



Bakalářská práce

Tepelné čerpadlo

Heat Pump

Autor:

Filip Malata

Studijní program:

(B) bakalářský

Studijní obor:

(B212) Design

Vedoucí:

MgA. Martin Tvarůžek

Praha, 06/2022

© Filip Malata

České vysoké učení technické v Praze, 2022

Klíčová slova: *tepelné čerpadlo, vytápění, ohřev, chlazení, technické zařízení*

Key words: *heat pump, pump, heating, cooling, industrial equipment*



FAKULTA
ARCHITEKTURY
ČVUT V PRAZE

2/ ZADÁNÍ bakalářské práce

jméno a příjmení: **Filip Malata**

datum narození: **2.3.2001**

akademický rok / semestr: **2021/2022 / letní semestr**

obor: **Design**

ústav: **Ústav designu**

vedoucí bakalářské práce: **MgA. Martin Tvarůžek**

téma bakalářské práce: **Průmyslové zařízení**

viz přihláška na BP

zadání bakalářské práce: **Tepelné čerpadlo**

1/ popis zadání projektu a očekávaného cíle řešení

Návrh vnitřní a vnější jednotky tepelného čerpadla včetně řady zahrnující různé výkonnosti.

2/ popis závěrečného výsledku, výstupy a měřítko zpracování

Analytická část, koncepční varianty, tvůrčí část, vizualizace a model

3/ seznam případných dalších dohodnutých částí BP

Kniha 2x

Portfolio

Plakát B1

Model v měřítku

CD elektronická data BP

Datum a podpis studenta **1.3.2022**

Malata

Datum a podpis vedoucího DP **1.3.2022**

M. Tvarůžek

registrováno studijním oddělením dne

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta architektury	
Autor: Filip Malata	
Akademický rok / semestr: AR 2021-22 / LS	
Ústav číslo / název: 15150 / Design	
Téma bakalářské práce - český název: Průmyslové zařízení	
Téma bakalářské práce - anglický název: Industrial equipment	
Jazyk práce: Český	
Vedoucí práce:	MgA. Martin Tvarůžek
Oponent práce:	Ing. David Semrád
Klíčová slova (česká):	tepelné čerpadlo, vytápění, dřev, chlazení
Anotace (česká):	Bakalářská práce se zabývá návrhem tepelného čerpadla. Záměrem práce bylo poskytnout esteticky a funkčně univerzální řešení, při dodržení technických, ekonomických a výrobních nároků na produktu. Skrze studium konkurence jsem dohledal nevýhody aktuálních řešení, ke kterým jsem dodal potenciální řešení. Výsledkem mé práce je produktová řada tepelných čerpadel o dvou vnitřních a dvou venkovních jednotek, která je konkurence schopná a má potenciál pro tržní úspěšnost.
Anotace (anglická):	This bachelor's thesis focuses on designing a heat pump. The aim of my project was to offer an aesthetically and functionally universal solution, while fulfilling all necessary technical, economic, and manufacturing requirements for such a product. I found several weak points of current designs through thorough competition analysis and proposed adequate solutions. The result of my work is a heat pump product line consisting of two types of indoor and two types of outdoor units with the potential to be competitive and achieve market success.

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s „Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne 3.6.2022

Malata

Podpis autora bakalářské práce

Tento dokument je nedílnou, povinnou součástí bakalářské práce i portfolia (titulní list)

Anotace

Bakalářská práce se zabývá návrhem tepelného čerpadla. Záměrem práce bylo poskytnout esteticky a funkčně univerzální řešení, při dodržení technických, ekonomických a výrobních nároků na produktu. Skrze studium konkurence jsem dohledal nevýhody aktuálních řešení, ke kterým jsem dodal potenciální řešení. Výsledkem mé práce je produktová řada tepelných čerpadel o dvou vnitřních a dvou venkovních jednotek, která je konkurence schopná a má potenciál pro tržní úspěšnost.

Annotation

This bachelor's thesis focuses on designing a heat pump. The aim of my project was to offer an aesthetically and functionally universal solution, while fulfilling all necessary technical, economic, and manufacturing requirements for such a product. I found several weak points of current designs through thorough competition analysis and proposed adequate solutions. The result of my work is a heat pump product line consisting of two types of indoor and two types of outdoor units with the potential to be competitive and achieve market success.

Obsah

1. Úvod	7
2. Analytická část	9
3. Výstup analýzy a formulace vize	23
4. Proces navrhování.....	26
5. Prototypování a testování – ověřování variant.....	75
6. Výsledný návrh.....	79
7. Technická dokumentace	89
8. Závěr a reflexe.....	93
9. Zdroje – literatura.....	95

1. Úvod

Průmyslová zařízení jsou kategorií produktů, kterou jsem během svého dosavadního studia neměl šanci prozkoumat. Jedná se o přístroje sledující špičku technologického vývoje. Je u nich kladen obrovský důraz na funkci, efektivitu a často i ekonomii výroby. Na druhou stranu bývá design takovýchto zařízení často opomenut i přes to, že se může jednat o výrobky určené do domácností.

Na základě těchto poznatků jsem zadání této práce specifikoval na design tepelného čerpadla. K tomuto rozhodnutí jsem došel kvůli tomu, že se jedná o přístroj, u kterého je důležitá jak funkčnost, tak i flexibilita, výrobní stránka i potenciál přidané hodnoty v podobě estetiky. Flexibilita je nezbytná, protože čerpadlo může být využíváno v libovolných podnebných podmínkách, v různých formách zástavby a v budovách s rozdílnou vnitřní rozlohou. Zároveň se u tepelného čerpadla jedná o produkt, který může skončit i v prostoru domácnosti. Z byznysového hlediska musí být výroba tepelného čerpadla konkurenceschopná, ale i ekonomická, jelikož cílem jakékoliv firmy je ziskovost. Pro můj projekt to znamená zajištění jednoduchosti výroby jak materiálově, tak i v podobě lidské práce při montáži, instalaci a servisu čerpadla během jeho životního cyklu. Kromě zmiňovaných aspektů by tepelné čerpadlo mohlo těžit z přidané estetické hodnoty, jelikož diferenciací funkční stránky výrobků na trhu je u průmyslových zařízení poměrně obtížná.

