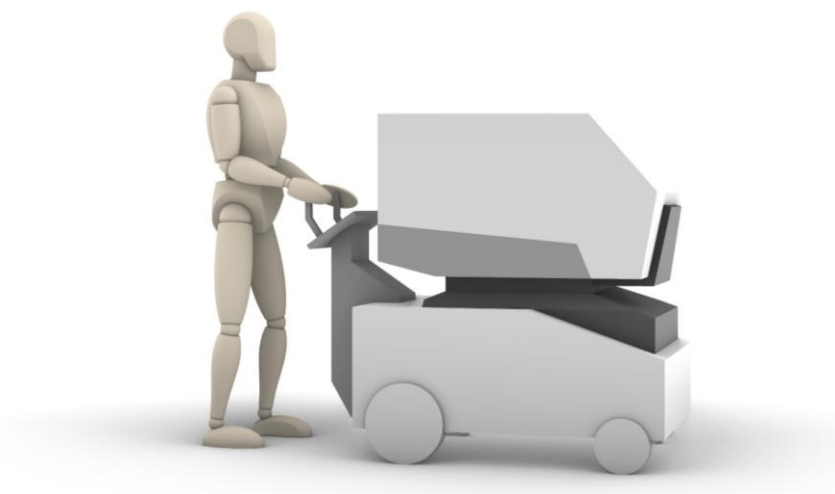


Obr. 4-8 Rozměry – Varianta II

Myšlenkou návrhu je vytvoření kompaktně tvarovaného přístroje. To bylo docíleno propojeným krytováním spodní části s elektronikou, části s magnety a radiofrekvenčního štítu do jednoho celku. Vnější krytování je následně rozděleno jinak zabarvenou částí pro umístění pacienta, která je vsunuta mezi dva díly krytů. Tím dochází k vizuálnímu odlehčení celého přístroje a také k plynulému navázání na boční krytování nosné konstrukce magnetů.

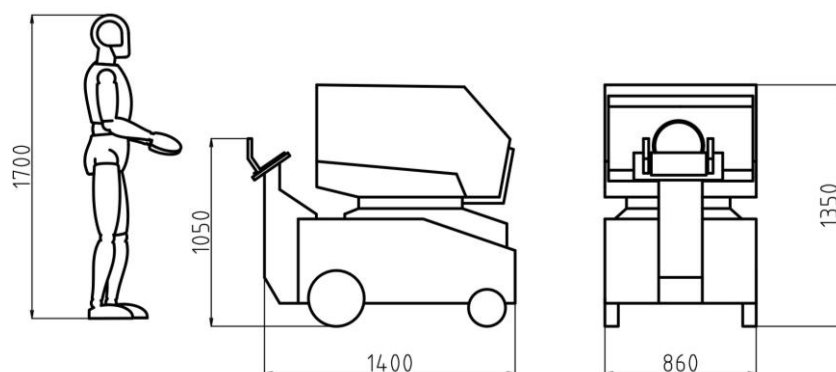
Důležitým prvkem tohoto návrhu je také důraz na stabilitu. Podstava přístroje je proto ve spodní části rozšířena a plynule přechází na krytování kol. Z bočních stran je hmota mezi koly odebrána, aby vznikl dostatečný prostor pro chůzi obsluhy při převozu přístroje. Ovládání je zde navrženo jako odnímatelný prvek, takže by bylo možné přístroj ovládat jak při přímém kontaktu, tak i na dálku. Varianta pracuje také s možností odnímatelného displeje. Displej, stejně jako ovládací prvek, by bylo možné umístit na jakoukoli z bočních stran přístroje. Díky tomu bude zajištěna možnost ovládání přístroje u lůžka z obou stran a personál si tak může vybrat umístění, které bude z hlediska prostředí zrovna nejlepší.

4.3.3 Varianta III



Obr. 4-9 Varianta III

Varianta III je inspirována „vozíkovými“ konstrukcemi, které jsou často využívány pro příbuzné mobilní lékařské přístroje, jako jsou např. mobilní RTG. Lékařský personál je tedy na podobně stavěné přístroje zvyklý, a proto by daná varianta mohla být obsluhou lépe přijata.



Obr. 4-10 Rozměry – Varianta III

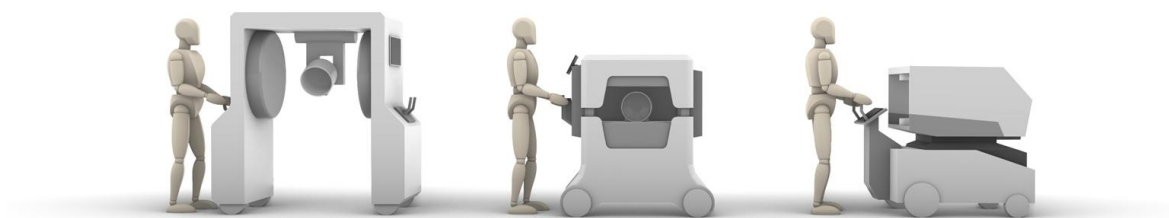
V návrhu je hmotově oddělena spodní část s elektronikou a horní část s magnety. Konstrukce s magnety je tedy upevněna na podstavci s pojezdem. Celou horní část je však možné natočit o 90° doleva i doprava. Díky tomu je možné k lůžku najet z jakékoli strany a následně pouze natočit horní část přístroje směrem k lůžku. Při natočení o 90° předstupuje hrana horní části před tělo podstavy. Horní část přístroje bude položena nad matrací lůžka a pacient bude nasunut dovnitř. U této varianty tedy dochází k eliminaci vyklápěcího mostu, který slouží jako přechod mezi přístrojem a lůžkem.

Výhodou návrhu je také přístup pro hygienu vnitřních prostor. Radiofrekvenční štít okolo magnetů je zde součástí samotného krytování. Horní kryt je navržen tak, aby jej bylo možné v případě potřeby vyklopit a zůstala tak odhalena samotná konstrukce magnetů. Díky tomu je zaručen snadný přístup k hlavové cívce a plochám, s kterými přijde pacient do kontaktu, a které je nutné po vyšetření dezinfikovat.

Ovládací panel s displejem je u této varianty vyveden mimo tělo přístroje, aby byla zajištěna pohodlná chůze obsluhy při převozu zařízení. Displej je však umístěn poměrně nízko, což může dělat problémy při ovládání před vyšetřením. Kvůli umístění mimo optimální zorné pole může být jeho ovládání obtížné zejména pro osoby většího vzrůstu.

4.4 Analýza alternativních řešení a výběr nejlepšího

Analýza jednotlivých variantních návrhů vychází z klíčových kritérií určených na základě stanovených požadavků a cílů v kapitole 3.1.5. U dílčích kritérií je každé variantě přiděleno bodové hodnocení v rozsahu 1 až 10 bodů podle toho, jak dobře dané kritérium varianta splňuje.



Kritéria	I	II	III
Manipulace s přístrojem	4	8	8
Rozměry	2	10	8
Stabilita	8	10	9
Umístění pacienta	9	4	7
Hygienická údržba	8	4	10
Ergonomie chůze při převozu	2	7	8
Kompaktnost tvarování	2	8	7
Originalita	10	7	10
Přístup k lůžku	10	6	8
Hodnocení	55	64	73

Tab. 4-1 Hodnocení variantních návrhů

Varianta I získala velmi nízké hodnocení u kritérií týkajících se rozměrů zařízení. I když tato konstrukce řeší problematiku přístupu k lůžku a výrazně snižuje nutnost pohybu pacienta, vznikají zde problémy spojené s transportem zařízení. V tabulce je tak možné pozorovat dva bodové extrémy, které zrcadlí to, že varianta sice řeší polovinu problémů, avšak na úkor druhé poloviny potřebných kritérií. Kvůli tomu se celkové bodové skóre této varianty pohybuje okolo průměru. Tento návrh je spíše experimentálního charakteru, jelikož částečně nerespektuje konstrukci magnetů ověřenou stávajícími zařízeními a není tak zaručena jeho správná funkčnost. Dále se u tohoto přístupu vyskytují výrazné nedostatky u některých z klíčových kritérií, a když se jedná o zajímavý koncept, nelze tuto variantu zvolit jako finální řešení.

Z hlediska tvarového řešení a vzhledu působí Varianty II v této fázi nejlépe. Široká základna plynule přecházející do krytování celého přístroje vytváří kompaktní tvar, který zrcadlí hmotnost přístroje. Jelikož téměř poloviční část celkové hmotnosti tvoří konstrukce magnetů uložená v horní části, je tak zvýšena i pozice těžiště. Podvozek je proto rozšířen, aby byla zaručena dostatečná stabilita celého zařízení. Proces týkající se přípravy přístroje i pacienta pro vyšetření je u tohoto návrhu obdobný jako u současných přístrojů, a protože se nejedná o ideální přístup, pohybuje se bodový zisk u těchto kritérií spíše ve spodní číselné hladině. Ideálně zde není řešen ani přístup k hlavové cívice a vnitřním plochám zařízení, s kterými přijde pacient do přímého kontaktu v průběhu vyšetření. Tyto plochy jsou zapuštěny mezi magnety a krytováním a vytváří se tak částečný tunel. Jeho časté čištění pak může být neergonomické hlavně z důvodu jeho umístění v nízké výšce tak, aby správně navazoval na výšku nemocničního lůžka.

Nejvyšší hodnocení získala Varianta III. U této varianty je slaběji hodnoceno kritérium kompaktnost tvarování a rozměry. To je primárně kvůli celkové délce přístroje, která je výrazně ovlivněna vyčnívajícím ovládacím panelem s displejem a madly. Tato konstrukce je však nutná, aby vznikl prostor pro správnou ergonomii při převozu zařízení a také dostatečný prostor pro otočení horní části přístroje, což zajišťuje možnost přístupu k lůžku z obou jeho stran. Navzdory tomu získala tato varianta vysoké bodové hodnocení u klíčových parametrů, čehož bylo docíleno aplikací jistých funkčních aspektů. Tato varianta byla následně vybrána jako finální řešení, které je dále zpracováváno v dalších kapitolách této diplomové práce.

5 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

Vybraná varianta byla dále rozpracována a byly blíže specifikovány rozměry, jednotlivé funkce přístroje a jeho samotný vzhled. V této kapitole je dále vypracován přibližný odhad výrobních nákladů na základě vnitřních komponent, materiálů a objemu výroby.

5.1 Určení tvarů, rozměrů a materiálů

Cílem této kapitoly je popsat hlavní principy, které ovlivnily výsledné formování návrhu. Dále také zdůvodnění volby tvarů s ohledem na estetiku, ergonomii, funkčnost i celkový výraz navrhovaného zařízení.

5.1.1 Určení tvarů

Pro definování základního charakteru tvarového řešení navrhovaného produktu, materiálů a celkové atmosféry finální designu, byl vypracován moodboard. Vybrané reference slouží jako inspirace a napomáhají určit směr, kterým se bude design dále ubírat. Moodboard dále usnadňuje převést obecné myšlenky do konkrétnějšího tvarového jazyka.



Obr. 5-1 Moodboard

Tvarování

Hlavním funkčním prvkem mobilní magnetické rezonance je organicky tvarovaná hlavová cívka, do které pacient během vyšetření umísťuje hlavu. Ta se nachází uvnitř částečně uzavřeného prostoru, který má přímou vazbu na funkci zařízení i psychologické vnímání pacienta. Z tohoto důvodu se jednou z hlavních inspirací stává tvarování přilby, tedy objektu, který je přirozeně spojený s ochranou hlavy a s jejím vložením do vymezeného prostoru. Tato inspirace pomáhá lépe naznačit způsob použití zařízení a zároveň podporuje organický, plynulý a bezpečně působící charakter návrhu.

Funkce a stabilita

V návaznosti na vybranou Variantu III, je horní část zařízení, určená pro umístění hlavy pacienta, navržena jako otočná v rozsahu 180 °. Toto řešení přirozeně vede k vizuálnímu i konstrukčnímu rozdělení přístroje na spodní podpůrnou statickou část a horní pohyblivou část. Vzhledem k charakteru přístroje a principu natáčení je důležité, aby design zařízení komunikoval stabilitu, spolehlivost a bezpečnost. Inspirací jsou zde mimo jiné autonomní vozidla, u kterých bývají kola často zcela nebo částečně zakrytována. Toto zakrytování vytváří čistší a kompaktnější vzhled, potlačuje technický charakter podvozku a zároveň opticky přidává hmotu v dolní části objektu. U navrhované mobilní magnetické rezonance tak může podobný princip napomoci nejen nerušivému vzhledu, ale také vizuálnímu pocitu vyšší stability.

Materiály a barevnost

Vzhledem k tomu, že se jedná o zdravotnické zařízení, je v návrhu počítáno především s využitím plastového krytování v neutrálních a hygienicky působících odstínech, jako je bílá nebo světle šedá. Tyto barvy podporují vizuální čistotu, důvěryhodnost a snadné začlenění přístroje do nemocničního prostředí. Aby však návrh nepůsobil příliš sterilně nebo technicky nevýrazně, mohou být neutrální plochy doplněny o barevné akcenty a detaily. Ty mohou sloužit ke zvýraznění ovládacích prvků, orientačních linií nebo funkčních částí zařízení. Výraznější barevnost zároveň dodá návrhu živost a současný charakter, aniž by narušovala jeho celkovou čistotu a profesionální výraz.

5.1.2 Určení rozměrů

Kromě rozměrů a umístění vnitřních komponent jsou rozměry mobilní magnetické rezonance ovlivněny také prostředím, v kterém je přístroj používán. Tento návrh je určen pro použití v nemocnicích, proto jsou jeho rozměry limitovány specifickými parametry nemocničních interiérů.

Důležitým omezením jsou dveře a průchody. V prostorách, kde se manipuluje s nemocničním lůžkem je možné počítat s větší průchozí šířkou, než je u běžných interiérových dveří. Nemocniční pokoje jsou standardně vybaveny dveřmi s průchozí šířkou 1100 mm, zatím co průchozí šířka na operační sály se pohybuje okolo 1000 mm a neprojde tak nutně každé nemocniční lůžko. Z toho vyplývá, že návrh mobilního přístroje musí respektovat maximální šířkovou hranici 1000 mm.

Neodmyslitelnou součástí při použití přístroje je nemocniční lůžko. Jeho rozměry, a především výška definují vybrané rozměry a tvarování přístroje. Ten je při vyšetření nasunut na matraci lůžka, a proto musí být jeho výška v této části sladěna s horní hranou matrace. I když se může tato hodnota lišit v závislosti na typu lůžka, není potřeba přístroj doplňovat ještě o funkci výškové stavitelnosti, jelikož nemocniční lůžka jsou touto funkcí již zcela standardně vybaveny. Výškový rozsah ložných ploch byl analyzován na nemocničních lůžkách často používaných v ČR a Evropě (viz Tab. 5-1).

Typ lůžka	Vnější rozměry [mm]	Matrace [mm]	Výškový rozsah [mm]	
LINET Eleganza 5	2190 × 1000	2080 × 900	435–815	[44]
LINET Multicare X	2150 × 1050	2140 × 875	440–820	[45]
Hillrom Progressa ICU Bed	2235 × 1030	2130 × 990	419–890	[46]
Hillrom Centrella Smart+ Bed	2200 × 1016	—	370–830	[47]
Arjo Citadel	2300 × 1030	—	340–780	[48]

Tab. 5-1 Analýza rozměrů vybraných nemocničních lůžek

Lze pozorovat, že nastavitelný výškový rozsah ložné plochy se u lůžek pohybuje v obdobných rozmezích. Běžná pracovní výška, v které je horní hrana matrace většinou ponechávána se nejčastěji pohybuje v rozmezí 600-700 mm v závislosti na výšce ošetřujícího personálu a typu prováděného úkonu.

Na základě těchto informací je spodní hrana přechodového mostu, jehož část je nasunuta na matraci, umístěna ve výšce 730 mm. Vyšší poloha přechodového mostu je výhodná z hlediska plynulejšího workflow, protože ve většině případů bude nutné lůžko pouze dorovnat směrem nahoru, nikoliv s ním nejprve sjíždět dolů a následně jej znovu zvedat.

5.1.3 Testování ergonomických vlastností

Plochy horizontálně natočených magnetů jsou od sebe vzdáleny 320 mm. Tím se vytváří velmi limitovaný prostor, do kterého musí pacient umístit hlavu a část trupu. Pokud je to možné, musí se pacient vlastní silou posunout z lůžka dovnitř přístroje a polohovat se do správné pozice pro vyšetření. Z tohoto důvodu je návrh doplněn o madla, díky kterým má být polohování pacienta o něco snadnější.

Madla bylo nutné vzhledem k limitujícím vnitřním rozměrům zařízení otestovat na zjednodušeném modelu 1:1. Zde bylo testováno jejich ideální umístění, aby co nejvíce napomohly pacientovi v pohybu, ale zároveň, aby také nelimitovali už tak stísněné vnitřní prostory.



Obr. 5-2 Testování madel na fyzickém modelu

Na fyzickém modelu byly testovány primárně madla v horní části konstrukce, ale také po jejich bocích. Jako nejvýhodnější se ukázala pozice madla v horní části, kdy je madlo umístěno před vstupem do přístroje. Na toto madlo je možné se zavěsit a snadněji tak nadzvednout horní část těla, což výrazně usnadňuje posun směrem za hlavu.



Obr. 5-3 Testování madel na fyzickém modelu

Přínosná jsou také madla v horní části ve směru pohybu. Ta napomáhala k pohybu uvnitř přístroje nebo následně k posouvání směrem ven. Madla umístěna po bocích vyšla z testování jako zbytečná, protože zde nebyl prostor, který by dovoľoval se o ně více zapřít.

5.1.4 Určení materiálů

Základem přístroje je nosná konstrukce tvořena profily z hliníkové slitiny. Vnitřní komponenty jsou poté uzavřeny v boxech z měděných plechů pro odstínění magnetického pole. Výroba těchto částí je řešena pomocí laserového řezání a následného ohýbání.

Krytování spodní části je navrženo z ABS plastu. Počítá se s technologií lisování plastů, případně se vstřikováním pro složitě tvarované díly. Materiál ABS je zvolen, jelikož se jedná o materiál standardně používán v medicínském prostředí, a to především díky své odolnosti a dobrým hygienickým vlastnostem. Krytování horní části je také navrženo z ABS plastu. Odklápěcí kryt je však kvůli potřebě odstínění RF vlnění doplněn o vrstvu hliníkového plechu, která je umístěna zevnitř krytu. Průhled je navržen z barevného polykarbonátu, který je také doplněn o tenké vrstvy hliníku.

5.2 Matematický model

Pro ověření základních technických předpokladů navrhovaného zařízení byl vytvořen matematický model, který se zaměřuje především na posouzení stability a provozní výdrže. Vzhledem k omezené dostupnosti technickým informacím, bylo potřeba v první části definovat rozměry pro bateriový systém. Stabilita přístroje byla následně řešena s ohledem na polohu těžiště, hmotnost jednotlivých komponent a natočení horní pohyblivé části.

5.2.1 Kapacita baterie

Vzhledem k omezenému množství veřejně dostupných technických podkladů není možné bateriový systém přesně dimenzovat podle reálných odběrů jednotlivých komponent. Z tohoto důvodu je návrh baterie řešen pouze jako orientační energetická bilance pro zajištění pojezdu a manipulace s přístrojem.