V projektu se plánuji zabývat funkční stránkou zařízení. Procesně to pro mě znamená určení vnitřní zástavby pomocí dohledání principu fungování tepelného čerpadla, potřebných součástí, jejich rozměrů a vzájemného propojení.

Dalším klíčovým bodem je rešerše a analýza trhu na základě čeho si vytvořím přehled o konkurenci kvůli diferenciaci svého návrhu. Dále nastuduji ekonomickou stránku výroby čerpadel v podobě nákladů, cen, prodejnosti a možností uplatnění. Zároveň mi to doplní informace ohledně použitých součástí, materiálů a postupů při výrobě.

Bude potřeba i definovat cílovou skupinu. Její očekávání a požadavky budou důležité pro kvalitní zpracování projektu s tržním potenciálem. Také mi to pomůže při identifikaci prostoru pro zlepšení aktuálních řešení.

Vycházejí z dohledaných informací k funkčním částem čerpadla, mohu začít formovat koncepci mého návrhu. Výsledkem by měl být koncept vnitřní zástavby, na jehož základě budu schopný zpracovat celkovou hmotu zařízení a dále i vlastní návrh. Zároveň si i definuji aspekty na které je potřeba dát pozor, možné úpravy

oproti aktuálním řešením a případně vhodné principy, které může převzít a zakomponovat do svého návrhu.

S podrobně zpracovanou teoretickou stránkou projektu se můžu vrhnout na praktickou stránku, během které budu řešit vzhled, výrobitelnost, výrobní postupy a provozní aspekty produktu. Estetická stránka může diferenciovat zařízení od konkurenčních řešení, čímž můžu dosáhnout tržní výhody. Zároveň se jedná o zařízení často instalované v rodinných domech, kde je určitě kladen větší důraz na vzhled, nežli v prostorech komerčních či průmyslových. Vzhledem k variabilitě aplikace je však potřeba zachovat jistou neutrálnost a univerzalitu. U konkrétních variant řešení je však potřeba ověřit výrobitelnost kvůli ekonomické stránce, aby přidaná hodnota nebyla na úkor nerealizovatelnosti. Zároveň je potřeba zvažovat veškeré další etapy života tepelného čerpadla – od jeho instalace a průběžného servisu, až po jeho běžnou existenci například na zahradě u rodinného domu.

Cílem práce je najít kompromis mezi zmiňovanými aspekty. Návrh se musí splnit očekávání cílové skupiny, vyčlenit se od existujících řešení, dodržet veškeré funkční prvky a zároveň musí být realizovatelný a ekonomický.

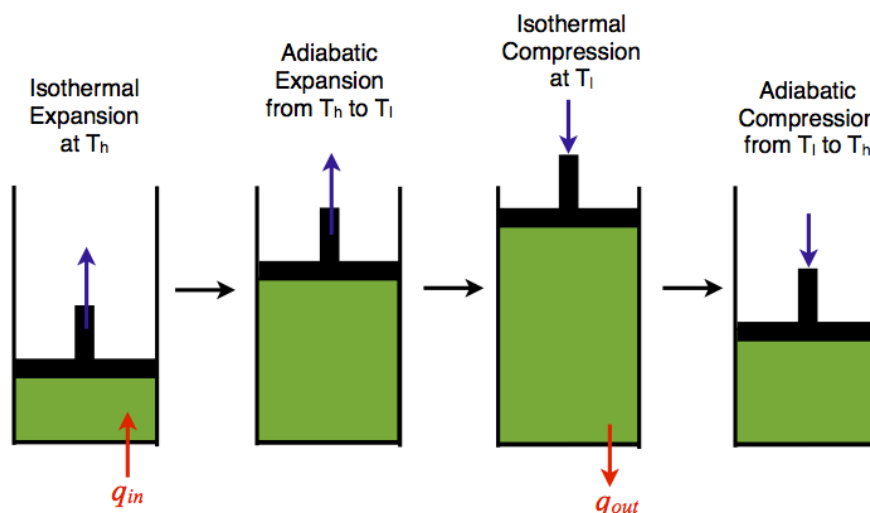
2. Analytická část

2.1 Princip

Prvním krokem mé práce na tomto projektu byla rešerše principu fungování tepelného čerpadla. Pro účely bakalářské práce byla moje dosavadní laická znalost nedostatečná. Tepelné čerpadlo jsem považoval pouze za zařízení určené pro ohřev nebo chlazení interiéru budovy, fungující podobně jako klimatizace, ale i v obráceném směru. Musel jsem si tedy dohledat veškeré funkční a konstrukční detaily.

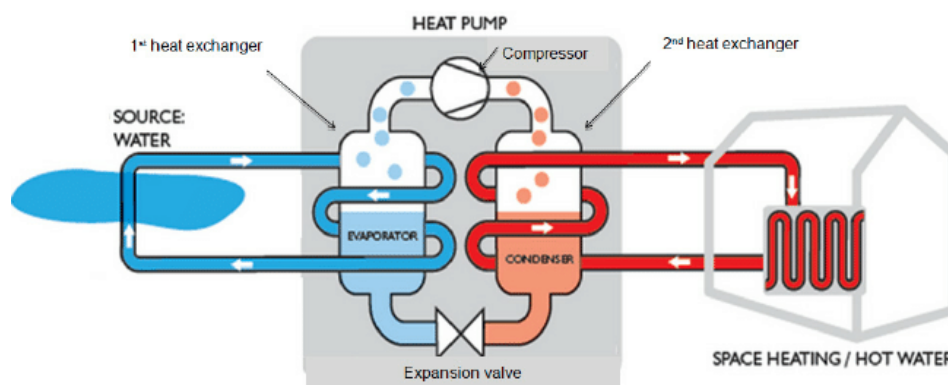
Tepelné čerpadlo, jako fyzikální koncept, je obecnější, než jsem si původně uvědomoval. Ve fyzice platí, že teplo přirozeně proudí z místa zvýšené teploty do místa s teplotou nižší. Z tohoto základního konceptu vychází tzv. Carnotův cyklus. Jedná se o formulaci fungování ideálního tepelného stroje popsany Nicolasem Carnotem v roce 1824¹. Tento vratný cyklus se skládá z následujících 4 kroků:

1. píst s chladivem je v kontaktu se zdrojem tepla; chladivo se ohřívá a tím se zvětšuje i jeho objem
2. píst je izolován od zdroje tepla, ale pořád se zvětšuje objem chladiva, protože relativní teplota vůči okolí je vyšší; dalším zvyšováním objemu bez kontaktu se zdrojem tepla se snižuje teplota chladiva kvůli snížení tlaku způsobeného zvětšením objemu
3. píst je v kontaktu s chladnou nádobou; chladivo do ní předává své teplo, čímž se snižuje jeho objem a zvyšuje tlak
4. píst je izolován od chladné nádoby a je působením okolí dále stlačován, čímž se snižuje objem chladiva, ale zvyšuje se teplota a tlak až do bodu ekvilibria, kdy se může opakovat cyklus od kroku 1



Obr. 1: XiSen Hou, Diagram Carnotova cyklu, 2020²

Tento princip není využitelný pro potřeby vytápění nebo chlazení uzavřeného prostoru, jelikož v tomto případě bývá rozdíl teplot opačný, než je potřeba pro funkčnost zmíněného cyklu – když je venku teplo, chci uvnitř chladit, tzn. odvádět teplo z chladnějšího do teplejšího prostoru. Dříve popsany cyklus je ale možné obrátit vynaložením externí práce. Jako tepelná čerpadla se tedy označují zařízení fungující na obráceném Carnotově cyklu³. Intervencí v regulaci objemu nádoby s chladivem jsme schopni zvýšit nebo snížit tlak a na něm závislou teplotu chladiva. V reálu je tlak chladiva regulován kompresorem, který ho stlačuje a zvyšuje tím tlak i teplotu, nebo expanzním ventilem, který tlak i teplotu chladiva naopak snižuje. Zdrojem vnější práce v moderních tepelných čerpadlech je elektřina.



Obr. 2: R. Emmanuel, Diagram tepelného čerpadla voda-voda, 2014⁴

Pro fungování tepelného čerpadla to znamená, že pokud chci odebrat teplo z chladnějšího prostoru, musím snížit tlak chladiva natolik, aby jeho výsledná teplota byla marginálně nižší než teplota chladnějšího prostředí. Chladivo a chladnější prostředí dosáhnou tepelného ekvilibria (chladivo se o malinko ohřeje, prostředí naopak o malinko schladí). Následně musí být chladivo stlačeno, aby se zvýšil jeho tlak a potažmo i teplota. Ta musí být marginálně vyšší než teplota druhého, teplejšího prostředí. Chladivo je nyní schopné předat svou tepelnou energii do teplejšího prostředí, čímž opět dosáhne tepelného ekvilibria. Cyklus se následně může opakovat.

2.2 Uplatnění

Tepelné čerpadlo jako pojem označuje pouze princip výměny tepelné energie⁵. Aplikace tepelných čerpadel je tedy širokosáhlá. Mezi nejčastější použití patří lednice a mrazáky, ať už pro spotřební nebo komerční účely. Rozsáhlé využití nachází také v průmyslu, kde se ale typicky jedná o vysoce specializovanou část výrobních procesů. Dále se také využívá pro ohřev velkých objemů vody, jako například bazény.

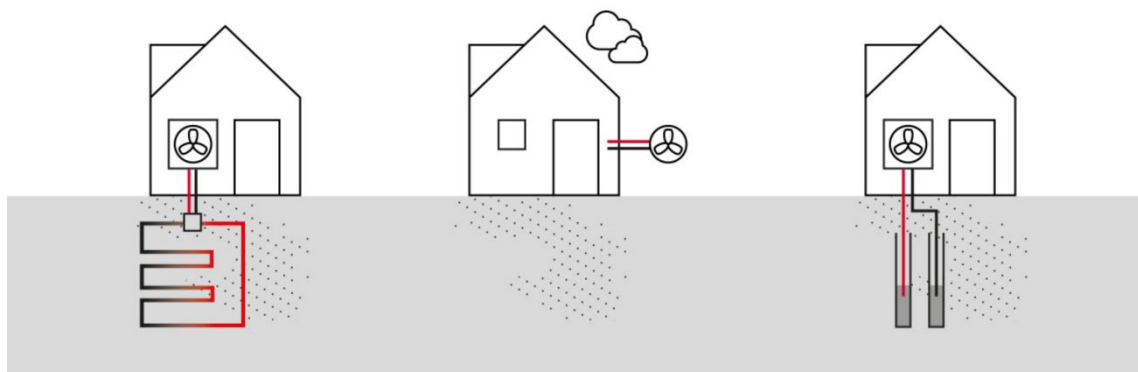
Pro účely tohoto projektu jsem se však chtěl zaměřit na tepelné čerpadlo jakožto vytápěcí nebo chladící zařízení pro vnitřní prostory budov. Aplikace čerpadel právě pro residenční využití již nyní tvoří největší segment tohoto trhu a zároveň se jedná o segment s nejrychlejším růstem.