Celková hmotnost navrhované mobilní magnetické rezonance je uvažována přibližně 1000 kg. Pohyb zařízení je řešen pomocí čtyř kol typu Mecanum, přičemž každé kolo je poháněno samostatným elektromotorem. Pro výpočet byla uvažována rychlost pohybu $v = 1 \text{ m/s}$, která odpovídá pomalé chůzi člověka. Pro stanovení valivého odporu bylo uvažováno kolo o průměru 305 mm, tedy s poloměrem $r = 0,1525 \text{ m}$. Pro kontakt tvrdé pryže s tvrdým povrchem bylo zvoleno rameno valivého odporu $e = 0,02 \text{ m}$. [49]

Součinitel valivého odporu:

$$c_r = \frac{\xi}{r} = \frac{0,02}{0,1525} = 0,131$$

Odporová síla při hmotnosti zařízení 1000 kg:

$$F_r = c_r \cdot m \cdot g$$
$$F_r = 0,131 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 1285 \text{ N}$$

Mechanický výkon potřebný pro rovnoměrný pohyb při rychlosti 1 m/s:

$$P = F_r \cdot v = 1285 \cdot 1 = 1285 \text{ W}$$

Tato hodnota představuje pouze výkon potřebný k překonání valivého odporu. V reálném provozu je nutné počítat také se ztrátami v pohonech, účinností elektromotorů, rozjezdy, zastavováním a nižší účinností kol Mecanum. Pro návrhové ověření byl proto příkon pojezdu navýšen na hodnotu přibližně 2,5 kW. Jako referenční bateriový článek byl zvolen CALB Li-ion 3,7 V / 195 Ah. Jeden článek má energii 721,5 Wh, pracovní rozsah napětí 2,8–4,35 V, standardní vybíjecí proud 195 A a rozměry přibližně (299 x 108 x 38) mm. Pro návrh je uvažováno zapojení 24 článků do série. [50]

Tím vznikne systém o jmenovitém napětí:

$$U = 24 \cdot 3,7 = 88,8 \text{ V}$$

Kapacita:

$$C = 195 \text{ Ah}$$

Celková teoretická energie baterie:

$$E = U \cdot C = 88,8 \cdot 195 = 17\,316 \text{ Wh}$$

Při uvažování využitelnosti 80 % je dostupná energie:

$$E_{vyu\check{z}} = 17\,316 \cdot 0,8 = 13\,853 \text{ Wh}$$

Orientační doba aktivního pohybu při návrhovém příkonu pojezdu 2,5 kW:

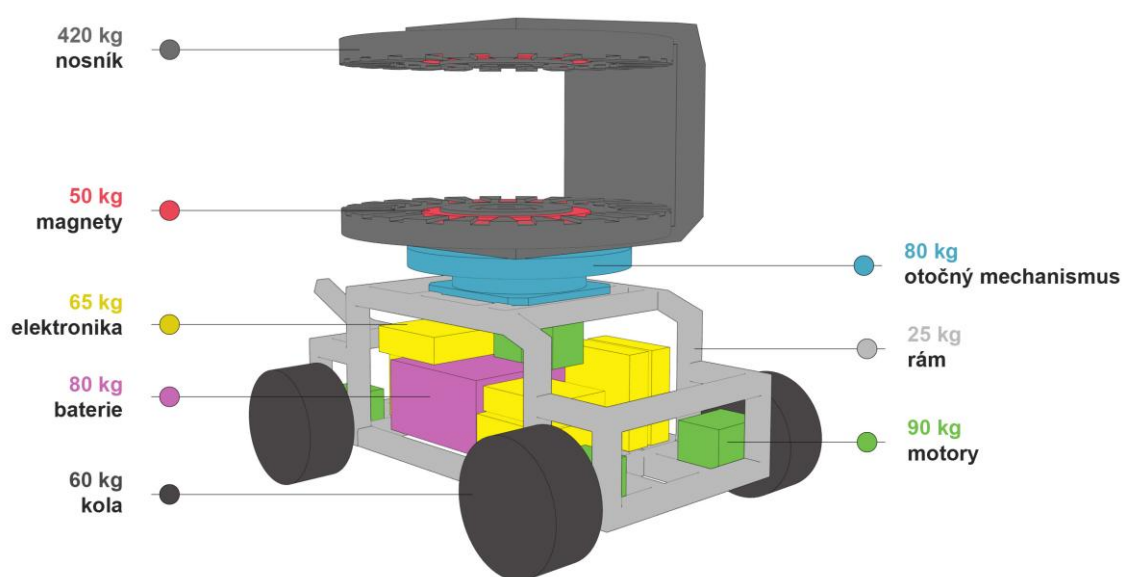
$$t = \frac{E_{vyu\check{z}}}{P} = \frac{13\,853}{2500} = 5,54 \text{ h}$$

Takto navržený bateriový systém by umožnil přibližně 5,5 hodiny aktivního pojezdu. Při uspořádání článků do sestavy 6 x 4 vzniká přibližný rozměr článkového bloku (432 x 299 x 228) mm. Vzhledem k velmi omezeným dostupným informacím slouží tento výpočet pouze jako orientační ověření prostorové a energetické proveditelnosti bateriového systému.

5.2.2 Ověření stability

Při horní části dochází k vyosení nosníku držícího magnety, který tvoří značnou část hmotnosti přístroje. Vzhledem k této skutečnosti je možné předpokládat, že je těžiště umístěno spíše v horní části konstrukce a při této úpravě může hrozit překlopení přístroje. Těžiště je tedy nutné posoudit v pracovní poloze, kdy je přístroj nachystán k vyšetření a jeho horní část je natočena o 90° vůči podvozku.

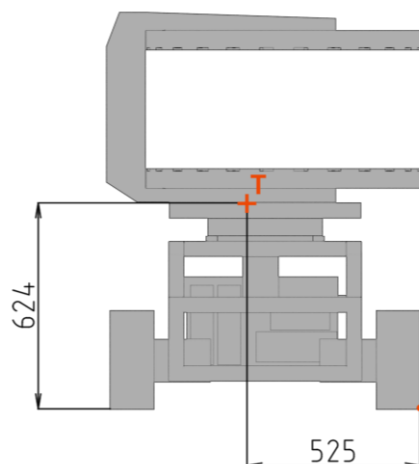
Pro ověření stability byla určena přibližná poloha těžiště zařízení. Ta vychází z hmotnosti vnitřních komponent a jejich specifického umístění v návrhu. Tyto části tvoří největší podíl hmotnosti celého zařízení. Krytování a jiné hmotnostně příliš nenáročné části byly pro tento výpočet zanedbány.



Obr. 5-4 Schéma rozložení hmotnosti vnitřních komponent

Přesná poloha těžiště pak byla zjištěna pomocí softwaru Autodesk Inventor z navrženého 3D modelu (viz Obr. 5-4), kde byly jednotlivým součástím přiřazeny specifické vlastnosti pro co nejpřesnější určení polohy těžiště. Hmotnosti a rozměry jednotlivých komponent byly určeny z dostupných podkladů, odvozeny na základě materiálu součásti nebo případně odhadnuty. Z modelu plyne, že celková hmotnost uvažovaných komponent je rovna 870 kg, z čehož 420 kg tvoří nosník z nízkouhlíkové oceli, 50 kg segmenty magnetického materiálu, 80 kg konstrukce otočného mechanismu, 25 kg hliníkový nosný rám, 90 kg motory, 80 kg baterie, 65 kg zbylá menší elektronika a podporu konstrukce tvoří kola, která samy přidávají váhu 60 kg.

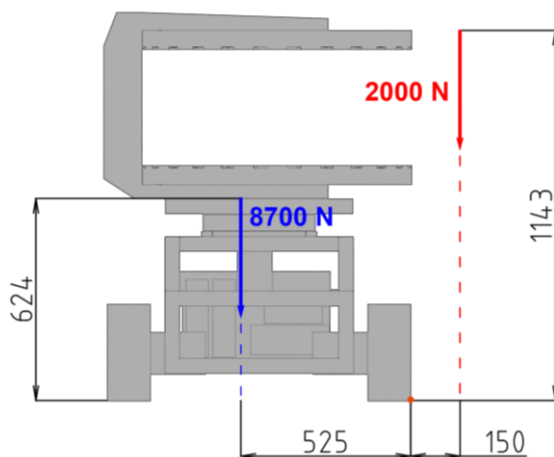
Z těchto parametrů byla následně ověřena poloha těžiště. To sice zůstává v návrhu umístěno spíše v horní části přístroje, avšak jeho svislý průmět se nachází uvnitř opěrné oblasti tvořené kontaktními body kol s podlahou a překlopení při natočení horní části o 90° tak nehrozí.



Obr. 5-5 Pozice těžiště při natočení horní části o 90 °

Právě v této konfiguraci je přístroj přistaven k lůžku, aby do něj mohl být umístěn pacient. Ten bude pro své polohování využívat madel v horní části přístroje, které jsou zde pro usnadnění tohoto procesu. Je tedy nutné počítat s tím, že při zachycení za madla bude pacient působit na přístroj jistou silou a je nutné ověřit, zda i při této situaci nehrozí překllopení přístroje přes hranu kol.

V této situaci si bude pacient nadzvedávat převážně pouze přední část těla, z tohoto důvodu je pro ověření počítáno s působením síly odpovídající přibližně hmotnosti 200 kg. Tento odhad byl úmyslně předimenzován z důvodu bezpečnosti. Stabilita byla ověřena porovnáním momentu vznikajícího od zachyceného pacienta v místě madel (M_p) a stabilizačním momentem (M_s) od vlastní tíhy přístroje působící v jeho těžišti.



Obr. 5-6 Působení sil při zavěšení pacienta

Výpočet:

$$M_s = 8700 \cdot 0,525 = 4567,5 \text{ Nm}$$

$$M_p = 2000 \cdot 0,15 = 300 \text{ Nm}$$

Výsledek:

$$M_s > M_p$$

Z výpočtu vidíme, že stabilizační moment od hmotnosti samotného přístroje je výrazně větší než moment od pacienta uchopeného za madlo. Stabilizační moment je přibližně 15x větší, a tudíž lze jednoznačně říct, že převržení přístroje v této situaci nehrozí.

5.3 Odhad výrobních nákladů a objemu výroby

Náklady jsou odhadnuty na základě vyhledaných cen jednotlivých komponent, cen materiálu a ceny stávající mobilní magnetické rezonance Hyperfine Swoop. Na Obr. 5.7 jsou komponenty rozděleny do samostatných skupin, u kterých je uvedena přibližná cena za všechny součásti spadající do této kategorie. Jelikož nebylo možné dohledat ceny specifických součástí pro magnetické rezonance, jako jsou např. magnety, gradientní zesilovače, program AI pro dokreslování obrazu atd., jsou náklady na navrhovaný přístroj velmi orientační a od reality se mohou výrazně lišit.

Přístroj je určen pro celosvětový trh. Počítá se s malosériovou výrobou o objemu zhruba 20 kusů ročně.

Skupina	Specifikace	Cena
Elektronika	Baterie, motory, řídicí PC, gradientní zesilovače, displej...	3 200 000 Kč
Konstrukce magnetů	Magnetické jádro, mechanické díly...	2 000 000 Kč
Nosná konstrukce	Hliníkový rám, lože magnetů, spojovací materiál...	800 000 Kč
Stínění	Měděné/hliníkové plechy...	400 000 Kč
Krytování	ABS plastové díly	600 000 Kč
Kola	Mecanum Ø 305 mm	150 000 Kč
Náklady celkem		7 150 000 Kč

Obr. 5-7 Rozpis odhadovaných nákladů

6 DETAILNÍ NÁVRH

Tato kapitola se zaměřuje na podrobný popis finálního řešení navrhovaného produktu, které vychází z návrhového procesu popsaného v předchozích kapitolách. Finální návrh navazuje na koncepci třetí varianty, kterou kombinuje s tvarovým jazykem definovaným v páté kapitole.

6.1 Tvarové řešení

Situace, v které se budou lidé nejčastěji se zařízením setkávat je při jeho převozu. Z hlediska designu je tedy nutné dbát na to, aby právě v této konfiguraci působil přístroj nejlépe. Dalším aspektem, který bylo nutné brát v úvahu je to, že při příjezdu k nemocničnímu lůžku a nachystání přístroje pro vyšetření bude dobře viditelná pouze horní část přístroje. Jedná se také o jedinou část, s kterou přijde do přímého kontaktu vyšetřovaný pacient, což z ní dělá zcela dominantní prvek designu.



Obr. 6-1 Finální návrh

Finální návrh přístroje mobilní magnetické rezonance je opticky i konstrukčně rozdělen na dvě části – část podpurnou propojenou s ovládacím panelem a horní otočnou část, která slouží k umístění hlavy pacienta. Tyto dvě části jsou propojeny kruhovým krkem o průměru 600 mm. Zde je umístěn otočný mechanismus, který umožňuje otáčení horní části přístroje o 90 ° doleva i doprava, díky čemuž je zajištěna možnost naježdění k hlavě pacienta na nemocničním lůžku z jakékoli strany.



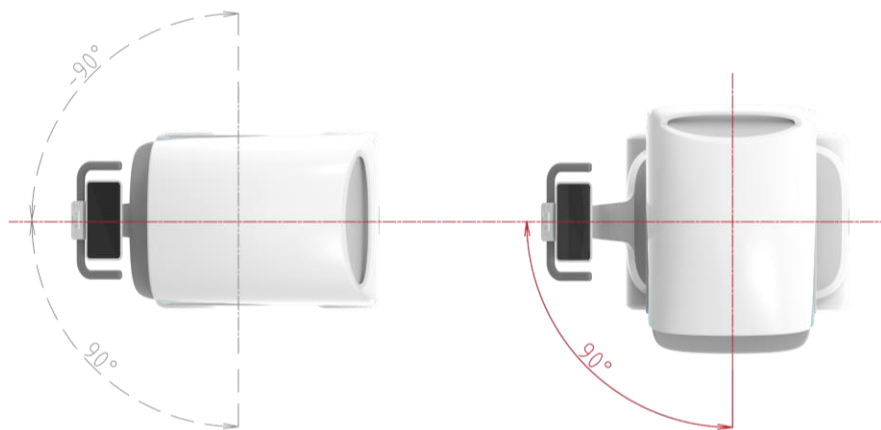
Obr. 6-2 Příklad u nemocničního lůžka

Horní část přístroje tvoří vyšetřovací modul, který je hlavním vizuálním i funkčním prvkem celého návrhu. Tvarová myšlenka této části vychází z inspirace přilbou, tedy objektem přirozeně spojeným s hlavou, jejím vložením do částečně uzavřeného prostoru, ale také s pocitem bezpečí. Tato inspirace pomáhá lépe zrcadlit funkci zařízení a právě to, že se jedná o přístroj, do kterého pacient během vyšetření umísťuje hlavu. Organické tvarování zároveň do jisté míry také kopíruje tvar hlavové cívky jako klíčového funkčního prvku a podporuje tak měkký, méně technický výraz zařízení.



Obr. 6-3 Příklad v pozici pro převoz

V převozní poloze je vstup do vyšetřovacího prostoru otočen směrem k ovládacímu panelu. Toto řešení má nejen praktický význam, protože citlivější vnitřní část přístroje je při manipulaci více chráněna, ale také význam vizuální. Přístroj v této konfiguraci působí uzavřeněji a na první pohled je zřejmé, že není připraven k vyšetření. Po příjezdu k lůžku je horní část natočena o 90° na jednu nebo druhou stranu podle dispozice lůžka v prostoru.



Obr. 6-4 Natočení horní části přístroje – vlevo pozice pro převoz, vpravo pozice pro vyšetření

Horní vyšetřovací modul je tvořen dvěma krycími částmi. Vyklápěcím radiofrekvenčním krytem, který obklopuje vyšetřovací plochu a díky vnitřní hliníkové vrstvě plní funkci stínění RF vlnění a vnitřním šedě zbarveným krytváním, které obklopuje celou konstrukci magnetů tak, že ani při odklopení bílé zbarveného části nedochází k odhalení surové konstrukce magnetů.



Obr. 6-5 Vyklopený radiofrekvenční kryt

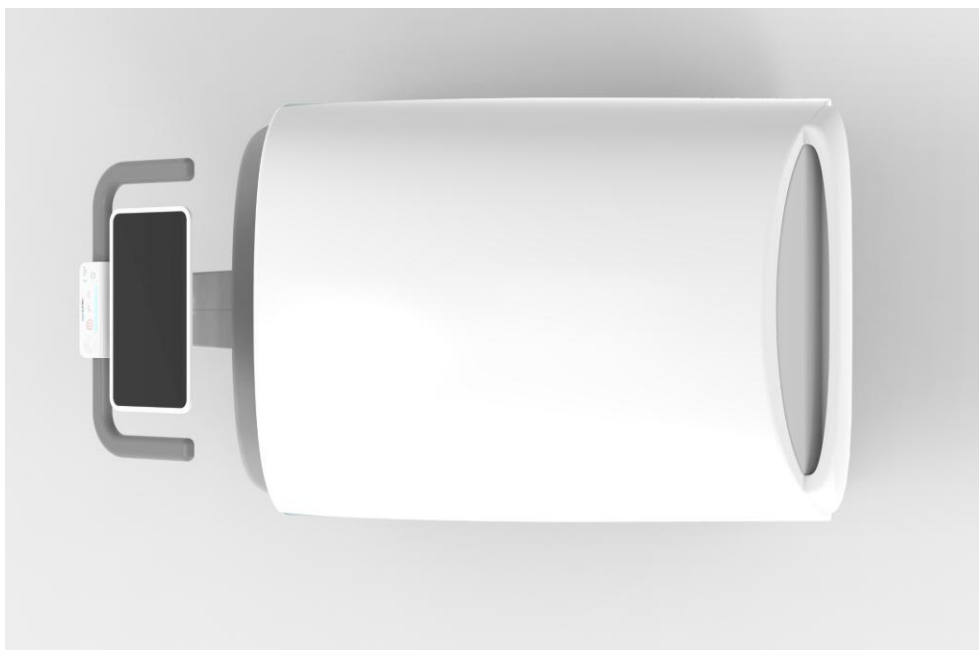
Výklopné řešení krytu zlepšuje přístup k vnitřním plochám zařízení. To je výhodné primárně z hlediska přístupu k pacientovi např. pro asistenci během přípravy k vyšetření a také se tím výrazně usnadňuje přístup pro pravidelnou hygienu vnitřních ploch, které docházejí do přímého kontaktu s pacientem. Otevírání krytu je řešeno manuálně pomocí madla v zadní části, které vychází z tvaru krytu a zatlačením na něj je možné dosáhnout naklopení krytu o 50 °.