Jedná se o alternativu k tradičnějším způsobům vytápění, jako například kotle plynové nebo na pevná paliva. Výhodou tepelných čerpadel je, že využívají elektřinu, a palivo se tedy nespaluje přímo na místě určení. Nemusí se řešit žádná logistika jeho dopravy, jako u zemního plynu, jelikož zapojení do elektrizační soustavy je dnes již standardem. Zároveň to teoreticky poskytuje ekologičtější variantu vytápění, jelikož elektrický proud může být generován z obnovitelných zdrojů ať už z vodních, solárních a větrných elektráren, nebo i z fotovoltaiky umístěné přímo na místě provozu čerpadla.

Tepelná čerpadla poskytují zásadní výhodu oproti jiným typům elektrického vytápění, které se porovnávají pomocí tzv. „coefficient of performance“ (dále COP)⁶. Hodnota COP = 1 odpovídá elektrickému odporovému ohřevu bez ztrát. Reálně se ale odporový ohřev pohybuje mezi COP 0,9 a 1. Infračervený ohřev se pohybuje kolem COP 1,3 a 1,4. Tepelná čerpadla poskytují za optimálních podmínek hodnotu COP až 5,8⁷. To znamená, že tepelné čerpadlo z arbitrární jednotky elektrického proudu vyprodukuje 5,8krát tolik tepelné energie jako bezztrátový odporový přímotop.

2.3 Typy tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla se skládají ze dvou jednotek⁸. Vnější jednotka je zodpovědná za čerpání tepelné energie, která je posléze převáděna do vnitřních prostorů budovy. Vnitřní jednotka je zodpovědná za zapojení vnější jednotky do elektrizační soustavy, její ovládání a případnou interakci s uživatelem. Může také dále využívat a distribuovat přivedenou tepelnou energii. K distribuci tepla však může docházet i nezávisle na vnitřní jednotce, pomocí existujícího topného systému.



Obr. 3: Nulite, Typy tepelných čerpadel, Datace neznámá⁹

Zdroje tepelné energie určují, jaké součásti musí čerpadlo mít pro správný provoz. To stejné platí i pro médium, na které je teplo následně předávané. Mezi zdrojová a destinační média patří vzduch, voda a země. Standardní uspořádání tepelného čerpadla jsou vzduch-vzduch, vzduch-voda, voda-voda a země-voda¹⁰.

Nejrozšířenějším typem jsou čerpadla vzduch-vzduch. Toto je zejména kvůli rozšířenosti na amerických a asijských trzích. Jedná se o lokality, kde typicky neklesá teplota extrémně pod nulu, nebo je běžnější mít klimatizaci. Takovéto zařízení čerpá tepelnou energii z vnějšího vzduchu a vnitřní prostory ohřívá přenosem získané energie přímo na vzduch. Pokud se jedná o ohřev nebo chlazení relativně velkých prostorů, tak je realizace potřebné vzduchotechniky poměrně náročná. U malých interiérových prostorů se však jedná o vhodnou variantu, jelikož stačí jedna vnitřní jednotka zajišťující distribuci vzduchu. Z těchto parametrů je zřejmé, proč toto řešení dominuje zmiňovaným trhům – v Americe i Asii jsou klimatizace natolik časté, že vzduchotechnika bývá často řešena i v residenční zástavbě. Zároveň v těchto regionech není tolik rozšířené ústřední topení vodou. V Asii je také průměrná obytná plocha na hlavu znatelně nižší než například v Evropě, což indikuje, že interiérové prostory bývají také menší¹¹.

Čerpadla vzduch-voda také čerpají tepelnou energii z vnějšího vzduchu, ale tuto energii předávají vodě. Výhodou těchto zařízení je, že čerpadlo řeší veškeré potřeby domácnosti v podobě ohřevu či chlazení topné vody a ohřevu pitné vody. Účinnost těchto čerpadel je v podstatě stejná jako u typu vzduch-vzduch. Jejich využití je rozšířenější v Evropě, kde je oproti dříve zmiňovaným trhům běžné mít systém ústředního topení vodou. Čerpadla vzduch-voda jsou vhodná i pro prostory s větší rozlohou vzhledem k tomu, že počet radiátorů rozvádějících teplou vodu nebo chladících prostor není ani zdaleka tak striktně omezen, jako počet vnitřních jednotek distribuujících teplý nebo chladný vzduch. Řekl bych, že Evropský trh je nejprogresivnější jak z hlediska estetiky a designu, tak i z technického hlediska, díky striktnějším regulacím a větší ekologické iniciativě.

Nejefektivnějšími typy čerpadel jsou voda-voda a země-voda. Jako zdroj tepelné energie slouží buď studna nebo vrt s vodou, nebo vrt či plošný kolektor zakopaný pod zem. Vyšší efektivita těchto variant vychází z faktu, že celoroční změna teploty je přímo v zemi nebo zemní vodě znatelně nižší nežli změna teploty vzduchu. Tepelné čerpadlo tak není v zimě zatěžováno natolik jako typy čerpající vzduch. Tyto systémy mají ale řadu zásadních nevýhod. Cena samotného čerpadla bývá vyšší z části kvůli větší složitosti zařízení a z části kvůli tomu, že tyto typy nejsou tak rozšířené. Zároveň je potřeba zásadní stavební předúprava v podobě přípravy vrtu, studny nebo položení plošného kolektoru pod zem. Tyto čerpadla nemohou být uplatněna všude a je potřeba posuzovat realizovatelnost případ od případu.

Jako poslední bych zmínil hybridní typy čerpadel. Jejich označení vychází z faktu, že využívají několik ze zmíněných zdrojů tepelné energie, nebo například tepelný solární kolektor. Výhody i nevýhody jsou obdobné jako u čerpadel voda-voda a země-voda. Jejich uplatnění není moc rozšířené, protože tyto typy čerpadel postrádají univerzalitu.

Čerpadla se dále dělí na systémy monoblokové a splitové¹². Hlavním rozdílem těchto dvou variant je, že monobloková má veškeré komponenty chladícího oběhu situované ve vnější jednotce, ze které vychází trubky s otopnou vodou do vnitřních prostorů stavby. Monobloková čerpadla nevyžadují certifikaci pro jejich instalaci a můžou tedy vyjít o trochu levněji, ale hrozí u nich zamrznutí vody. Kvůli tomu se využívají různé nemrznoucí směsi.

Splitová tepelná čerpadla vyvádějí do vnitřního prostoru stavby pouze chladivo a jeden ze dvou výměníků je umístěn právě zde. Díky rozdělení komponentů chladícího oběhu může být vnější jednotka menší. Jedná se o složitější systém s vyšší pořizovací cenou a pro jeho instalaci je potřeba mít certifikaci pro práci s chladivem¹³. Nedochozí však k mrznutí potrubí a instalace může být flexibilnější kvůli možnosti delšího potrubí. Instalací dále od budovy se může předcházet vnímané hlučnosti. Zároveň mohou být splitové čerpadla řešeny jako kompletní systémy ohřevu teplé užitkové (dále zkr. TUV) i pitné vody, zatímco monobloková čerpadla vyžadují zapojení do existujícího otopného systému nebo zakoupení obdobné vnitřní jednotky jako u splitového čerpadla, akorát bez výměníku.

2.4 Komponenty

Z dříve zmíněného cyklu fungování vyplývají 4 základní komponenty tepelného čerpadla. Kompresor a expanzní ventil, obojí určené pro regulaci tlaku chladiva, a dva výměníky tepla, každý v jednom z daných prostorů s odlišnou teplotou¹⁴.

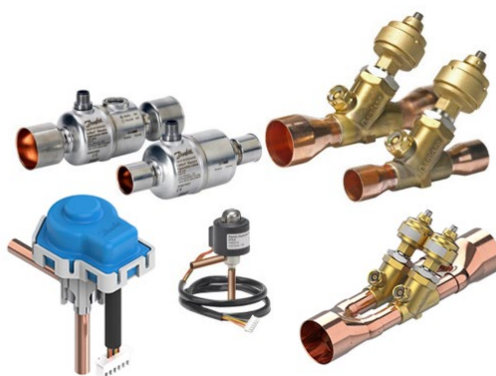
Kompresorů je celá řada, ale v moderních tepelných čerpadlech se zpravidla používají scrollové a rotační¹⁵. Standardní scrollové kompresory se doporučují provozovat jenom za konstantních otáček, jelikož při nízkých otáčkách je snížena jejich efektivita mazání a potažmo tedy i životnost. To znamená, že v případě, že by kompresor nemusel pracovat na plný výkon (což nikdy nebude), tak by musel být neustále zapínán a vypínán pro jakoukoliv regulaci výkonu. Moderní scrollové kompresory tento problém nemají a je možné je regulovat už od 10 % jejich výkonu. Alternativou jsou rotační kompresory, u kterých není problematické regulovat otáčky. Pro regulaci otáček se využívá invertor, který je schopný pohánět kompresor mezi 10 % a 100 % svého výkonu. Vzhledem k tomu, že konstantní úroveň hluku je pro lidské ucho přijatelnější než hluk kolísavý, bych považoval za nezbytné zahrnout invertor. Výběr konkrétního typu kompresoru není jednoznačný a měl by se řídit spíše vhodností jeho zástavby.



Obr. 4: Heatpumpshq.com, Kompresor, Datace neznámá¹⁶

V tepelných čerpadlech se využívají dva typy výměníků tepla. Jsou jimi deskové a trubkové výměníky¹⁷. Výběr vychází z typu média, ze kterého je čerpané teplo a na jaké je předávané. Na plynné média (typicky vzduch) se využívá trubkový výměník. Toto řešení je identické radiátoru, akorát má v tepelném čerpadle podobu výparníku z měděných trubek a hliníkových žeber. Deskový výměník se používá pro kapalná média, kterým je zpravidla voda. Má podobu na sebe navazujících desek s drobnou vnitřní strukturou. Výměníky se dimenzují na základě požadovaného maximálního výkonu.

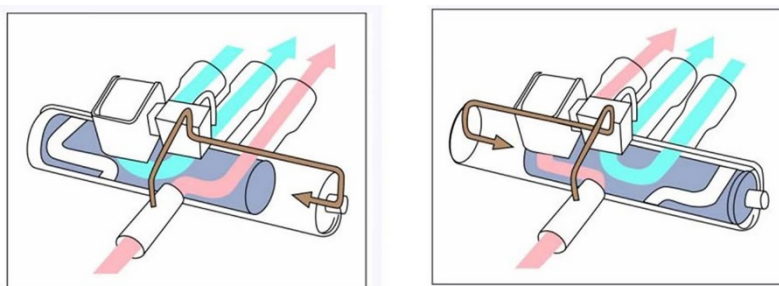
Expanzních ventilů existuje několik základních typů¹⁸. Automatický ventil je ovládán atmosférickým tlakem. Termostatický je ovládán teplotou potrubí u výměníku tepla. Oba tyto ventily neumožňují obousměrný tok chladiva a zároveň se nejedná o nejpřesnější způsob regulace. Přesnější digitální regulaci, která je vhodnější pro účely tepelného čerpadla, poskytují ventily elektromagnetické a elektronické. Elektromagnetický ventil však není ideální pro životnost ostatních komponentů, protože má pouze plně otevřenou nebo plně uzavřenou polohu, kvůli čemu může způsobovat rázy. Elektronický ventil naopak poskytuje možnost plynulé regulace i digitálního ovládání. Vzhledem k tomu, že při obrácení toku chladiva v systému dochází i ke změně zapojení jednotlivých součástí, musí být v systému dva expanzní ventily. Jeden na každé větvi výměníků tepla.