Obr. 6-6 Zadní část přístroje

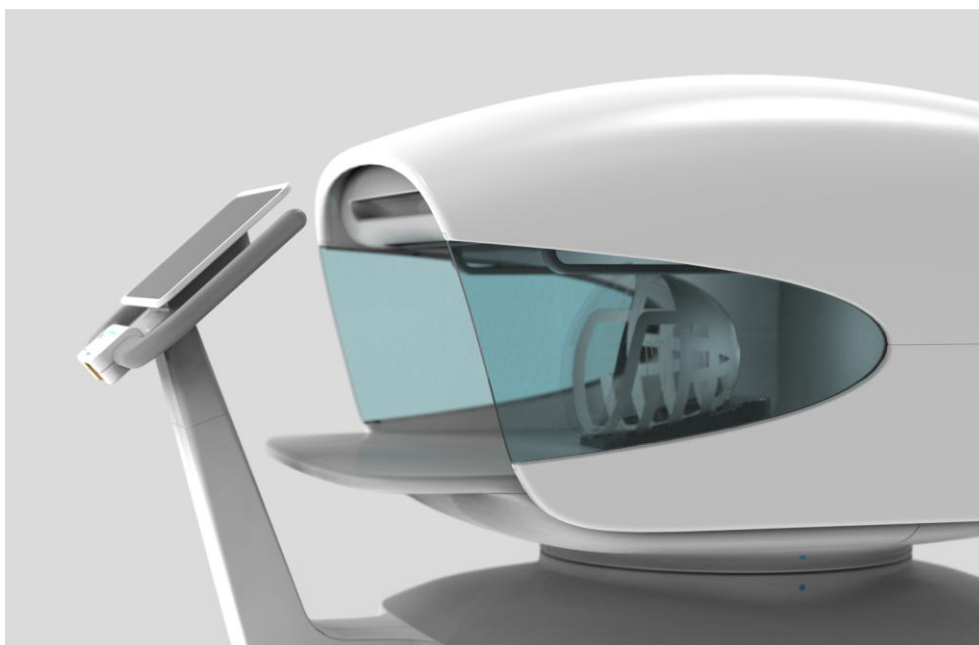
Zadní madlo tvoří se zbytkem krytu vizuálně jeden celek. Plynule vychází z bočních ploch krytu a jeho půdorys kopíruje obvodové křivky spodní části podstavy, konkrétně části, nad kterou se madlo nachází při natočení horní části do polohy pro převoz. Vypouklý charakter madla tak vytváří větší vzdálenost mezi plochým šedým krytováním horní části a středovou částí madla. Díky tomu zde vnika větší prostor pro prsty, což vede k pohodlnějšímu úchopu madla a s jeho manipulací při vyklápění.

Obvod krytu je lemován proměnným zaoblením, které v přední části vytváří zcela zakulacený tvar lemu. Poloměr rádius hran krytu se následně zmenšuje směrem dozadu k madlu pro vyklopení. Díky tomu vzniká měkká hrana v přední části pro vyšší míru bezpečnosti při přemísťování do přístroje, ale zároveň díky tvrdším přechodům v zadní části je lépe definovaný tvar celého krytu a madla.



Obr. 6-7 Půdorysný pohled

Součástí RF krytu jsou také polykarbonátové průhledy doplněné o středovou vrstvu měděného materiálu, aby byla i v těchto místech zachována funkce radiofrekvenčního stínění. Princip je zde obdobný jako u speciálních oken používaných v místnostech se stacionární magnetickou rezonancí. Svým parabolickým tvarováním navazují průhledné plochy na měkké tvarování krytu, jehož jsou součástí. Průhledy mají význam především z hlediska komfortu pacienta, protože částečně otevírají jinak uzavřený vnitřní prostor a snižují tak jeho stísněnost. Zároveň také umožňují personálu lepší vizuální kontrolu nad pacientem během vyšetření, což podporuje bezpečnost při používání tohoto zařízení.



Obr. 6-8 Detail průhledů

V zadní části šedého krytování je měkkčený přechod, kde plochá část kopírující bokorysnou křivku výklopu přechází ve vypouklou plochu krytující spodní magnet. Díky tomu dochází k usazení vyšetřovacího modulu na tuto plochu, která tvoří vizuální podstavu vyšetřovacího modulu.



Obr. 6-9 Pohled zezadu

Spodní část neboli podstava, vychází z tvaru zaobleného obdélníku a oproti dominantní organicky tvarované horní části, je navržena z více geometrických prvků. Tento přístup vychází především z funkčních aspektů, jako je například integrace kol. Zároveň zde bylo cílem tvarové zklidnění návrhu tak, aby spodní část nepůsobila konkurenčně vůči výrazné hlavové části, ale spíše ji vizuálně podporovala.



Obr. 6-10 Natočení horní části přístroje

I přes mírně odlišný charakter tvarování je mezi horní částí a podstavou zachována vizuální návaznost. Tu zajišťují zaoblené a měkce modelované plochy, především potom šedá část tvořící krytování horní části podstavy. Tato část svým tvarováním částečně zrcadlí organický výraz horního krytování a vytváří plynulý přechod mezi podstavou a hlavním vyšetřovacím modulem.

Dominantním prvkem podstavy jsou krytovaná holonomická kola Mekanum o průměru 305 mm. Ta jsou z důvodu zvýšení stability mírně předsunuta do stran mimo hlavní objem zařízení. Jejich zakrytování zároveň potlačuje čistě technický výraz kol a vizuálně podporuje stabilitu a kompaktnost vzhledu přístroje.



Obr. 6-11 Detail kol Mekanum

Součástí podstavy je také výběh podporující ovládací panel. Záměrem bylo, aby toto podpůrné rameno nepůsobilo jako dodatečně připojený prvek, nýbrž jako součást podstavy a přirozeně vycházelo z její celkové hmoty. Toho bylo docíleno zkosením vedeným po obvodu podstavy na rozhraní bílého a šedého krytování. Zkosení se směrem k přední části postupně zvětšuje a v bokorysu plynule přechází do podpůrného ramene ovládacího panelu. Díky tomu vzniká soudržnější tvarové řešení, ve kterém podstava, rameno i ovládací panel tvoří jeden vizuálně propojený celek.

V podstavě pod ovládacím panelem je umístěn šuplík na malé pomůcky, které jsou používány při přípravě na vyšetření v mobilní magnetické rezonanci. Čelní kryt šuplíku zrcadlí spíše geometrické tvarování podstavy. Jeho spodní křivka kopíruje přechod mezi tělem podstavy a koly.



Obr. 6-12 Návaznost ovládacího panelu

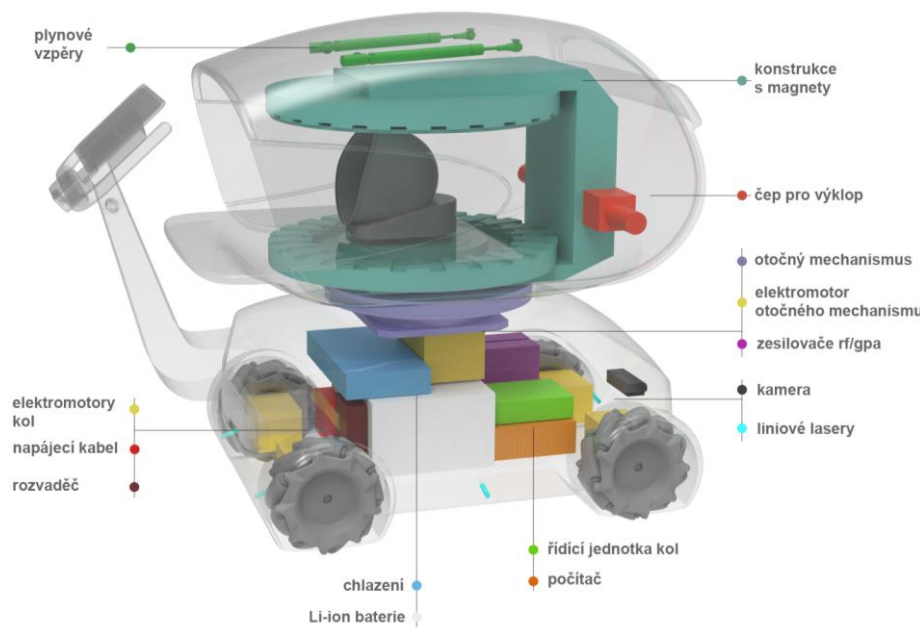
Na bocích podstavy jsou kruhové průduchy uspořádané do oválného tvaru. Průměr jednotlivých kruhů se od středové linie oválu postupně zmenšuje, což vytváří mizející efekt. Pod větracími otvory v krytování je následně umístěna také mřížka zbarvená do modrého odstínu, která zabraňuje průchodu i menších nečistot a prosvítající barvou dodává podstavě zajímavý vizuální prvek. Koncept oválu a kruhů se dále promítá i do tvarování ostatních doplňkových prvků což blíže propojuje celý design přístroje.



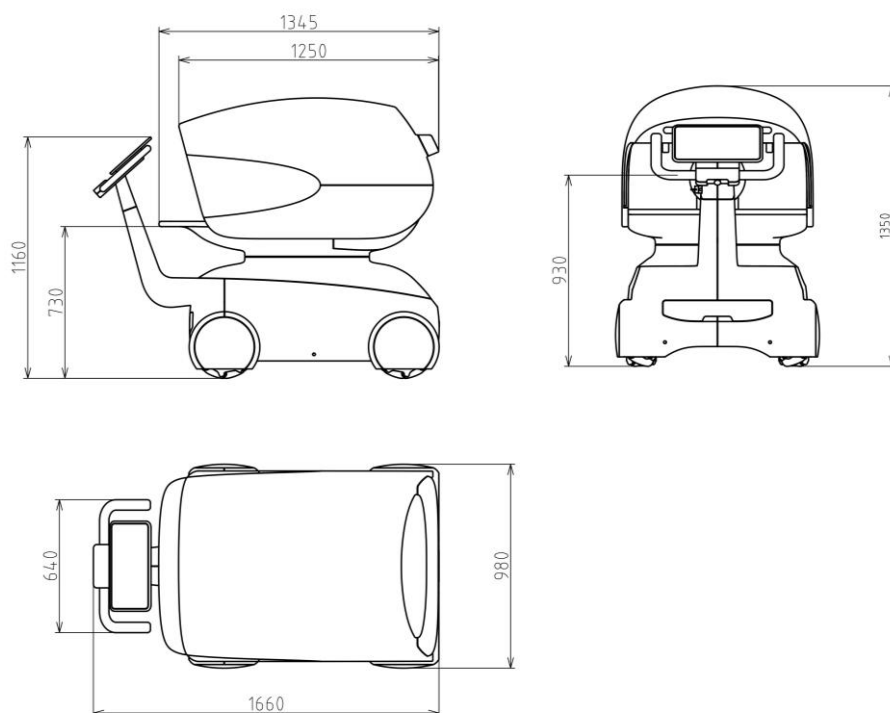
Obr. 6-13 Perspektivní pohled

6.2 Konstrukční řešení

Rozměrové řešení vychází z prostorových nároků vnitřních komponent a parametrů definovaných v kapitole předběžného návrhu. Základní objem zařízení je ovlivněn především rozměry konstrukce s magnety a jejich definovaným umístěním vycházejícím z návaznosti na výšku nemocničního lůžka.



Obr. 6-14 Uspořádání vnitřních komponent

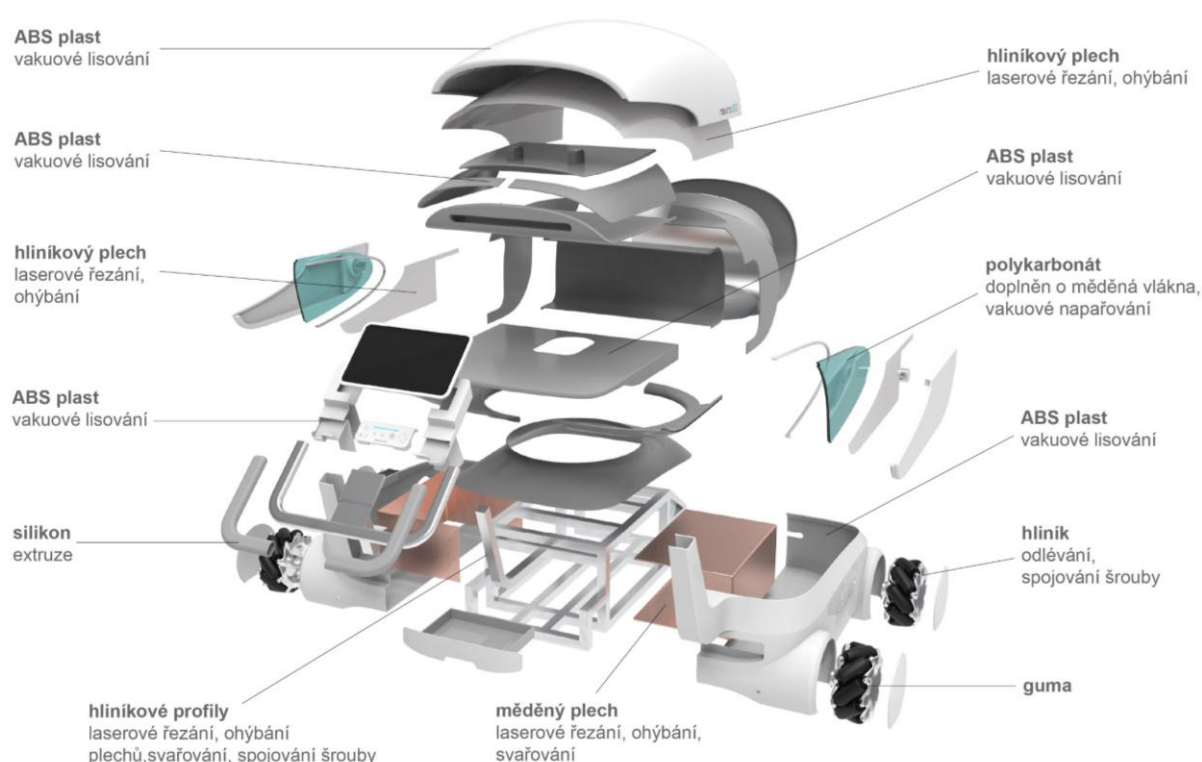


Obr. 6-15 Rozměrové řešení

Hlavním nosným prvkem je konstrukce z hliníkové slitiny umístěná v podstavě přístroje. Její jednotlivé části jsou svařeny a spojeny pomocí šroubových spojů. V rámu je umístěna veškerá elektronika, která je dodatečně oplášťena měděným plechem z důvodu odstínění. Hliníková konstrukce následně nese ocelovou konstrukci s magnety, která je upevněna na otočném mechanismu.

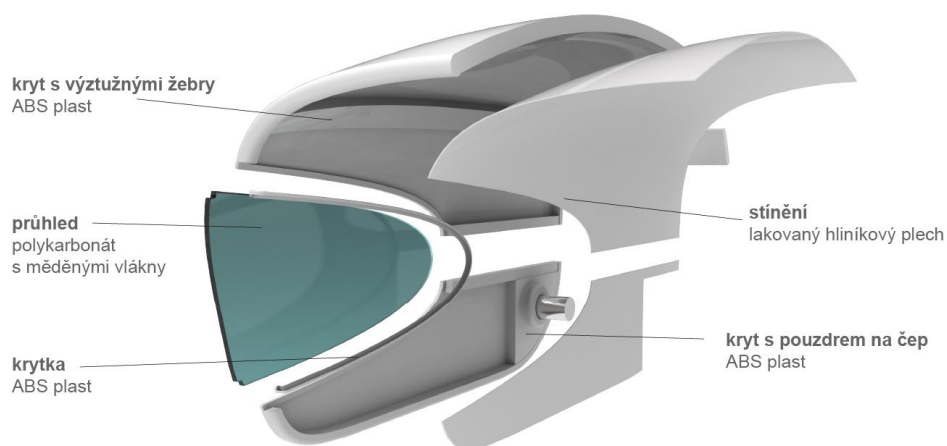
Největší poměr krytování přístroje tvoří ABS plast. Jednotlivé díly jsou připevněny k vnitřní hliníkové konstrukci nebo ke konstrukci magnetů v horní části. Pro stínění je využito hliníkových a měděných plechů.

Celou konstrukci nesou čtyři motorizovaná kola Mecanum o průměru 305 mm. Tento průměr byl zvolen díky jejich nosnosti 2 tuny na všechny čtyři kola. Je zvolen typ kol tvořený pláty z hliníkové slitiny, mezi kterými jsou upevněny pryžové válečky. [51]



Obr. 6-16 Rozpad na jednotlivé díly

Pro zvýšení pevnosti vyklápěcího krytu jsou jeho jednotlivé díly posíleny výztužnými žebry a také je zesílen jeho obvodový lem. Ve spodním dílu krytu je také zesílení v zadní části, kde tvarově vybíhá pouzdro na čep, aby byla zajištěna funkce vyklápění krytu. Průhled je ke krytování přichycen plastovými šrouby v předem připravených otvorech a spoje jsou skryty krytkou, která kopíruje parabolický tvar průhledu. Do plastových dílů je následně upevněn řezaný a ohýbaný hliníkový plech.



Obr. 6-17 Konstrukce vyklápěcího krytu

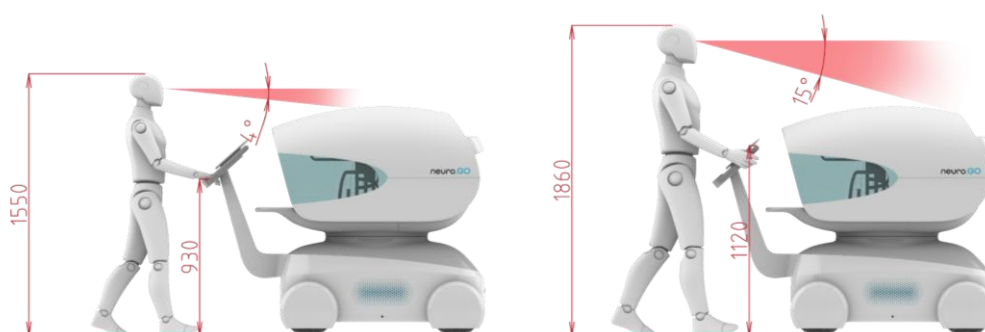
6.3 Ergonomické řešení, bezpečnost a hygiena

Hlavním faktorem, který ovlivňoval rozměry i výsledné tvarové řešení mobilní magnetické rezonance byla ergonomie. Z hlediska obsluhy zde bylo nutné zohlednit převoz zařízení, manipulaci s ním, přístup k lůžku, ovládání a také hygienu. Náročným faktorem je zde také to, že sám pacient přichází do přímého kontaktu s přístrojem a je tak pro něj nutné zajistit co nejideálnější podmínky.

6.3.1 Ergonomické řešení

Převoz

Základním pracovním úkonem, který je nutno zajistit u mobilního zařízení je jeho snadný převoz. Řízení je zajištěno pomocí chytrých madel, které detekují aplikovanou sílu a dochází tak k manévrování s přístrojem.



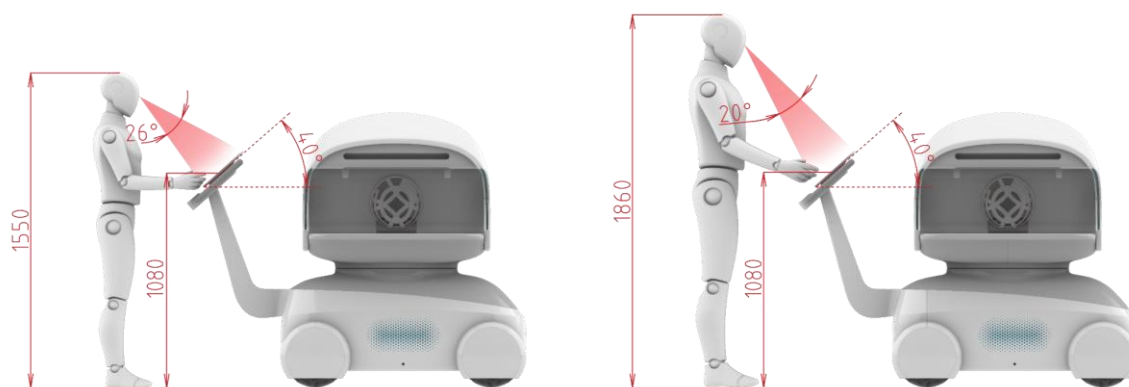
Obr. 6-18 Pojezd s postavou 5P a 95P

Délka zařízení v kombinaci s výškou 1350 mm výrazně omezuje výhled před přístroj při jeho převozu. Proto je zařízení v zadní části doplněno o kameru, která při převozu snímá prostor před zařízením a promítá snímáný obraz na displej.