Obr. 5: Danfoss, Expanzní ventily, Datace neznámá¹⁸

Kromě zmíněných základních 4 komponentů je celá řada dalších, které se v čerpadlech využívají kvůli požadovaným vlastnostem, optimalizaci provozu nebo prodloužení životnosti.

Vzhledem k tomu, že tepelné čerpadlo musí být schopné čerpat teplo oběma směry, je nezbytné, aby bylo možné změnit tok v chladícím oběhu. Chladivo, které prošlo kompresorem, je tedy stlačené a má zvýšenou teplotu, musí být schopné proudit do obou výměníků, na základě toho, kterým směrem chci čerpat teplo. To stejné platí i pro expanzní ventil. Změna toku je řešitelná přepínacím ventilem. Konkrétně by se jednalo o elektronicky ovládaný 4cestný ventil¹⁹. Do dvou větví jsou zapojeny výměníky tepla a do zbylých dvou kompresor a expanzní ventil. Na tento ventil se nasazuje malý servomotor, který je schopný posunout vnitřní dělicí příčku ventilu tak, aby se prohodilo vzájemné propojení komponentů.



Obr. 6: Danfoss, Expanzní ventily, Datace neznámá¹⁹

Pokud se využívá trubkový výměník tepla, je výhodné opatřit ho větrákem. Zajišťuje se tím tok média přes výměník, čímž se zvyšuje efektivita předávání tepelné energie. Médium, v tomto případě vzduch, je výměníkem průběžně ohříván, což znamená, že musí být následně odveden a nahrazen novým vzduchem, který má nižší teplotu. Navrhování větráků je věda sama o sobě, ale pro potřeby mé práce stačí specifikovat, jaké vlastnosti by měl mít. Na základě toho můžu vybírat z produktových katalogů výrobců. Pro tepelné čerpadlo je důležité, aby větrák skrze výměník vzduch táhnul a ne tlačil. Jedná se o efektivnější uspořádání součástí, při kterém je jednodušší usměrnit proud vzduchu. Pro mě to znamená, že na základě zvoleného uspořádání komponentů budu muset zvolit správný směr toku určený naklopením lopatek větráku. Varianty jsou od motoru k rotoru nebo od rotoru k motoru a bývají značené A a V. Zároveň je nezbytné, aby větrák měl relativně velký průtok vzduchu a byl schopný překonat odpor způsobený trubkovým výměníkem. Pohon takovýchto větráků bývá dnes řešen dvěma způsoby. Standardní AC větráky využívají střídavý proud. Je obtížnější je regulovat a mohou tedy být hlučnější a méně efektivní. EC větráky využívají stejnosměrný proud a jsou poháněny stejnosměrným bezkartáčovým motorem. Tyto větráky bývají zásadně účinnější a je možné plynule regulovat jejich výkon. Pro regulaci se využívá invertor, který jsem plánoval zahrnout kvůli jeho použití u kompresoru. Při jeho použití i pro regulaci větráku se zásadně zvyšuje efektivita a

snižuje hlučnost dvou pohyblivých, a tedy nejhlučnějších částí čerpadla. Blízko větráku se umísťuje odporový drát určený pro jeho rozmrazování v nepříznivých podmínkách.



Obr. 7: ebm-papst, Větrák, 2020²⁰

Mezi další drobné součásti patří odlučovač oleje, který se umísťuje na výstupnou větev kompresoru. Jeho funkcí je zachycení olejových nečistot z mazání kompresoru, čímž se předchází zanášení zbytku oběhu a potažmo prodlužuje životnost. Dále se využívají filtry a vysoušeče chladiva, které se umísťují před a za expanzní trysky z důvodu zachycení nečistot, což opět má za cíl prodlužovat životnost trysek i zbytku systému. Jako poslední se využívá zásobník chladiva, čímž se zajišťuje kompatibilita s nejrůznějšími zapojeními čerpadla, které mají vliv na délku trubek chladícího oběhu. Zásobník přidává rezervu pro provoz v různých obdobích roku, kdy ambientní teplota může mít vliv na objem a tlak chladiva. Zároveň slouží k akumulaci chladiva v kapalném stavu, čímž chrání výměníky tepla.

Pokud se jedná o čerpadlo typu vzduch-voda, je možné mít zásobník teplé vody a ostatní náležitosti ústředního topného systému (například oběhové čerpadlo apod.) jako přímou součást tepelného čerpadla. Takovéto systémy zajišťují veškeré potřeby domácnosti v jednom celku. Vybavují se však ještě elektrickým ponorným ohřívačem, který slouží jako doplňkový zdroj energie pro případ, že čerpadlo nedostačuje. Alternativně může být čerpadlo bez součástí ústředního topného systému a pouze se napojí na systém existující.