Obr. 6-19 Kamera

Pro nastavení vyšetření je využíváno dotykového tabletu a bylo tak nutné definovat jeho adekvátní výšku pro snadné ovládání. Díky kaměře, která může při převozu promítat obraz před přístrojem na obrazovku, může být tablet využíván nejen k nastavení pro vyšetření ve statické poloze, ale také při převozu.



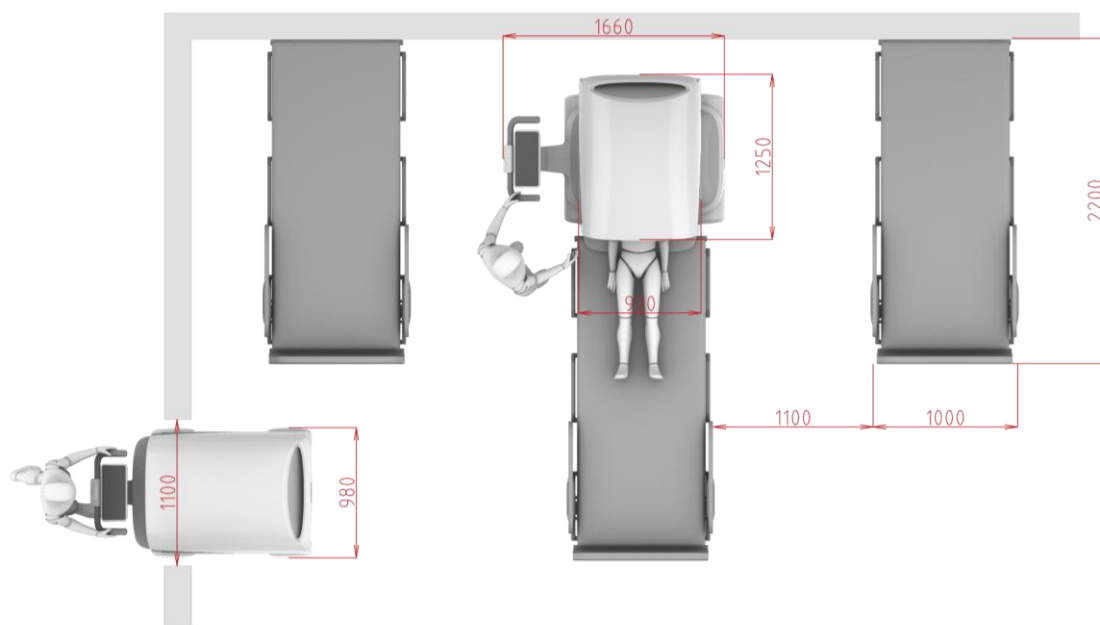
Obr. 6-20 Ovládání displeje s postavou 5P a 95P

Řídící madla kopírují tvarování displeje a jsou navrženy tak, aby jejich nakloněním docházelo k pozvolnému stoupání a lépe tak vyhovovaly pro úchop postavám vyššího i nižšího vzrůstu.



Obr. 6-21 Rozměrové řešení řídících model a displeje

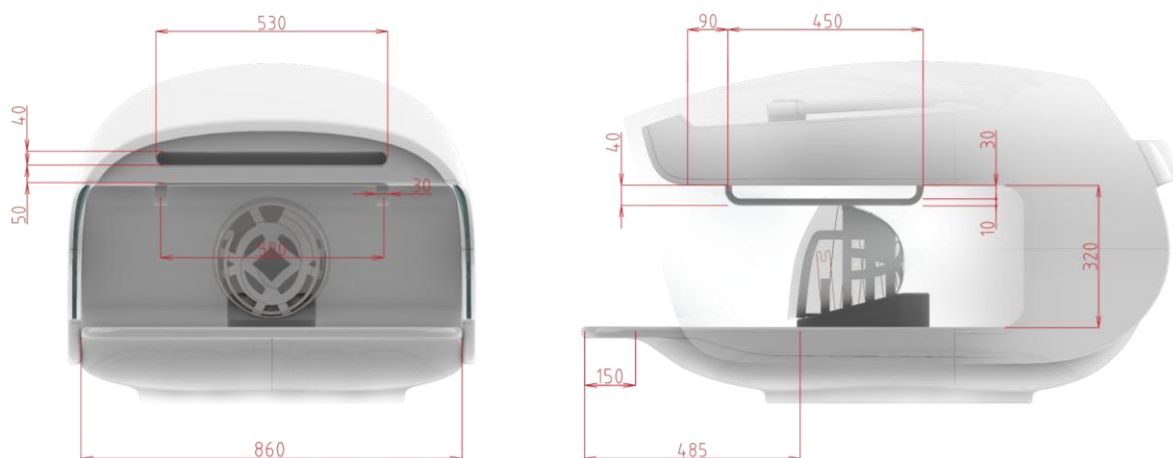
Vzhledem k průměru magnetů, je možnost kompaktních rozměrů zařízení velmi omezena. Na Obr. 6-21 je schematicky zobrazena manipulace s přístrojem v nemocničním pokoji. Jako první situace je zde zobrazen průjezd standardními nemocničními dveřmi o průchozí šířce 1100 mm. V rámci druhé situace je zde vyobrazen přístroj v průběhu vyšetření. Nemocniční lůžko je odsunuto od stěny a přístrojem je najeto za něj. Jsou zde specifikovány rozměry půdorysu, které přístroj zabírá při natočení jeho horní části.



Obr. 6-22 Manipulace v prostoru

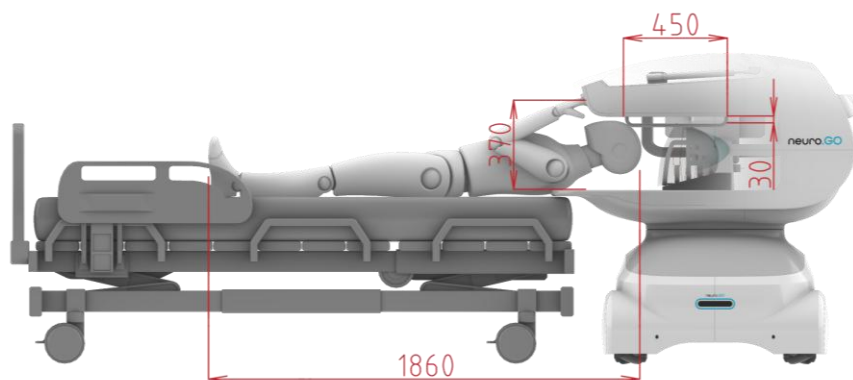
Umístění pacienta

Magnety jsou od sebe vzdáleny 320 mm. To definuje velmi limitující rozměry prostoru, do kterého musí být pacient napozicován. Pokud je to možné, přesouvá se pacient do přístroje vlastní silou. Z tohoto důvodu jsou uvnitř přístroje umístěny madla, které mohou tento úkon pacientovi výrazně usnadnit. Rozmístění madel a jejich specifická poloha vychází z testování na zjednodušeném fyzickém modelu, které je blíže popsáno v kapitole 5.1.2.



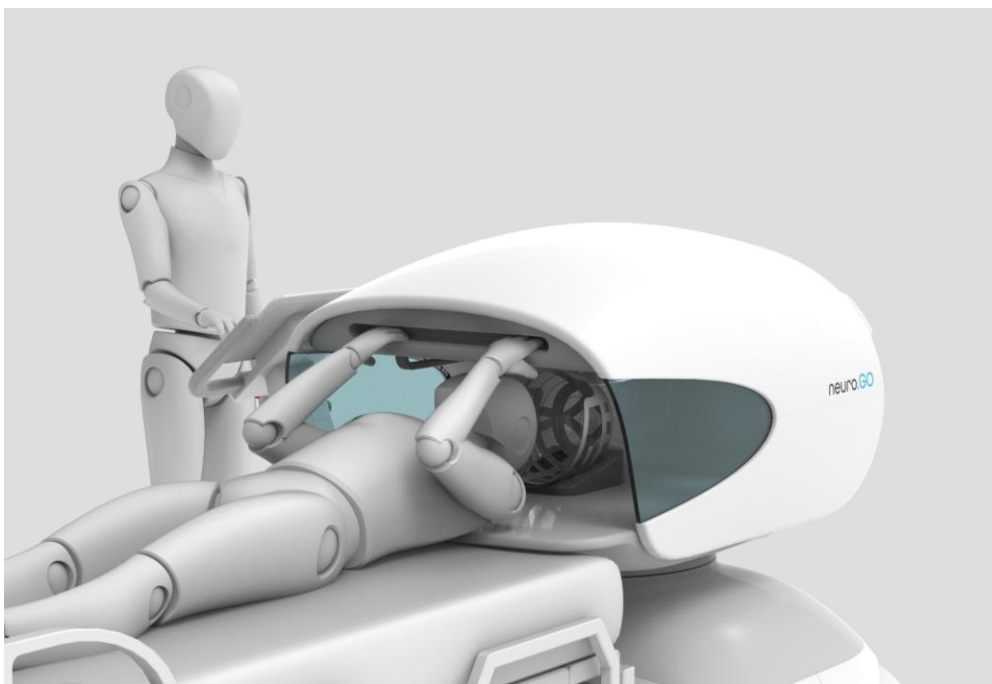
Obr. 6-23 Madla pro pozicování pacienta

Přední zploštělá část horního modulu, která vystupuje z celkového objemu se nazývá přechodový most. Ten je před vyšetřením nasunut na matraci lůžka a vytváří tak spojovací prvek mezi přístrojem a nemocničním lůžkem, na kterém probíhá vyšetření.



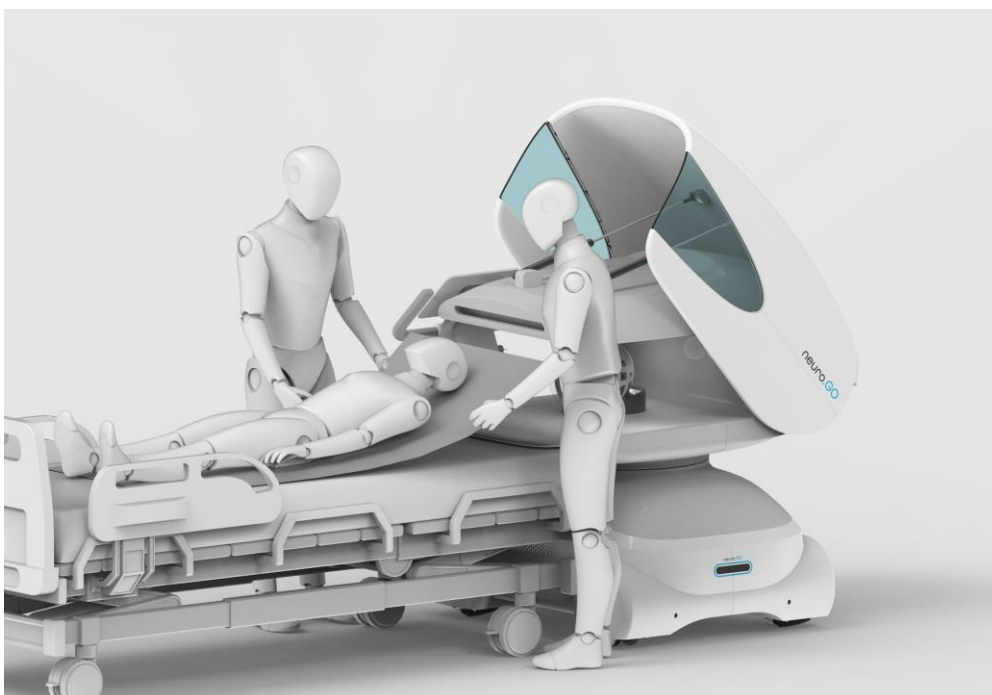
Obr. 6-24 Umístění do přístroje vlastní silou s postavou 95P

Pro přesouvání do přístroje vlastní silou je na Obr. 6-24 zvolena reprezentace postavou 95P. Vyšší osoby totiž budou mít větší problémy s umisťováním vzhledem k jejich tělesným proporcím, a proto bylo nutné právě tuto situaci vyobrazit na vybraném schématu.

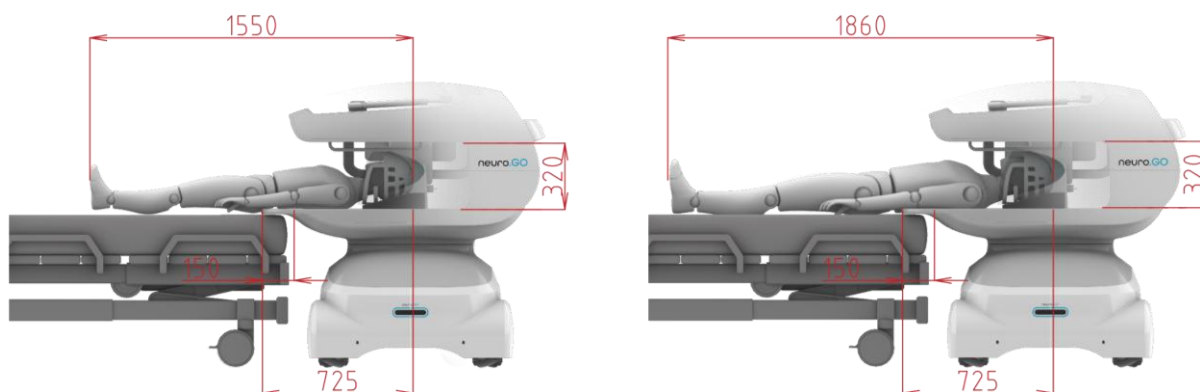


Obr. 6-25 Situace – pacient umísťujúcí se do přístroje vlastní silou

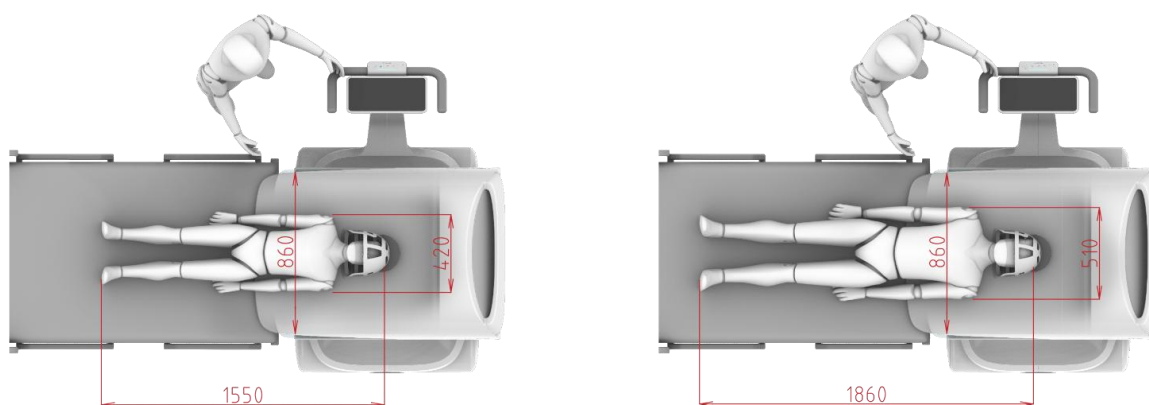
Při práci s mobilním zařízením je však nutné zohlednit také pacienty se sníženou schopností pohybu, kteří mohou pro přesun vyžadovat asistenci zdravotnického personálu. V těchto případech přesouvá personál pacienta za pomoci prostěradla, za které je taženo, dokud není pacient v požadované pozici. Pro usnadnění tohoto úkonu je také možné vyklopit radiofrekvenční štít a získat tak snazší přístup k vnitřním prostorům, hlavové cívice a pacientovi.



Obr. 6-26 Situace – pacient přesouván do přístroje za pomoci personálu

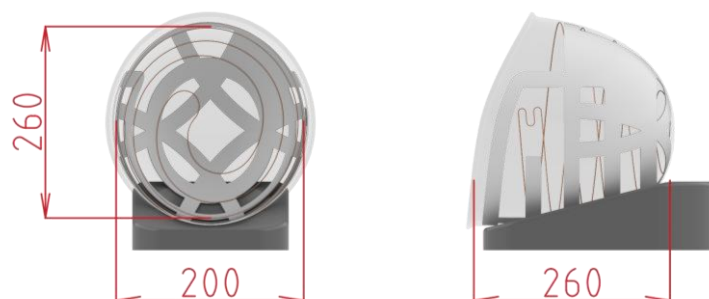


Obr. 6-27 Umístěný pacient s postavou 5P a 95P – pohled z boku



Obr. 6-28 Umístěný pacient s postavou 5P a 95P – pohled shora

Rozměry hlavové cívky byly převzaty z rozměrů hlavové cívky v zařízení Hyperfine Swoop. Ty nebyly nijak měněny, jelikož se jedná o funkční prvek a je předpokládáno, že je na stávajícím zařízení dimenzován na základě ergonomických zásad. Vnitřní rozměry hlavové cívky tedy činí (200 x 260 x 260) mm. [5]

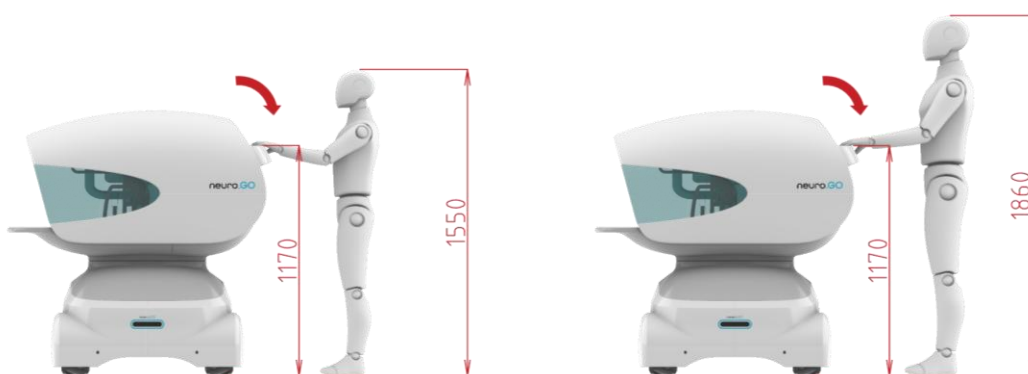


Obr. 6-29 Rozměry hlavové cívky

Manipulace s krytem

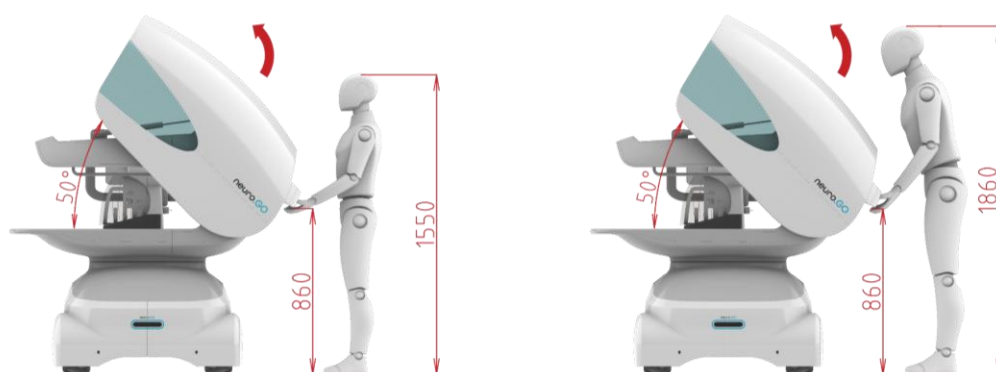
Vyklápění i zaklápění krytu je řešeno manuálně pomocí madla a dvojice plynových vzpěr, které jsou skryty v horní části modulu. Manuální ovládání bylo zvoleno z důvodu vyšší kontroly nad celým procesem, zejména při práci v bezprostřední blízkosti pacienta. Umístění madla je navrženo tak, aby obsluha při otvírání i zavírání působila silou přibližně ve středu mezi oběma vzpěrami. Díky tomu je zatížení přenášeno rovnoměrně a nedochází k nežádoucímu kroucení krytu ani k nerovnoměrnému namáhání mechanismu.

Při otevření obsluha zatlačí na madlo směrem dolů, čímž uvede kryt do pohybu a aktivuje vzpěry. Ty následně převezmou podstatnou část hmotnosti krytu a usnadňují jeho plynulé vyklápění.

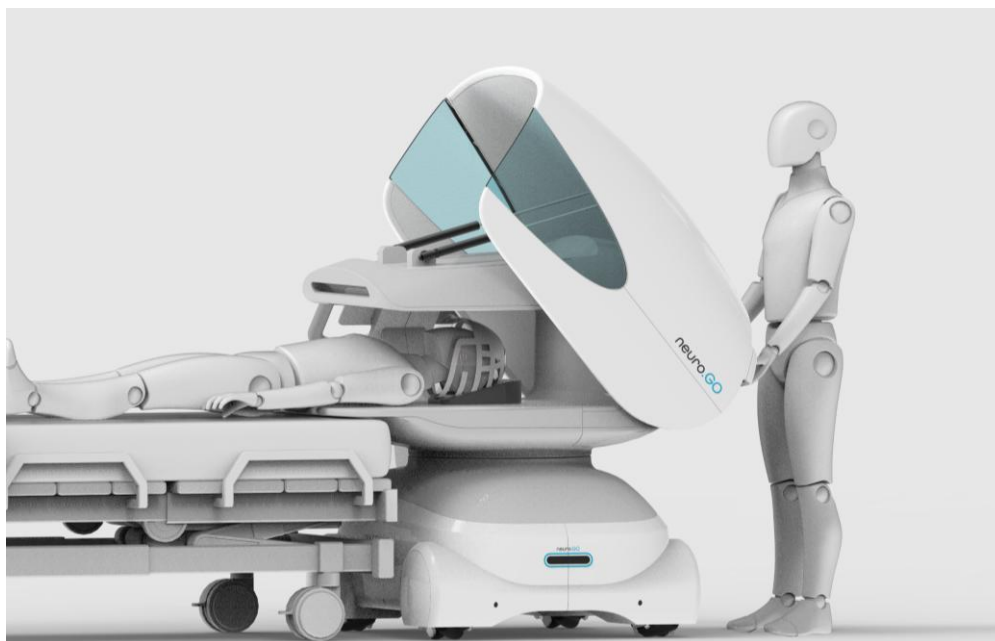


Obr. 6-30 Vyklápění RF krytu s postavou 5P a 95P

Při zaklápění je madlo podepřeno zespodu a obsluha na něj působí směrem nahoru. Tím dojde k překonání odporu plynových vzpěr a kryt je možné kontrolovaně zavřít zpět do výchozí polohy.



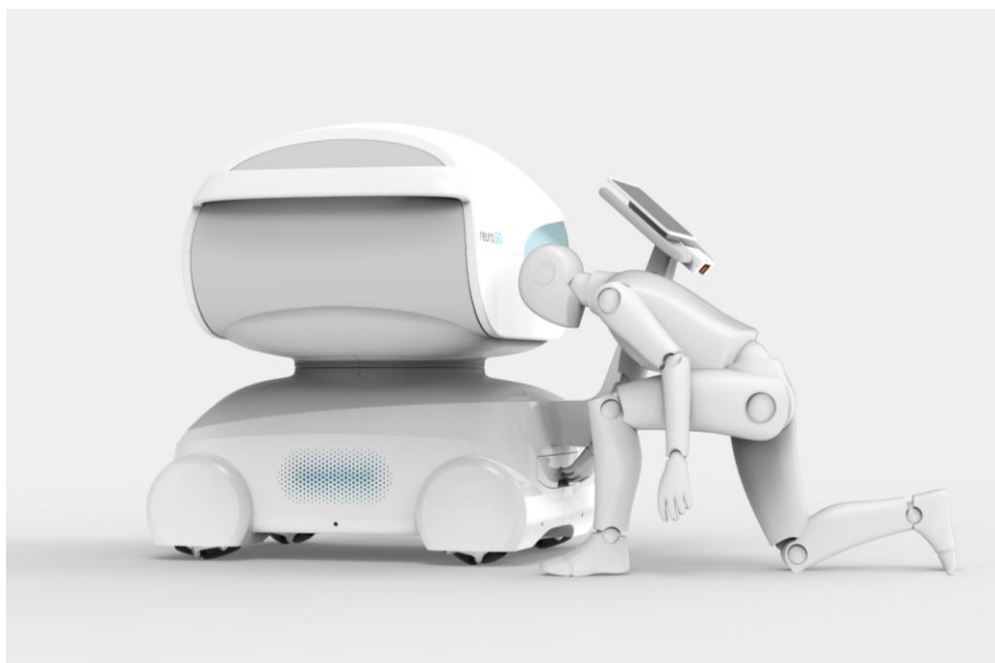
Obr. 6-31 Zaklápění RF krytu s postavou 5P a 95P



Obr. 6-32 Situace – pacient umístěný pro vyšetření, personál zavírající kryt

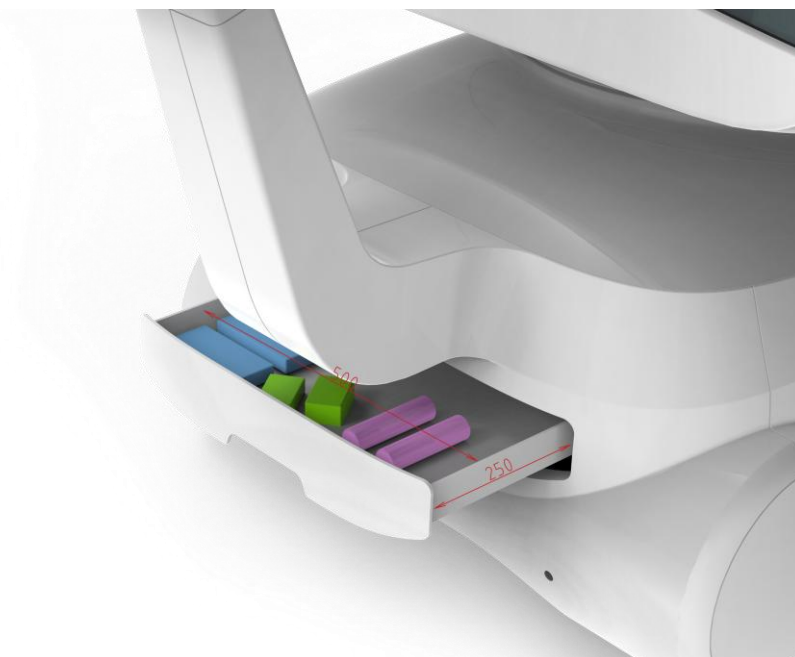
Úložný prostor

Ve spodní části zařízení pod řídicími madly je umístěn šuplík, který je určen pro uschování malých předmětů spojených s použitím mobilní magnetické rezonance. Jedná se například o tvarované pěny nebo nafukovací pytlíky, které jsou používány pro zajištění hlavy proti nechtěným pohybům v hlavové cívce. Nejčastěji jsou tyto pomůcky používány při vyšetření dětí, jelikož je hlavová cívka svými rozměry navržena na dospělého člověka.



Obr. 6-33 Situace – vysouvání šuplíku

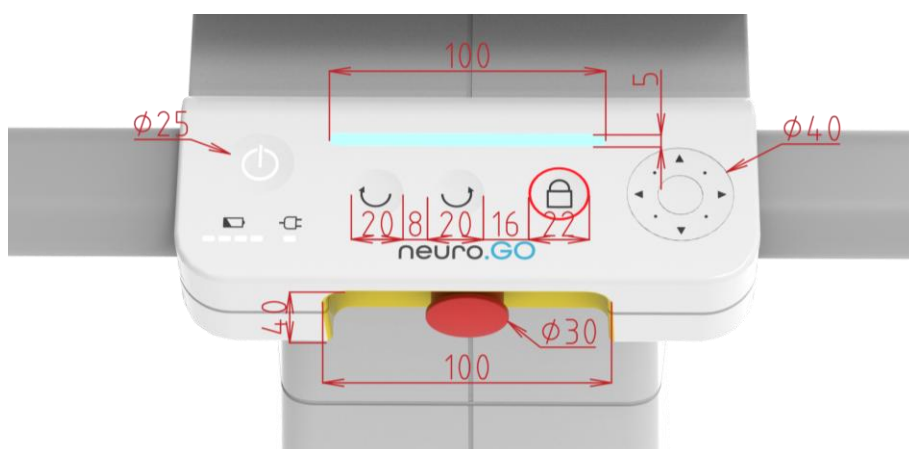
Šuplík je na přístroji umístěn nízko nad zemí, a tedy není jeho dosažení příliš pohodlné. Předpokládá se však, že zde umístěné pomůcky budou využívány jednou za čas a nikoli při každém vyšetření. Světlé rozměry šuplíku jsou (500 x 250 x 50) mm a slouží tak pro uskladnění pouze nízkých předmětů.



Obr. 6-34 Vysunutý šuplík

Ovládání

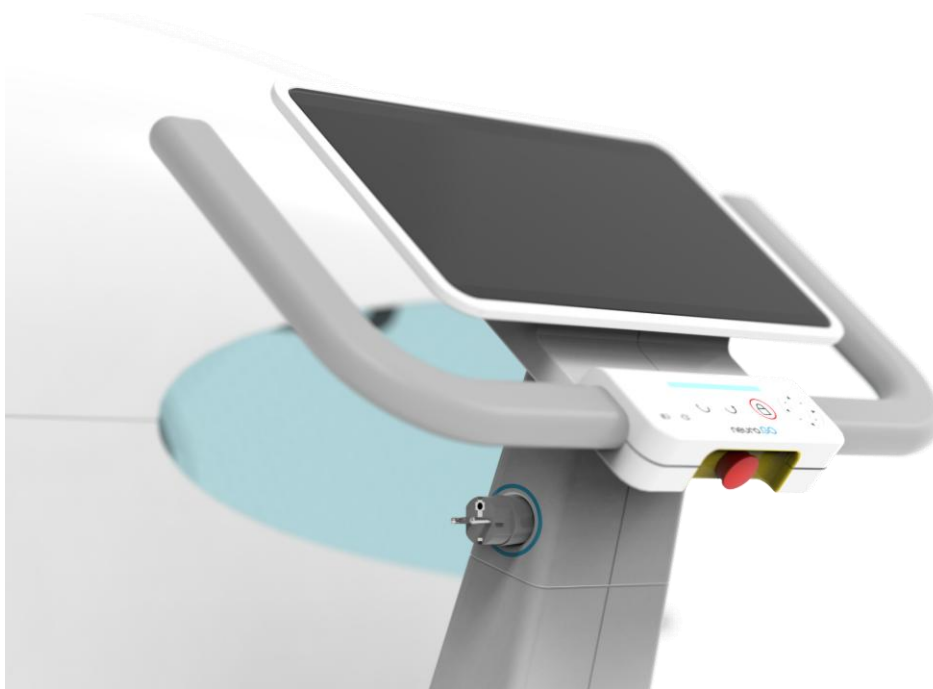
Ovládání zařízení je řešeno dotykovým tabletem umístěným mezi řídicími madly. Pod tabletem je dále umístěn ovládací panel, kde jsou tlačítka zajišťující některé z funkcí přístroje jako je například natáčení jeho horní části nebo zamykání kol. Je zde také tlačítko zapnout/vypnout a světelné kontrolky signalizující stav nabití. Funkce jednotlivých tlačítek je poté blíže popsána v podkapitole 6.4.2 Grafické řešení – Uživatelské rozhraní.



Obr. 6-35 Rozměrové řešení prvků ovládacího panelu

Součástí ovládacího panelu je také emergency stop tlačítko. To je umístěno v přední části u ostatních ovládacích prvků, aby byla zachována jeho snadná a rychlá přístupnost v případě potřeby. Tlačítko je částečně ukryto ve vybrání ovládacího panelu, kde je oproti okolním stěnám taky mírně zapuštěno, aby nedocházelo k nechtěnému stlačení, ale zároveň, aby byla zachována jeho snadná a rychlá přístupnost v případě potřeby.

V blízkosti ovládacích prvků je také napájecí kabel. Ten je umístěn na straně podpůrné nohy displeje pod levým madlem. V návrhu je počítáno s 3 m dlouhým nabíjecím kabelem, který je koncipován jako samonavíjecí.



Obr. 6-36 Emergency stop tlačítko, napájecí kabel

6.3.2 Bezpečnost a hygiena

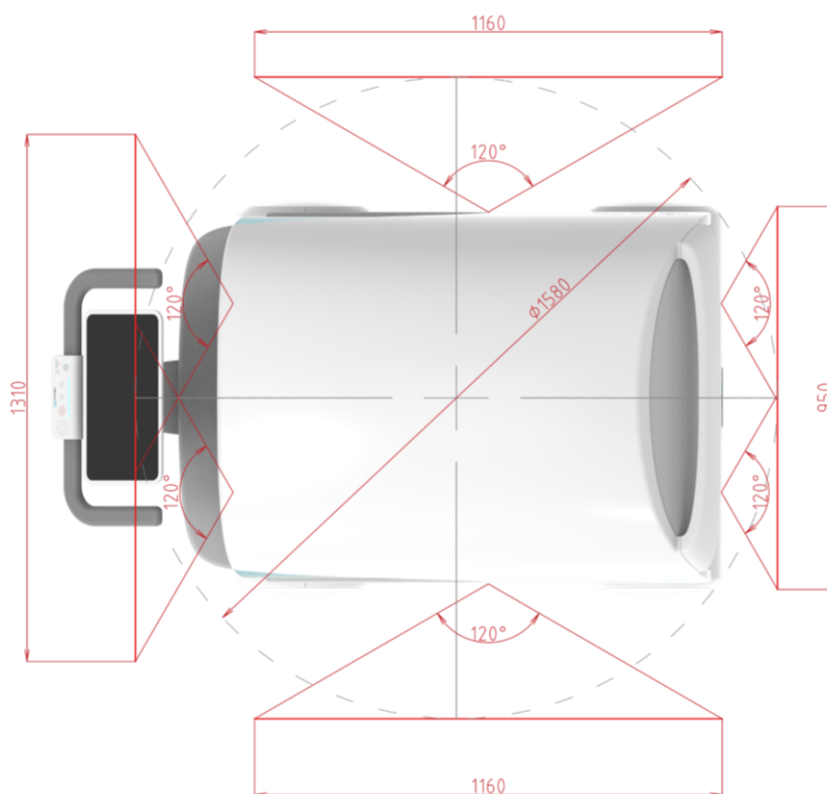
Vymezení bezpečného prostoru

Na současným mobilních magnetických rezonancích je bezpečný prostor o síle magnetického pole 5 Gauss vymezena mechanickou konstrukcí. Tuto část je nutné vysunout, a tak následně definuje tuto vzdálenost. Pro zachování kompaktních rozměrů pro převoz je nutné tuto bariéru následně opět zasunout a při převozu zařízení tak není prostor nijak vymezen.

Ve vlastním návrhu je pro vymezení bezpečného prostoru čerpána inspirace ze standardních statických magnetických rezonancí, kde je tato hranice často značena varovnou grafikou či nápisů umístěnými na podlaze.

V samotném návrhu je využito obdobného přístupu. Jsou zde použity RGB liniové lasery, které promítají paprsky na podlahu a vytváří tak kolem přístroje vizuální vymezení. Jelikož se jedná pouze o virtuální hranici, je možné ji mít zobrazenou neustále bez nutnosti úprav pro přejezdy, jako je tomu právě u stávajících mobilních MR. To je výhodné nejen pro workflow personálu, který nemusí myslet na stálé vysouvání a zasouvání bariéry, ale také z hlediska bezpečnosti a legislativy, protože během použití přístroje nedochází k okamžiku, kdy by nebyla ochranná zóna zobrazena.

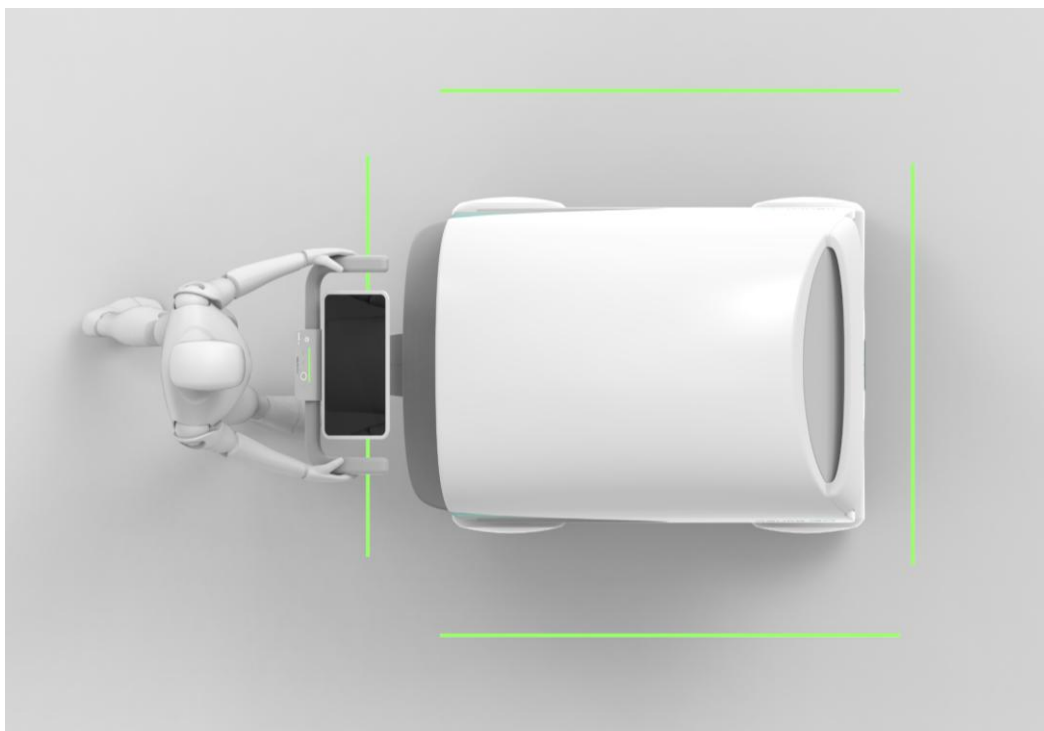
Rozměry pro vymezený prostor vychází z legislativy pro hodnotu 5 Gauss a technických podkladů přístroje Hyperfine Swoop. V dnešní době je uvedena do platnosti také benevolentnější norma s nutností vymezení magnetického pole pouze o síle 9 Gauss. Jelikož však dostupné zdroje neuvádějí, o kolik přesně se daný perimetr zmenší, byly pro vyšší relevantnost zachovány ověřené rozměry pro sílu 5 Gauss.



Obr. 6-37 Vymezení bezpečného prostoru – rozměry

Rádus o průměru 1580 mm se středem v ose konstrukce magnetů je vzhledem k technologii liniových laserů vymezen rovnými úseky. Lasery jsou umístěny po obvodu podstavy. Jednotlivé lasery promítají paprsky v úhlech 120 ° vytvářející úseky o daných délkách. [52]

Liniové lasery jsou také využity ke světelné signalizaci stavu přístroje. Ty jsou dále doplněny o světelnou kontrolku umístěnou na ovládacím panelu se stejnou funkcí, zobrazující obdobné barvy jako zrovna liniové lasery v daném režimu přístroje.