V neposlední řadě bych zmínil elektroniku. Z výčtu součástí je zřejmé, že většina z nich je ovládaná elektronicky, jelikož se jedná o nejpreciznější a nejefektivnější způsob regulace. Jedná se o invertor, jehož účelem je regulace proudu pro

kompresor a větrák, a o další elektroniku, která reguluje například expanzní trysku, 4cestný ventil a je zodpovědná za rozmrazování jednotky nebo poskytuje uživateli možnost interakce a nastavení svého zařízení. Elektronika je zpravidla řešena na míru na základě zvolených komponentů. Krom toho, že je schopná součástí ovládat, musí sbírat informace ohledně provozu zařízení. K tomuto se využívá řada senzorů, které měří teplotu okolí, teplotu potrubí nebo tlak a tok uvnitř potrubí. Interakce uživatele se zařízením bývá řešena v podobě displeje s tlačítky nebo dotykového monitoru.

2.5 Konkurence

Pro tržně úspěšný produkt je naprosto nezbytná konkurenceschopnost. Pro maximální naplnění tohoto požadavku je pro mě jako studenta bez přímé zkušenosti s tímto trhem naprosto nezbytná rešerše existujících řešení. Na základě těchto poznatků mohu během procesu navrhování ověřovat nakolik jednotlivé varianty splňují toto kritérium.

Prvním krokem rešerše bylo prostudování celé řady výrobců a jejich nabídky produktů. Mezi dominantní hráče na trhu patří Bosch Thermotechnology, IVT, Nibe, Vaillant, Daikin, Viessmann, LG, Mitsubishi, Samsung, Carrier nebo Rheem²¹.

Katalog výrobců bývá typicky relativně obsáhlý, ať už v typech, nebo výkonnostech jednotlivých jednotek. Toto si mohou dovolit díky tomu, že obsluhují celou řadu trhů a měřítko výroby je tedy opravdu veliké. Čerpadla typu vzduch-vzduch a vzduch-voda si jsou velice podobné a změna z jednoho typu na druhý vyžaduje obměnu pouze několika komponentů. U výkonností je rozsáhlost nabídky samozřejmostí, jelikož každá budova má jinou energetickou náročnost na základě své rozlohy a úrovně tepelné izolace. Toto bývá řešeno změnou velikosti jednotek při zachování estetického propojení pro vytvoření konzistentního produktového portfolia.

Cenově se pohybují tepelná čerpadla vzduch-vzduch od 25 000 Kč po 50 000 Kč²², ale to je v případě čerpadel podobných klimatizacím, která mají moc nízký výkon, aby sloužili jako hlavní zdroj vytápění. U čerpadel vzduch-vzduch s dostatečným výkonem se cena může vyšplhat až k 150 000 Kč či více. Čerpadla vzduch-voda se cenově pohybují mezi 220 000 Kč a 350 000 Kč. Čerpadla voda-voda a země-voda se pohybují od 350 000 Kč výše¹⁹.

U výrobců najdeme estetické rozdílnosti, které sahají nad to, co lze považovat za diferenciaci designu jednotlivých značek. Výrobci soustředící se na americký trh, jako například Rheem, Carrier nebo Goodman, mívají čerpadla s kubickou zástavbou a větrákem orientovaným nahoru o objemu zhruba 90 x 90 x 110 cm. V Asii jsou typická čerpadla podobná standardní jednotce klimatizace – kvádrová zástavba s nízkou tloušťkou a větrákem umístěným na čelní ploše. Tyto čerpadla

jsou zjevně vyráběna pouze několika subdodavateli a firmy jako LG, Samsung, Mitsubishi nebo Panasonic na ně pouze natisknou své logo. Typická zástavba je zhruba 80 x 35 x 70 cm. Na evropském trhu je častější kvádrová zástavba s větrákem na čelní ploše a často vysoce kultivovanou estetickou stránkou. Mezi výrobce dominující evropskému trhu patří Viessmann, Bosch Thermotechnology, IVT nebo Daikin. Zástavba těchto čerpadel bývá zhruba 110 x 50 x 75 cm.



Obr. 8: Rheem, Tepelné čerpadlo Prestige Series, Datace neznámá²³



Obr. 9: Viessmann, Tepelné čerpadlo Vitocal 200-A, Datace neznámá²⁴

Z výrobního a materiálového hlediska se zpravidla jedná o plechové konstrukce a opláštění. Jedná se o efektivní řešení, které může být samonosné a je materiálově nenáročné. Zároveň může být výrobní proces jednotlivých dílů automatizovaný a finální montáž relativně jednoduchá. Řezání plechů se provádí laserem, následně se ohýbá pomocí ohraňovacích lisů a v případě potřeby se

může i svařovat. Povrchová úprava plechu se provádí práškovým lakováním. Občas nachází využití i plast. U některých jednotek se jedná o složitěji tvarované estetické prvky s účelem odlišení od konkurence. Téměř u všech čerpadel najdeme drobné díly určené ke skrytí nedostatků způsobených charakterem výroby z plechu – otevřené shyby, spáry apod.

Vzhled jednotlivých čerpadel se liší kvůli rozdílným designovým jazykům jejich výrobců. Obecně platí, že se jedná o produkty poměrně neutrální a neofenzivní, jelikož mohou být použité ve velmi různorodých prostředích. Zmínil bych ještě barevnost. Většina dostupných čerpadel je vyráběna pouze v jedné barevné variantě, která bývá neutrálním odstínem bílé nebo šedé. Vzhledem k tomu, že se může jednat o permanentní součást obývaných vnitřních či vnějších prostorů, bych zvážil i možnost poskytnutí větší barevné flexibility. Toto považuji za důležité zejména u vnější jednotky, jelikož styly i barevnosti fasád bývají na realizacích obytné zástavby velice rozdílné. Například Bosch Thermotechnology takovouto službu již poskytuje v podobě možnosti aplikace libovolné barevné fólie na jejich čerpadlo.