Obr. 6-38 Vymezení bezpečného prostoru liniovými lasery

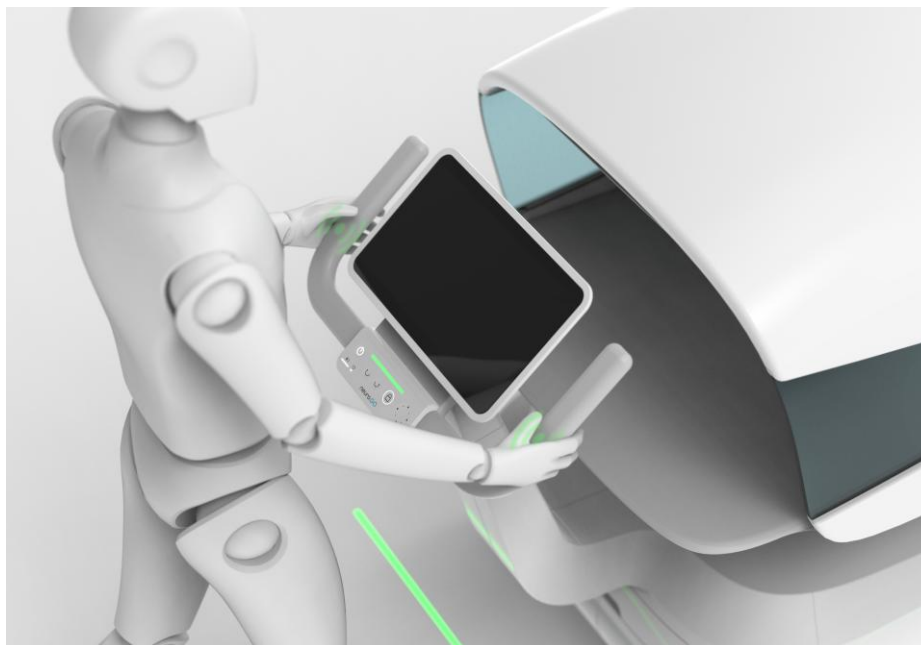
	aktivní režim - přesun
	pohotovostní režim
	probíhající vyšetření
	chybové hlášení

Obr. 6-39 Světelná signalizace

Aktivní režim, který značí zelená barva, je spuštěn, jakmile je detekován úchop obsluhy na chytrém madle a přístroj může být uveden do pohybu. Po puštění madla je aktivován tzv. pohotovostní režim, když je přístroj připraven k opětovnému rozjetí, avšak je aktivně držen na pozici pomocí motorů proti samovolnému rozjetí. Dalším světelný režim v azurovém zbarvení signalizuje probíhající vyšetření. Po pořízení snímků, a tedy ukončení vyšetření je přístroj automaticky přepnut do pohotovostního režimu a vizuálně tak informuje personál, že vyšetření již skončilo. Chybové hlášení je zde značeno červenou barvou a je spuštěno, pokud se při použití přístroje detekováno selhání například během vyšetření.

Madlo

V návrhu je počítáno s využitím chytrého madla, které je také použito u mobilního přístroje CIARTIC move (viz Obr. 2-10). Madlo je vybaveno technologií Touch sense, která pomocí senzorů detekuje úchop na madlech a následně uvolní motory kol, aby bylo možné se zahájit pojezd přístroje. [53]



Obr. 6-40 Chytré madlo – detekce úchopu

Při puštění madel zůstávají motory sice aktivní, ale drží přístroj na pozici. Jedná se o tzv. Stand by mode neboli pohotovostní režim. [53] Díky tomu je možné okamžité rozjetí přístroje při opětovném uchopení, zatím co je eliminována nežádoucí hrozba samovolného odjetí přístroje.

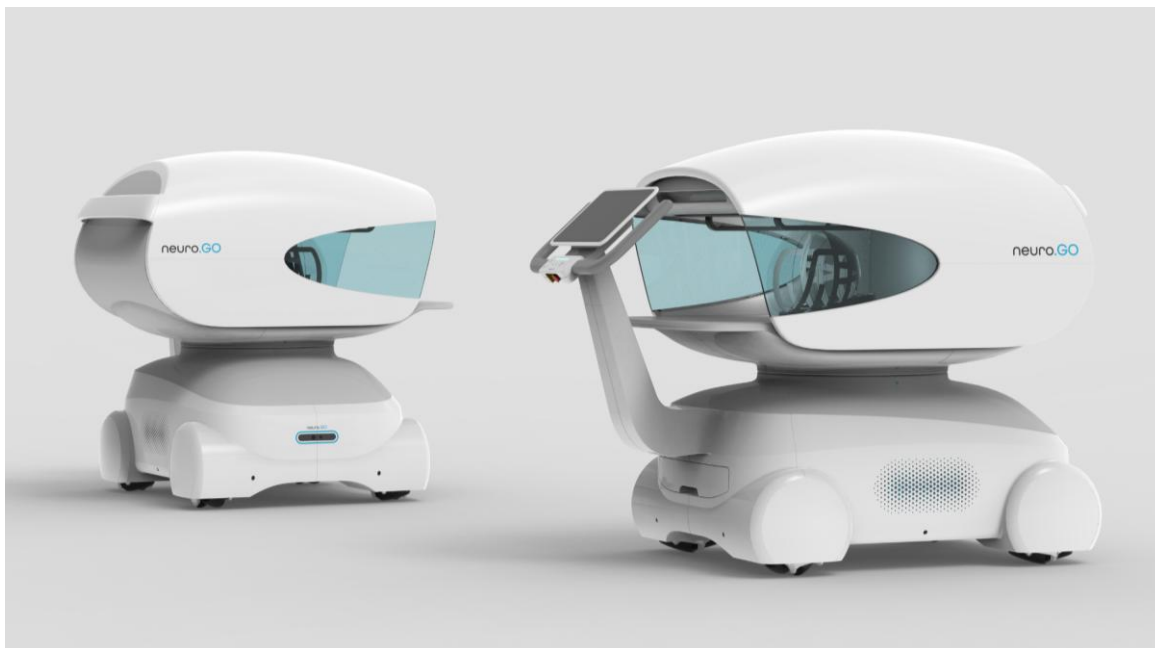
6.4 Barevné a grafické řešení

Barevné a grafické řešení navrhovaného produktu vychází především z jeho použití v nemocničním prostředí. Právě proto jsou jeho barvy laděny do neutrálních tónů, aby do tohoto prostředí přístroj lépe zapadl a nepůsobil zde rušivým dojmem.

6.4.1 Barevné řešení

Barevná řešení využívají jako hlavních barev kombinaci čistě bílé se světle šedými plochami. Tento základ se propisuje do všech variant barevných návrhů, aby byla zachována maximální čistota a profesionální vzhled zařízení. Tato kombinace je následně doplněna o výrazně zabarvené prvky.

Barevné řešení I



Obr. 6-41 Barevné řešení I

První varianta doplňuje základní kombinaci matně bílé a světle šedé o modře zbarvené grafické prvky. Výraznými aspekty jsou dále také průhledy a podkladová větrací mřížka umístěná pod větracími otvory, které jsou zbarveny navržené v obdobného modrém odstínu. Tím dochází k vizuálnímu propojení celého designu. Využitím zbarveného polykarbonátu pro takto tvarově výrazný prvek, dělá z parabolického průzoru dominantní vizuální prvek. Toto barevné řešení bylo zvoleno jako hlavní varianta, jelikož modrá odkazuje na hygienu a podporuje tak čistý vzhled zařízení.



RAL 9016

HEX #f9f9f9



RAL 7047

HEX #D2D2D2



RAL 5012

HEX #00aed6

Obr. 6-42 Barevné řešení I – zvolené barvy podle vzorníku RAL

Barevné řešení II



Obr. 6-43 Barevné řešení II

V druhé variantě barevného řešení je pro bílo-šedé tělo přístroje zvolena jako doplňující barva žlutá. Výrazný odstín žluté vyniká na neutrálně zbarveném celku a podporuje tak výraz přístroje. Oproti první variantě je zde navržen pouze bezbarvý, mírně kouřový průhled, aby s výraznou žlutou nepůsobilo zařízení příliš rušivě na okolí a samotného pacienta. Žlutá barva byla použita, aby přístroj lépe vynikl oproti okolním medicínským přístrojům, jelikož u nich není tolik běžná. Kvůli tomuto zbarvení doplňkových grafických prvků však zařízení získává spíše industriální vzhled.



RAL 9016
HEX #f9f9f9



RAL 7047
HEX #D2D2D2



RAL 1014
HEX #00aed6

Obr. 6-44 Barevné řešení II – zvolené barvy podle vzorníku RAL

Barevné řešení III



Obr. 6-45 Barevné řešení III

Pro třetí variantu byla zvolena výrazná oranžová, která obdobně jako na předchozích barvených řešeních doplňuje neutrální zbarvení přístroje. Využití oranžových odstínů je pro design lékařských zařízení poměrně typické, a proto může přístroj lépe zapadnout mezi ostatní zdravotnické přístroje používané v nemocničním prostředí. Díky tomu může být nové zařízení jako je mobilní magnetická rezonance snadněji přijato i zdravotnickým personálem. Stejně jako u druhé varianty je zde průzor ponechán bez zbarvení. V oranžovém odstínu by mohlo zařízení působit agresivním dojmem, což je zde zcela nežádoucí.



RAL 9016
HEX #f9f9f9



RAL 7047
HEX #D2D2D2



RAL 2004
HEX #f34d00

Obr. 6-46 Barevné řešení III – zvolené barvy podle vzorníku RAL

6.4.2 Grafické řešení

Uživatelské rozhraní

Ovládání přístroje je řešeno pomocí dotykového tabletu, kde probíhá primárně nastavení vyšetření a práce s pořízenými snímky. Některé funkce jsou však také duplikovány na ovládací panel umístěný mezi řídicími madly. To má zajistit rychlejší přístup k často používaných funkcí a zefektivnit tak práci s přístrojem.



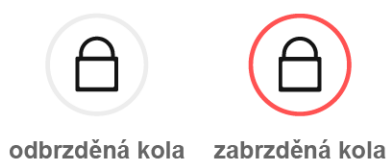
Obr. 6-47 Popis ovládacího panelu

Všechny tlačítka na ovládacím panelu jsou mírně zahloblena do jeho přední plochy, čímž dochází k jejich jasnějšímu vizuálnímu i hmatovému vymezení. V horní části přístroje je světelná signalizace související se stavem přístroje. Její funkce je blíže popsána v podkapitole 6.3.2.

V levé části ovládacího panelu je spouštěcí tlačítko. To je podsvíceno, aby bylo zřetelné, když je tlačítko v zapnutém či vypnutém stavu. Pod spouštěcím tlačítkem je následně umístěna světelná signalizace související se stavem baterie a nabíjením přístroje. Kapacita baterie je zobrazena pomocí čtyř světelných proužků, které postupně zhasínají v závislosti na klesající úrovni nabití. Indikátor nabíjení se poté rozsvítí pokaždé když je přístroj připojen ke zdroji napájení.

Následně jsou zde dvě tlačítka související s otáčením horní části přístroje. Při stisknutí jednoho z tlačítek se vyšetřovací modul přístroje natočí o celých 90 ° na jednu nebo druhou stranu. Při stisknutí druhého tlačítka v požadovaném směru se následně modul vrátí do počáteční pozice, tedy pozice pro převoz.

Dále je zde tlačítko pro aretaci kol. Jakmile je přístroj nachystán ve správné pozici pro vyšetření musí personál zamknout kola přístroje, aby nedošlo k jeho nežádoucím posuvům při umísťování pacienta. Tlačítko je také lemováno světelnou kontrolkou, která signalizuje aktuální stav kol.



Obr. 6-48 Světelná kontrolka signalizující aktuální stav kol

Standardně je kontrolka zbarvena do bílé barvy, což značí že kola nejsou ve zcela zabrzdném stavu. Při stisknutí tlačítka se symbolem zámku se kola zamknou a světelná kontrolka se zbarví do červeného odstínu. V tomto stavu není možné s přístrojem hnout, dokud není tlačítko opět stačeno a kola tak jsou odbrzděna.

Na pravé straně panelu jsou umístěny šipky značící směr pohybu přístroje. Ty slouží pouze k jemným pohybům přístroje například pro doladění jeho pozice nad nemocničním lůžkem.

Na Obr. 6-48 je návrh uživatelského rozhraní displeje. Pozadí je navrženo v tmavém režimu, aby zde lépe vynikly pořízené snímky. Pro zvýraznění důležitých nebo právě zvolených polí je v zde použito modrého odstínu. Vizualizace zobrazuje uživatelské rozhraní bezprostředně po provedeném vyšetření, kdy probíhá kontrola pořízených snímků.



Obr. 6-49 Uživatelské rozhraní

Hlavní část vizuálu tvoří pořízený snímek. Po jeho pravé straně jsou umístěny nástroje pro podrobnější kontrolu a případnou úpravu snímku. Ve spodní části jsou následně uloženy již provedené sekvence snímků na daném pacientovi a rychlá možnost přidat další sekvenci. V horní liště jsou záložky jako je seznam pacientů, nastavení vyšetření, kontrola snímků a všeobecná nastavení.

Logotyp

Pro produkt byl zvolen název neuro.GO, který v sobě spojuje dvě dominantní charakteristiky návrhu. Slovo neuro odkazuje na neuroimaging, neboli zobrazování struktur mozku a přímo tak odkazuje na hlavní funkci zařízení. Anglické slovo GO poté odkazuje na mobilitu přístroje. Vzhledem k tvarové bohatosti návrhu byl logotyp ponechán pouze jako nápis bez výrazného vizuálního znaku. Díky tomu nepoutá příliš pozornost a nenarušuje tak vzhled samotného přístroje, nýbrž jej pouze elegantně doplňuje.

Logotyp je navržen z písma All Round Gothic. Tento font byl zvolen, jelikož zde zaoblené písmo odkazuje na opakující se oválné a kruhové prvky využívané v návrhu, především pak v jeho spodní části.

neuro.GO

Obr. 6-50 Logotyp

Logotyp je na zařízení umístěn na čtyřech pozicích. Jako hlavní a nejlépe viditelné pozice byly zvoleny boční plochy vyklápěcího krytu. Díky rozsáhlé čistě bílé ploše je zde logo téměř nepřehlédnutelné. Dále je logotyp umístěn nad kamerou v zadní části přístroje a také na ovládacím panelu, kde bude snadno viditelný především pro obsluhu přístroje.



Obr. 6-51 Umístění loga

6.5 Udržitelnost produktu

Zdravotnické přístroje musí standardně podstupovat pravidelné kontroly servisním technikem, ty zajišťují spolehlivý chod přístroje a ovlivňují také životnost celé jednotky. Přístup k elektronice a ostatním vnitřním komponentům je v návrhu řešen odejmutím bočních bílých krytů podstavy. Díky tomu dojde k odhalení vnitřní konstrukce a také předních kol. Jednotlivé komponenty by tak měly být snadno přístupné pro servis a jejich případnou výměnu.

Pozitivní stránkou směrem k udržitelnosti produktu je také využití permanentních magnetů, a to díky jejich dlouhé životnosti a také tím, že pro tvoření magnetického pole samy nespotřebovávají elektrickou energii. U přístroje jako je mobilní magnetická jednotka tedy přispívají k jednoduššímu a energeticky méně náročnému řešení, než jsou stacionární systémy, které pro svůj provoz vyžadují trvalé chlazení a napájení magnetů.

Většina dílů produktu je navržena z ABS plastu a ze slitin hliníku. ABS podporuje životnost přístroje především díky dobré pevnosti a vysokou odolností vůči mechanickému opotřebení. U ABS plastu i hliníku je po ukončení životnosti také možná jejich recyklace, což vede k jejich opětovnému využití.

Jelikož se však jedná o relativně novou a stále zkoumanou technologii, lze na základě současných prototypů předpokládat, že budoucí vývoj přinese odlišnou konstrukci magnetů, která bude využívat menší množství magnetického materiálu a výrazně také omezí potřebu elektronických součástí. Na základě toho lze usoudit, že tyto produkty budou v rámci celého svého životního cyklu udržitelnější.

6.6 Hodnocení klíčových parametrů

Závěrem je důležité zhodnotit dosažení klíčových parametrů, které vycházely ze současného stavu poznání a byly blíže definovány v kapitole 4.1. Finální návrh mobilní magnetické rezonance neuro.GO se oproti stávajícím zařízením více zaměřuje na kontakt uživatelů s přístrojem a také na zefektivnění celého procesu vyšetření tímto zřízením. Toho bylo docíleno aplikací funkcí jako je otáčení horní části zajišťující snadnější přístup k lůžku, vymezením bezpečného prostoru pouze vizuálně za pomoci liniových laserů a jejich využití jako světelný komunikátor stavu přístroje. Dále také integrací holonomických kol, díky kterým je možné přístroj otočit přímo na místě a zajišťuje tak snadnou manipulaci i ve stísněných prostorech.

Z hlediska ergonomie jsou dodrženy rozměry vycházející z prostředí, ve kterém bude přístroj používán. Části přístroje, které přijdou do kontaktu s uživateli jsou navrženy tak, aby vyhovovaly osobám v rozsahu 5P až 95P a zajišťují tak pohodlnou interakci s přístrojem. Vnitřní prostor vyšetřovací části přístroje je doplněn o madla, za které se pacient může zachytit a nadzvednout tak horní část svého těla. Pokud se jedná o pacienta s omezenou mobilitou, který se sám posunout do přístroje nedokáže je možné vyklopit radiofrekvenční kryt pro zajištění snadnějšího přístupu k pacientovi pro pomoc s jeho polohováním.

Vyklopení krytu je také výhodné v rámci hygieny. Hlavová cívka a plochy, které přijdou do kontaktu s pacientem musí být po každém provedeném vyšetření důkladně dezinfikovány. Odklopením krytu vzniká otevřený prostor po bocích vyšetřovacího modulu a personál se tam snadněji dostane k těmto vnitřním částem.

Při návrhu byl také kladen důraz na stabilitu a její vizuální prezentaci v samotném vzhledu přístroje. Kvůli vysoko položenému těžišti, jehož umístění definuje především hmotnost konstrukce magnetů bylo nutné vyloučit hrozbu překlacení přístroje, a to především při zavěšení pacienta za madlo. Toto bylo ověřeno a vyloučeno modelovým výpočtem. Propsání vizuální stability do samotného designu bylo docíleno zakrytováním kol a jejich mírným přesunutím do stran mimo objem zařízení.

7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout design mobilní magnetické rezonance určené pro použití v nemocnicích. Vyšetření pomocí tohoto přístroje probíhá přivezením přístroje k lůžku pacienta, kde také probíhá samotné vyšetření. Vzhledem k těmto požadavkům bylo nutné při návrhu zohlednit nejen ergonomické a hygienické nároky na tento přístroj, ale také prvky interiéru nemocnic, které mimo jiné ovlivňují rozměry přístroje.

Z provedených analýz vyplynulo, že mobilní magnetické rezonance jsou zatím poměrně málo rozšířeným typem zdravotnického zařízení. Na trhu se vyskytuje jen omezené množství dostupných řešení a jejich design působí spíše konstrukčně než jako promyšlený zdravotnický produkt. Proto byla analýza rozšířena také o další mobilní zdravotnická zařízení, která jsou v nemocnicích již více rozšířená a disponují tak řadou ověřených ergonomických i uživatelských prvků. Tyto aspekty sloužily jako důležitý zdroj inspirace při vlastním návrhu mobilní magnetické rezonance.

Finální návrh je konstrukčně rozdělen na spodní podpůrnou část s elektronikou a pojezdem a horní otočný modul s konstrukcí magnetů, mezi které je pro vyšetření umístěna hlava pacienta. Otočení horní části o 90 ° na obě strany umožňuje snadnější přístup k nemocničnímu lůžku. Pro zajištění dobré manévrovatelnosti s přístrojem jsou v návrhu použita všesměrná kola, která umožňují pohyb přístroje v různých směrech a také jeho otočení kolem vlastního středu přímo na místě. To je výhodné především pro manipulaci ve stísněných prostorech nebo mezi nemocničními lůžky.

Důležitou součástí návrhu je také zajištění snadnější interakce s přístrojem pro pacienta. S tím souvisí jeho polohování pro vyšetření. Vnitřní část vyšetřovacího modulu je doplněna o madla, která pacientovi usnadňují posun do vnitřních prostorů přístroje. Pokud pacient není schopen přesunu vlastní silou, je možné odklopit radiofrekvenční kryt, který obklopuje magnety a zabraňuje interferenci RF vlnění. Odklopení krytu umožňuje personálu lepší přístup k pacientovi i vnitřním částem přístroje. Toto řešení je výhodné také z hlediska hygieny, jelikož hlavová cívka a plochy přicházející do kontaktu s pacientem musí být po každém vyšetření důkladně dezinfikovány.

V návrhu jsou dále integrovány liniové lasery, které promítají světelné úsečky na podlahu okolo zařízení a vytváří tak vizuální hranici tzv. bezpečného prostoru kolem přístroje, které vymezuje určitou sílu magnetického pole. Tento parametr je u magnetických rezonancí definován legislativními požadavky. Toto oproti stávajícím řešení usnadňuje práci personálu, jelikož u těchto řešení je vymezení řešeno mechanickou konstrukcí, kterou je pro každé použití nutné vysouvat a potom opět zasouvat pro převoz zařízení. Navržené liniové lasery s RGB rozsahem zároveň slouží jako světelný komunikátor aktuálního stavu přístroje. Přepnutí barev tak například signalizuje ukončení prováděného vyšetření nebo výstražným červeným zabarvením upozorňuje personál na vyskytlou chybu.

Řízení přístroje neuro.GO je řešeno pomocí chytrých madel. V těch jsou zabudovány senzory detekují úchop, při kterém aktivují asistenční motory pro pohyb zařízení. Při puštění madel drží přístroj pozici, což zabraňuje jeho samovolnému pohybu a je tak podpořena bezpečnost při práci s přístrojem. Komplexní ovládání zařízení je v návrhu řešeno dotykovým tabletem. Ten je však doplněn o ovládací panel, kde jsou duplikovány určité často využívané funkce, pro zrychlení celkového procesu práce s přístrojem.

Výrazným limitem návrhu však zůstává samotný princip uspořádání magnetů, které jsou umístěny nad sebou a vytvářejí tak pouze nízký prostor pro polohování pacienta. I přes snahu o zlepšení přístupu zůstává manipulace s pacientem a jeho umístění do vyšetřovací polohy do určité míry omezené samotným charakterem technologie. Dalším omezením je také skutečnost, že některé technické parametry musely být vzhledem k omezenému množství dostupných informací pouze odhadnuty.

Z výše zmíněných faktů vyplývá, že navržený koncept splňuje vymezené cíle a je schopen fungovat v nemocničním prostředí a napomoci tak zrychlení workflow personálu při provádění vyšetření hlavy magnetickou rezonancí.

V návaznosti na stávající prototypy mobilních MR lze do budoucna předpokládat výraznou inovaci v oblasti jejich technologií. Vývoj může směřovat zejména ke zmenšení konstrukce magnetů a snížení celkové hmotnosti přístroje. Díky tomu by mohlo dojít k pohodlnějšímu používání těchto zařízení a k rozšíření možností jejich využití. Mobilní magnetické rezonance by tak v budoucnu mohly najít uplatnění nejen ve velkých nemocnicích, ale také v menších zdravotnických centrech nebo ve speciálně upravených sanitních vozech.

8 VÝSLEDEK VÝZKUMU PODLE RIV

Druh výsledku	Funkční vzorek
Název výsledku	Mobilní magnetická rezonance
Autoři	Viktorie Hlobilová
Místo uložení výsledku	VUT Brno

Tab. 8-1- Výsledek výzkumu podle RIV

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Innovative Healthcare: Point-of-Care Diagnostics*. Online. M.I.C.E Labs. C2025. Dostupné z: <https://www.micelabs.in/innovative-healthcare-point-of-care-diagnostics/>. [cit. 2025-05-17].
- [2] *Portable, bedside, low-field magnetic resonance imaging for evaluation of intracerebral hemorrhage*. Online. In: Nature Communications. 2021. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25441-6>. [cit. 2026-02-02].
- [3] *Meet Swoop Portable MR Imaging System*. Online. In: HYPERFINE. C2025. Dostupné z: <https://20597499.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/20597499/Brochures%20and%20White%20Papers/Swoop%20System%20Brochure.pdf>. [cit. 2026-01-12].
- [4] HOBBS, Katie. *Hyperfine Enrolls First Patients in Swoop CARE PMR Study*. Online. Medical device and diagnostic industry. 2024. Dostupné z: <https://www.mddionline.com/neurological/hyperfine-enrolls-first-patients-in-swoop-care-pmr-study>. [cit. 2026-01-12].
- [5] *Ultra-low-field MR brain imaging*. Online. HYPERFINE. C2025. Dostupné z: <https://hyperfine.io/>. [cit. 2025-05-17].
- [6] *Hyperfine Swoop™ Portable MRI System RSNA 2021 Exhibit*. Online. In: YouTube. 2021. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=QvDcSOdicRc>. [cit. 2025-05-17].
- [7] *Hyperfine Announces FDA Clearance of a New Next-Generation Swoop*. Online. HYPERFINE. C2025. Dostupné z: <https://hyperfinemri.com/about/news/press-release-hyperfine-announces-fda-clearance-of-a-new-next-generation-swoop-system-powered-by-optive-ai-software-delivering-a-transformative-leap-in-image-quality>. [cit. 2026-01-13].
- [8] *AI-Powered Portable MRI*. Online. In: HYPERFINE. C2025. Dostupné z: https://hyperfinemri.com/assets/files/Swoop_System_%28v2%29_Summary_Specifications_Sheet_-_LBL-003695_v2.pdf?utm_source=chatgpt.com. [cit. 2026-01-13].
- [9] *Empowering timely stroke intervention with rapid, point of care diagnostics*. Online. Wellumio. C2025. Dostupné z: <https://www.wellumio.com/>. [cit. 2025-05-17].

- [10] *Stroke-focused New Zealand MRI startup lines up foothold in Bay Area*. Online. San Francisco Business Times. 2025. Dostupné z: <https://www.bizjournals.com/sanfrancisco/news/2025/01/06/stroke-portable-mri-wellumio-new-zealand.html>. [cit. 2026-01-13].
- [11] *SOMATOM On.site*. Online. In: SIEMENS Healthineers. C2026. Dostupné z: https://cdn0.scrvt.com/39b415fb07de4d9656c7b516d8e2d907/03eab50ba36741bf/33159ae1eef6/siemens-healthineers-ct_somatom_on.site_icu_flyer.pdf. [cit. 2026-01-13].
- [12] *Mobile Head CT Scanner*. Online. In: Reddot. C2026. Dostupné z: <https://www.reddot.org/project/somatom-onsite-45924>. [cit. 2026-01-13].
- [13] *Siemens Healthineers SOMATOM On.site*. Online. ICE Advancing Imaging Professionals. C2026. Dostupné z: <https://theicecommunity.com/siemens-healthineers-somatom-on-site-2/>. [cit. 2026-01-13].
- [14] *Siemens' Somatom On.site Head CT Scanner Integrated Into Mobile Stroke Unit*. Online. Endovascular Today. 2025. Dostupné z: <https://evtoday.com/news/siemens-somatom-onsite-head-ct-scanner-integrated-into-mobile-stroke-unit>. [cit. 2026-02-08].
- [16] *CIARTIC Move*. Online. Reddot. C2026. Dostupné z: <https://www.reddot.org/zh/project/ciartic-move-69906>. [cit. 2026-01-14].
- [19] *CIARTIC Move, self-driving 3D C-arm | Siemens Healthineers AG*. Online. In: YouTube. 2025. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=C38aOZRZQO8>. [cit. 2026-01-14].
- [21] *CIARTIC Move, self-driving 3D C-arm*. Online. In: UX DESIGN AWARDS. 2025. Dostupné z: <https://ux-design-awards.com/winners/2025-1-ciartic-move-self-driving-3d-c-arm>. [cit. 2026-01-17].
- [23] *GM85 uživatelská příručka*. Online. In: Registr Zdravotnických Prostředků. Dostupné z: <https://eregpublicsecure.ksrzis.cz/Registr/RZPRO/ZdravotnickýProstředek/Detail/140212>. [cit. 2026-01-19].
- [24] *Samsung GM85*. Online. In: Chesapeake medical systems. Dostupné z: <https://chesapeakemedicalsystems.com/shop/samsung-gm85/>. [cit. 2026-01-19].

- [25] *GM85 Elite*. Online. SAMSUNG. C2026. Dostupné z: <https://usa.samsunghealthcare.com/radiography/mobile/gm85-elite>. [cit. 2026-01-22].
- [26] *MOBILETT Elara Max*. Online. SIEMENS Healthineers. C2016-2025. Dostupné z: <https://www.siemens-healthineers.com/cz/radiography/mobile-x-ray/mobilett-elara-max>. [cit. 2025-05-17].
- [27] *MOBILETT Elara Max*. Online. In: SIEMENS Healthineers. C2026. Dostupné z: https://cdn0.scrvt.com/39b415fb07de4d9656c7b516d8e2d907/7e11e2055024ba21/f5eb3ad7f8d5/siemens-healthineers_xp_mobilett_elara_max_brochure.pdf. [cit. 2026-01-17].
- [28] Ethical, legal, and policy challenges in field-based neuroimaging research using emerging portable MRI technologies: guidance for investigators and for oversight. Online. *Journal of Law and the Biosciences*. 2024, roč. 2024, č. 1, s. 61. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/jlb/lxae008>. [cit. 2025-05-17].
- [29] *MAGNETOM Terra*. Online. SIEMENS Healthineers. C2026. Dostupné z: <https://www.siemens-healthineers.com/cz/magnetic-resonance-imaging/7t-mri-scanner/magnetom-terra>. [cit. 2026-01-27].
- [30] *The Medical RF and Magnetic Shielding Specialists Worldwide*. Online. IMEDCO - The Shielding Company. C2025. Dostupné z: <https://www.imedco.com/>. [cit. 2026-01-28].
- [31] *Advanced Image Reconstruction*. Online. In: HYPERFINE. C2025. Dostupné z: https://hyperfine.io/assets/pdfs/Hyperfine%20C%20Inc.%20DL%20Image%20Reconstruction%20Brochure%20-%20LBL-001363%20v1.pdf?utm_source=Website&utm_medium=Link&utm_campaign=Hyperfine-Inc-DL-Image-Reconstruction-Brochure-LBL-001363-v1. [cit. 2026-01-26].
- [32] *Portable magnetic resonance imaging methods and apparatus* (USA). Michael Stephen POOLE. Přihl.: 2020. Uděl.: 2022. US 11,366,188 B2.
- [33] *Rotatable magnet methods and apparatus for a magnetic resonance imaging system* (USA). Christopher Thomas McNULTY. Přihl.: 2019. Uděl.: 2020. US 10,698,048 B2.

- [34] *Transitioning From the 5 Gauss to the 9 Gauss Threshold to Prevent Unintended Programming Changes for Certain Active Implants*. Online. In: PubMed. 2024. Dostupné z: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11896924/>. [cit. 2026-01-31].
- [35] ČSN EN IEC 60601-2-33 ed. 4, *Zdravotnické elektrické přístroje - Část 2-33: Zvláštní požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost diagnostických přístrojů využívajících magnetické rezonance*. Ed. 4. 2024.
- [36] *MRI/RF SHIELDING*. Online. In: MarShield. 2019. Dostupné z: https://marshield.com/wp-content/uploads/2019/05/MarShield_MRIRFShieldingBrochure_WEB.pdf. [cit. 2026-02-02].
- [37] *Magnetic Resonance Imaging (MRI)*. Online. National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering (NIBIB). Dostupné z: <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/magnetic-resonance-imaging-mri>. [cit. 2026-02-04].
- [38] *Imaging Principles in Magnetic Resonance Imaging*. Online. Radiology Key. Dostupné z: <https://radiologykey.com/imaging-principles-in-magnetic-resonance-imaging/>. [cit. 2026-02-04].
- [39] *About MRI*. Online. In: The Merritt Laboratory. C2026. Dostupné z: <https://merritt.biochem.med.ufl.edu/about-mri/>. [cit. 2026-02-04].
- [40] *THE SWOOP SYSTEM*. Online. In: HYPERFINE. C2025. Dostupné z: https://www.hyperfinemri.com/assets/files/Swoop_System_v2_Brochure_-_LBL-003648_v2.pdf. [cit. 2026-02-03].
- [40] *Robot à roues Mecanum*. Online. In: CASTEL'LAB LE FABLAB MJC DE CHÂTEAU-RENAULT. <https://chanterie37.fr/fablab37110/doku.php?id=start>. 2025. Dostupné z: <https://chanterie37.fr/fablab37110/doku.php?id=start:arduino:robots:mecanum>. [cit. 2026-05-09].
- [41] *AI-enhanced image quality*. Online. 2024. Dostupné z: <https://x.com/Hyperfine/status/1861418268793180549>. [cit. 2026-05-21].

- [41] LYNCH, Kevin M. a PARK, Frank C. *Video Supplements for Modern Robotics*. Online. In: NORTHWESTERN UNIVERSITY. Northwestern. C2026. Dostupné z: https://modernrobotics.northwestern.edu/nu-gm-book-resource/13-2-omnidirectional-wheeled-mobile-robots-part-1-of-2/?utm_source=chatgpt.com. [cit. 2026-05-09].
- [42] *Omni Wheel Arrangement Evaluation Method Using Velocity Moments*. Online. In: MDPI. 2023. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/3/1584>. [cit. 2026-05-11].
- [43] SUNFOUNDER. *Understanding Mecanum Wheel Movement Principles*. Online. SUNFOUNDER. SunFounder. C2024. Dostupné z: https://docs.sunfounder.com/projects/zeus-car-dev/en/latest/scratch/sc4_move_wheels.html?utm_source=chatgpt.com. [cit. 2026-05-09].
- [43] *The Complete Guide to Lithium vs Lead Acid Batteries*. Online. Power-Sonic. C2026. Dostupné z: <https://www.power-sonic.com/lithium-vs-lead-acid-batteries/>. [cit. 2026-02-06].
- [44] *Mecanum Wheel Robot Basic Lesson*. Online. In: HIWONDER. Hiwonder Docs. C2025. Dostupné z: https://docs.hiwonder.com/projects/TurboPi/en/advanced/docs/3.mecanum_wheel_control.html?utm_source=chatgpt.com. [cit. 2026-05-09].
- [44] *Eleganza 5*. Online. Linet. C2021. Dostupné z: https://eleganza2.linet.com/en/Linet/health-care/beds/intensive-care-beds/eleganza-5?utm_source=chatgpt.com. [cit. 2026-05-09].
- [45] *Multicare X*. Online. Linet. C2024. Dostupné z: <https://www.linet.com/cs/produkty/luzka-transportni-luzka-kresla/intenzivni-pece/multicare-x>. [cit. 2026-05-09].
- [46] *Hillrom Progressa+ Bed - A True ICU Bed*. Online. Baxter Hillrom. C2026. Dostupné z: <https://www.hillrom.com/en/products/progressa-plus-hospital-bed/>. [cit. 2026-05-09].
- [47] *Centrella Smart+ Hospital Bed*. Online. Baxter Hillrom. C2026. Dostupné z: <https://www.hillrom.com/en/products/centrella-smart-bed/>. [cit. 2026-05-09].

- [48] *Citadel*. Online. Arjo. C2026. Dostupné z: <https://www.arjo.com/cs-cz/products/medical-beds/intensive-and-critical-care/citadel-patient-therapy-system/citadel/>. [cit. 2026-05-09].
- [49] BUREŠ, Jiří. *Valivé tření (valivý odpor)*. Online. ConVERTER. C2002. Dostupné z: <https://www.converter.cz/tabulky/valive-treni.htm>. [cit. 2026-05-09].
- [50] *Článek Li-Ion 195Ah 3,7V CALB*. Online. Mivvy ENERGY. C2021-2025. Dostupné z: <https://www.mivvyenergy.cz/cs/bateriove-clanky/clanek-li-ion-195ah-37v-calb.html>. [cit. 2026-05-09].
- [51] *All Size Omnidirectional Mecanum Wheels*. Online. In: RoboCT. Dostupné z: <https://www.roboct-global.com/mobile-robot-components/mecanum-wheel/all-size-omnidirectional-mecanum-wheels.html>. [cit. 2026-05-17].
- [52] *RGB Laser Module Solutions*. Online. IADIY Technology. C2026. Dostupné z: <https://www.iadiy.com/RGB-laser-module>. [cit. 2026-05-18].
- [53] *CIARTIC Move Robotic C-arm*. Online. SIEMENS Healthineers. C2026. Dostupné z: <https://www.siemens-healthineers.com/cz/surgical-c-arms-and-navigation/mobile-c-arms/ciartic-move>. [cit. 2026-01-14].

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

°	stupeň
%	procento
Ø	průměr
<i>pMRI</i>	portable Magnetic Resonance
<i>MRI</i>	Magnetic Resonance Imaging
<i>MR</i>	Magnetic Resonance
<i>ULF</i>	Ultra Low Field
<i>CT</i>	computed tomography
<i>RTG</i>	rentgen
<i>JIP</i>	jednotka intenzivní péče
<i>ARO</i>	anesteziologicko-resuscitační oddělení
<i>FDA</i>	Food and Drug Administration
<i>AI</i>	umělá inteligence
<i>mT</i>	militesla
<i>V</i>	volt
<i>W</i>	watt
<i>kg</i>	kilogram
<i>mm</i>	milimetr
<i>T</i>	tesla
<i>2D/3D</i>	dvourozměrný/ trojrozměrný
<i>UX</i>	User Experience
<i>MHz</i>	megahertz
<i>RF</i>	radiofrekvenční
<i>Li-ion</i>	lithium-iontová baterie
<i>m</i>	metr
<i>Nm</i>	newtonmetr
<i>5P,95P</i>	5. percentil, 95. percentil

11 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 PRISMA diagram	16
Obr. 2-2 Segmentace zdrojů	17
Obr. 2-3 Hyperfine Swoop 1. generace	18
Obr. 2-4 Ovládací panel přístroje Swoop	19
Obr. 2-5 Hyperfine Swoop 2. generace	21
Obr. 2-6 Prototyp Wellumio Axana.....	22
Obr. 2-7 Teleskopický mechanismus.....	23
Obr. 2-8 Somatom On.site.....	24
Obr. 2-9 Jednotka Somatom On.site integrovaná do specializované sanitky.....	25
Obr. 2-10 CIARTIC move	26
Obr. 2-11 Kola přístroje CIARTIC move.....	27
Obr. 2-12 Dálkový ovladač přístroje CIARTIC move	27
Obr. 2-13 Samsung GM85 Elite.....	28
Obr. 2-14 MOBILETT Elara Max.....	30
Obr. 2-15 Konstrukce místnosti magnetické rezonance	31
Obr. 2-16 Popis vnějších částí mobilní magnetické rezonance.....	32
Obr. 2-17 Diagram vnitřních komponent	32
Obr. 2-18 Konstrukce magnetů, půdorysný řez elektronikou.....	33
Obr. 2-19 Hlavová cívka.....	34
Obr. 2-20 Konstrukce magnetů mobilní magnetické rezonance	35
Obr. 2-21 Princip interakce protonů při MR	36
Obr. 2-22 Varianty zobrazovacích sekvencí získané systémem Swoop.....	37
Obr. 2-23 Snímek před a po AI rekonstrukci obrazu	37
Obr. 2-24 Schéma pohybu kol Mecanum	38
Obr. 2-25 Holonmická kola – Omni wheel, Mecanum wheel	39
Obr. 2-26 Porovnání výkonnostních parametrů lithiových a olověných baterií	39
Obr. 3-1 Ilustrace vymezené problematiky.....	46
Obr. 4-1 Strom cílů	47

Obr. 4-2 Průhledové schéma.....	48
Obr. 4-3 Skici – Tvarování	49
Obr. 4-4 Skici – Variantní studie.....	50
Obr. 4-5 Varianta I	51
Obr. 4-6 Rozměry – Varianta I	51
Obr. 4-7 Varianta II	52
Obr. 4-8 Rozměry – Varianta II	53
Obr. 4-9 Varianta III.....	53
Obr. 4-10 Rozměry – Varianta III	54
Obr. 5-1 Moodboard.....	57
Obr. 5-2 Testování model na fyzickém modelu.....	60
Obr. 5-3 Testování model na fyzickém modelu.....	60
Obr. 5-4 Schéma rozložení hmotnosti vnitřních komponent	63
Obr. 5-5 Pozice těžiště při natočení horní části o 90 °	64
Obr. 5-6 Působení sil při zavěšení pacienta	64
Obr. 5-7 Rozpis odhadovaných nákladů.....	65
Obr. 6-1 Finální návrh	66
Obr. 6-2 Přístroj u nemocničního lůžka.....	67
Obr. 6-3 Přístroj v pozici pro převoz	67
Obr. 6-4 Natočení horní části přístroje	68
Obr. 6-5 Vyklopený radiofrekvenční kryt	68
Obr. 6-6 Zadní část přístroje	69
Obr. 6-7 Půdorysný pohled.....	70
Obr. 6-8 Detail průhledů	70
Obr. 6-9 Pohled zezadu.....	71
Obr. 6-10 Natočení horní části přístroje	71
Obr. 6-11 Detail kol Mecanum	72
Obr. 6-12 Návaznost ovládacího panelu.....	73
Obr. 6-13 Perspektivní pohled	73
Obr. 6-14 Uspořádání vnitřních komponent.....	74

Obr. 6-15 Rozměrové řešení.....	74
Obr. 6-16 Rozpad na jednotlivé díly.....	75
Obr. 6-17 Konstrukce vyklápěcího krytu	76
Obr. 6-18 Pojezd s postavou 5P a 95P	76
Obr. 6-19 Kamera	77
Obr. 6-20 Ovládání displeje s postavou 5P a 95P.....	77
Obr. 6-21 Rozměrové řešení řídicích model a displeje.....	78
Obr. 6-22 Manipulace v prostoru	78
Obr. 6-23 Madla pro pozicování pacienta	79
Obr. 6-24 Umístění do přístroje vlastní silou s postavou 95P	79
Obr. 6-25 Situace – pacient umísťující se do přístroje vlastní silou	80
Obr. 6-26 Situace – pacient přesouván do přístroje za pomoci personálu	80
Obr. 6-27 Umístěný pacient s postavou 5P a 95P – pohled z boku	81
Obr. 6-28 Umístěný pacient s postavou 5P a 95P – pohled shora.....	81
Obr. 6-29 Rozměry hlavové cívky	81
Obr. 6-30 Vyklápění RF krytu s postavou 5P a 95P	82
Obr. 6-31 Zaklápění RF krytu s postavou 5P a 95P	82
Obr. 6-32 Situace – pacient umístěný pro vyšetření, personál zavírající kryt.....	83
Obr. 6-33 Situace – vysouvání šuplíku	83
Obr. 6-34 Vysunutý šuplík	84
Obr. 6-36 Rozměrové řešení prvků ovládacího panelu	84
Obr. 6-37 Emergency stop tlačítko, napájecí kabel	85
Obr. 6-38 Vymezení bezpečného prostoru – rozměry	86
Obr. 6-39 Vymezení bezpečného prostoru liniovými lasery	87
Obr. 6-40 Světelná signalizace	87
Obr. 6-41 Chytré madlo – detekce úchopu	88
Obr. 6-42 Barevné řešení I	89
Obr. 6-43 Barevné řešení I – zvolené barvy podle vzorníku RAL	89
Obr. 6-44 Barevné řešení II	90
Obr. 6-45 Barevné řešení II – zvolené barvy podle vzorníku RAL	90

Obr. 6-46 Barevné řešení III	91
Obr. 6-47 Barevné řešení III – zvolené barvy podle vzorníku RAL	91
Obr. 6-48 Popis ovládacího panelu	92
Obr. 6-49 Světelná kontrolka signalizující aktuální stav kol	93
Obr. 6-50 Uživatelské rozhraní	93
Obr. 6-51 Logotyp.....	94
Obr. 6-52 Umístění loga.....	94

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1 Vymezení problému	45
Tab. 4-1 Hodnocení variantních návrhů	55
Tab. 5-1 Analýza rozměrů vybraných nemocničních lůžek	59
Tab. 8-1- Výsledek výzkumu podle RIV	99

13 SEZNAM PŘÍLOH

Zmenšené postery:

- zmenšený sumarizační poster A4
- zmenšený ergonomický poster A4
- zmenšený technický poster A4
- zmenšený designérský poster A4
- fotografie modelu ke stavu k 22.05.2026

Samostatné přílohy:

- sumarizační poster A1
- ergonomický poster A1
- technický poster A1
- designérský poster B1
- fyzický model 1:4

SUMARIZAČNÍ POSTER

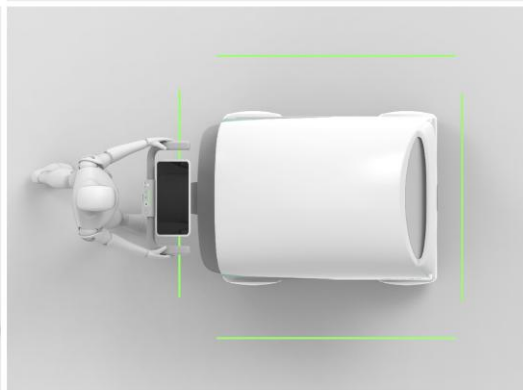
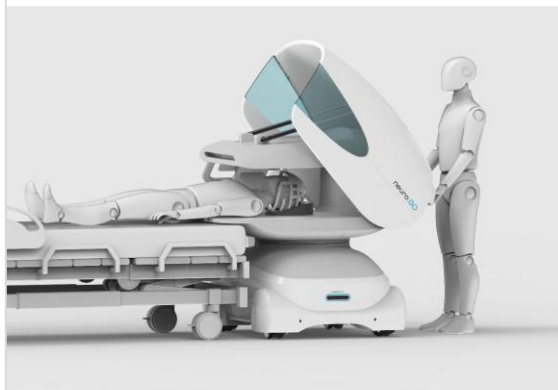
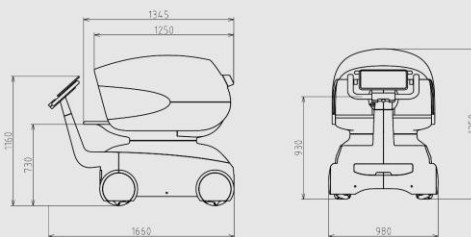
mobilní magnetická rezonance



neuro.GO

Je návrh mobilní magnetické rezonance určené pro snímání mozku pacienta přímo u nemocničního lůžka. Koncept reaguje na potřebu pohodlnějšího polohování přístroje v blízkosti lůžka, kde je prostor často omezen dalším zdravotnickým vybavením. Otočná horní část tento proces částečně řeší a usnadňuje tak přístup k hlavě pacienta.

Součástí návrhu je také vyklápěcí kryt zajišťující odstínění magnetů, který zlepšuje dostupnost k udrbžbě vnitřních ploch přístroje a při pozicování pacienta s omezenou hybností zajišťuje snadnější přístup pro jeho polohování. Snadné manévrování s přístrojem je podpořeno všesměrnými koly, díky kterým lze zařízení otáčet i ve stísněném nemocničním prostředí. Ochranná zóna související s působením magnetického pole je vymezena liniovými lasery, které zároveň slouží jako vizuální komunikace aktuálního stavu zařízení. Barevné řešení kombinuje neutrální bílé a světle šedé odstíny s modrými akcenty. Tato kombinace podporuje čistý a profesionální vzhled produktu.



DESIGN MOBILNÍ MAGNETICKÉ REZONANCE / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Viktorie Hlobilová / Vedoucí práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2025/26



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

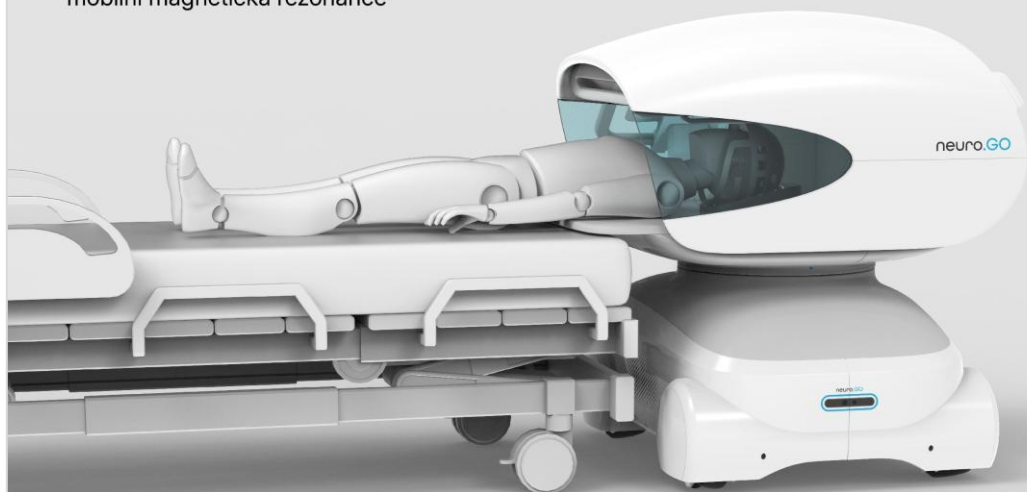


ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ



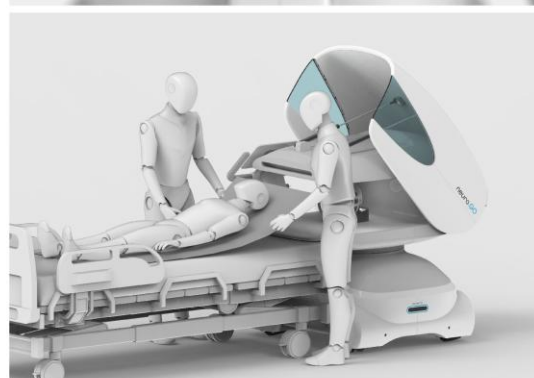
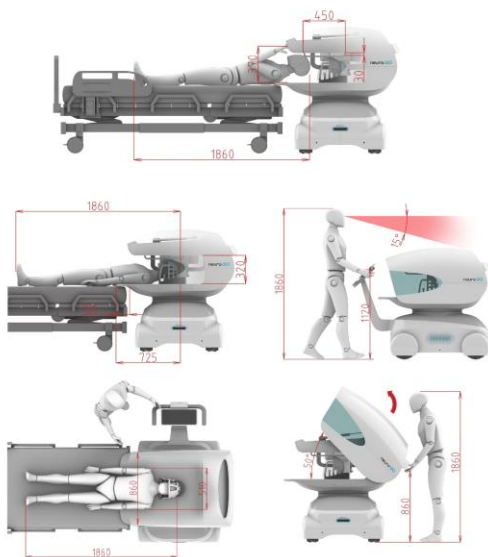
odbor
průmyslového
designu

ERGONOMICKÝ POSTER mobilní magnetická rezonance



neuro.GO

Ergonomické řešení je zaměřeno především na pohodlné pozicování pacienta ve vnitřní části přístroje a také bezpečný převoz zařízení. Vnitřní madla umožňují pacientovi snadnější posun do správné vyšetřovací polohy a zároveň mu poskytují oporu při přesunu zpět na lůžko. Při převozu přístroje pomáhá kamera umístěná v přední části, která promítá obraz prostoru před zařízením na displej. Díky tomu má personál lepší přehled při pohybu a může bezpečněji reagovat na překážky v okolí.



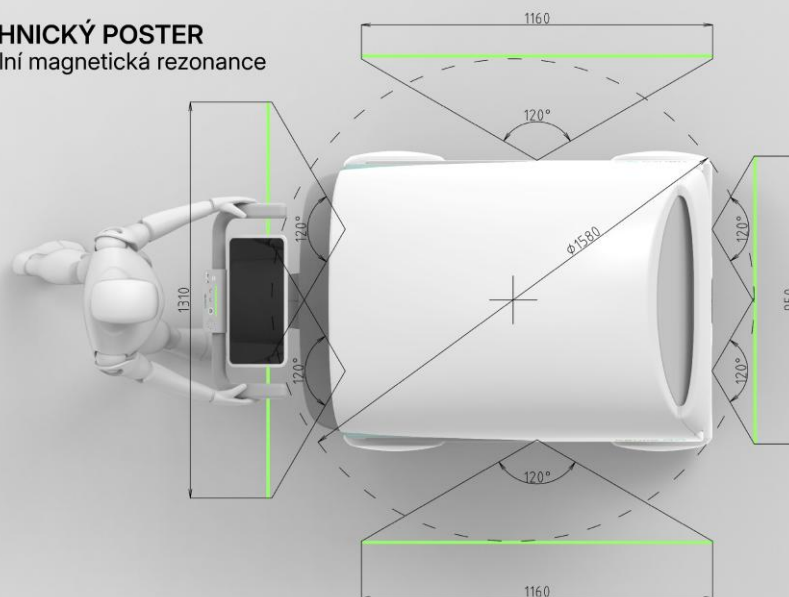
DESIGN MOBILNÍ MAGNETICKÉ REZONANCE / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Viktorie Hlobilová / Vedoucí práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2025/26



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ
V BRNĚ

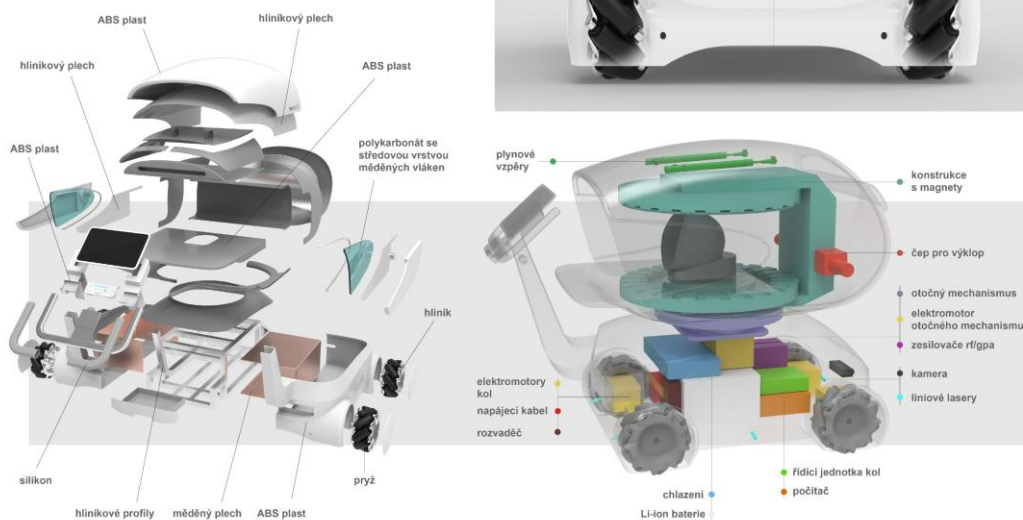


TECHNICKÝ POSTER mobilní magnetická rezonance



neuro.GO

Zařízení využívá lineové lasery pro vizuální vymezení ochranné zóny související s působením magnetického pole. Přesnější manipulaci ve stísněných prostorech nemocnice umožňují všesměrná kola typu Mecanum. Krytování přístroje je navrženo z ABS plastu s ohledem na jeho odolnost a snadnou hygienickou údržbu. Vnitřní konstrukce je tvořena hliníkovými díly, které zajišťují potřebnou pevnost a také slouží jako stínící prvky.



DESIGN MOBILNÍ MAGNETICKÉ REZONANCE / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Viktorie Hlobilová / Vedoucí práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2025/26



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
FAKULTA STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ
V BRNĚ



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ



odbor
průmyslového
designu

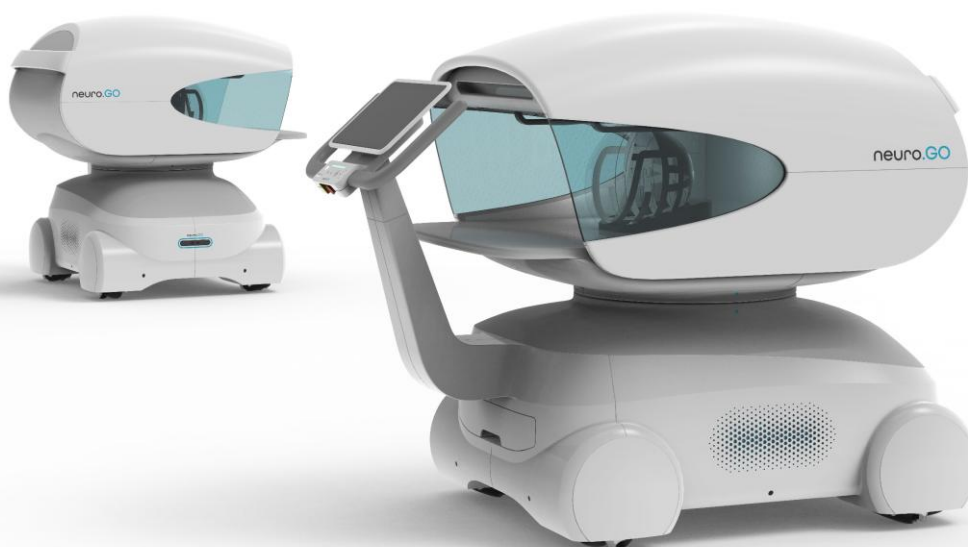
Mobilní magnetická rezonance

2026

Viktorie Hlobilová

vedoucí: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.

Neuro.GO je mobilní magnetická rezonance určená pro snímání mozku pacienta přímo u nemocničního lůžka. Hlavní myšlenkou návrhu bylo vytvořit zařízení, které lépe zapadá do nemocničního prostředí, zjednodušuje práci zdravotnického personálu a současně působí přívětivěji na pacienta. Koncept proto propojuje mobilitu, snadnější přístup k lůžku, bezpečnostní prvky a intuitivní komunikaci stavu přístroje do jednoho kompaktního celku. Dominantním prvkem návrhu je horní vyšetřovací část, jejíž tvarování vychází z inspirace pilibau. Tím je zrcadlen způsob použití zařízení a zároveň je podpořen organický a bezpečně působící charakter návrhu. Celkový vzhled přístroje je následně založen na čistých neutrálně zbarvených plochách s měkčenými přechody, což napomáhá snadné hygienické údržbě a lepšímu začlenění do nemocničního prostředí.



FOTOGRAFIE MODELU K 22.05.2026