2.6 Výkon

Čerpadla se vyrábí v různých výkonech. Ten se odvíjí od rozlohy a energetické náročnosti obsluhované budovy. Při výběru vhodného čerpadla se na základě těchto parametrů provádí propočty, kterými se však nebudu zabývat. Pro účely této práce jsem si zjistil, jaké varianty se zvyknou nabízet. V podstatě každý výrobce nabízí alespoň 4 výkonnostní varianty. Většina dokonce 6 nebo 8. Toto je z toho důvodu, že mít naddimenzované čerpadlo znamená provoz mimo zátěž s největší efektivitou. Čerpadla sloužící jako hlavní zdroj vytápění začínají na 4-6 kW a další varianty jsou v inkrementech 2 kW²¹.

Pro vnitřní zástavbu čerpadla znamená zvýšení výkonu zvětšení některých komponentů. U kompresoru se jedná o malý nárůst v objemu. Hlavní rozdíl bývá většinou ve zvoleném pohonu. Větráky se vybírají podle průtoku. Ten se může odvíjet jak od průměru větráku, tak i od výkonu zvoleného motoru. Výparník se zvětšuje proporčně k nárůstu výkonu čerpadla. Ostatní součásti zůstávají rozměrově stejné. Se zmíněnými rozdíly je během navrhování potřeba počítat pro maximalizaci kompatibility a zachování proveditelnosti.

2.7 Ekonomičnost

Výsledné ceny čerpadla jsou pouze částí celkového obrázku. V reálu je potřeba znát i nákladovost výroby, materiálové náklady, počty prodaných jednotek apod.

Pro dohledání podrobnějších informací jsem se rozhodl prostudovat účetní rozvahu firmy Viessmann²⁵. Za rok 2021 byl jejich příjem 3,4 miliard Euro, což je

poměrně značný nárůst oproti 2,8 miliardám Euro v roce 2020. Značně k tomu přispívá i zvýšený prodej tepelných čerpadel, který v tomto období vzrostl o 41 %²⁶. Viessmann ročně prodá zhruba 730 000 zařízení²⁷. Značnou část celkového odbytu tvoří tepelná čerpadla.

Materiálové náklady produktů v roce 2020 činily 1,2 miliardy Euro, což je téměř 44 % jejich příjmu. Hrubý zisk tedy činí 1,6 miliardy Euro. Hrubé rozpětí tedy činí 56 %. Provozní náklady činí 1,4 miliardy Euro a po daních a úrocích vychází zisk firmy Viessmann za rok 2020 na 166,6 milionů Euro.

Pokud se podíváme například na tepelné čerpadlo vzduch-voda s cenou 220 000 Kč, můžeme předpokládat, že materiálové náklady budou činit mezi 90 000 Kč a 100 000 Kč. Velká část toho je samozřejmě tvořena funkčními komponenty čerpadla, ale po prostudování dokumentů od tepelného čerpadla Bosch Thermotechnology Compress 6000 AW²⁸ jsem zjistil, že funkční komponenty tvoří kolem 75 % materiálových nákladů. Toto nechává poměrně značnou rezervu, která je vynaložena na konstrukční, izolační a estetické prvky.

Chtěl bych podotknout, že 89,2 % příjmu firmy Viessmann pochází z evropského trhu.

2.8 Instalace a servis

Během svého provozu se tepelná čerpadla setkají s celou řadou situací. Prvním krokem jejich životního cyklu je instalace. Jak jsem zmiňoval v podkapitole Typy tepelných čerpadel, tak se instalace může lišit na základě toho, jestli je čerpadlo řešeno jako splitový nebo monoblokový systém. Krom těchto odlišností je proces poměrně standardní. Obecně se doporučuje montáž na zem. Provádí se stavební předúprava v podobě přípravy betonových základů. Ty slouží k poskytnutí pevného a stabilního podkladu, upevnění konstrukce kvůli nepříznivým podmínkám, k vyrovnání terénu a vyvýšení čerpadla nad okolní terén. Některá čerpadla jsou však usazena na nohy nebo různé polymerní podstavce. Doporučuje se čerpadlo mít vyvýšené o 10-20 cm z důvodu sněhu a námrazy, což může způsobovat nadměrnou kondenzaci uvnitř jednotky. Kondenzace může poškodit vnitřní komponenty nebo způsobovat korozi konstrukce či opláštění. Čerpadlo je do betonu přišroubováno vruty. Při instalaci se doporučuje držet jednotku alespoň 40 cm od fasády domu. Toto je z několika důvodů: jednak je cílem zajistit přívod vzduchu k výměníku bez jakýchkoliv překážek. Druhý důvod je kvůli životnosti samotné fasády. Se zvýšeným prouděním vzduchu se u čerpadla koncentruje vlhkost, která může způsobovat například plísně, narušit vzhled fasády nebo přispět k selhání tepelné izolace domu. Alternativně se čerpadla mohou montovat na konzolu a být tedy upevněna k fasádě domu. Toto sice řeší odsazení jednotky od země, ale pokud chci dodržet vzdálenost od fasády,

tak se musí jednat o poměrně velikou konstrukci. Kvůli tomu se čerpadla na konzole někdy umísťují blíže k fasádě, což je ale v rozporu s dříve zmíněnými funkčními aspekty.

Servis čerpadel by se měl provádět jednou až dvakrát do roka certifikovaným pracovníkem²⁹. Jedná se o práci s rizikem vystavení elektrickému proudu, nebo znečištění prostředí chladivem. Vzhledem k tomu by měl být zákazník odrazen od vlastní intervence. Servisní přístup je potřeba navrhnout tak, aby se jednalo o odborné vniknutí do zařízení. Za tyto typy vniknutí se považují šroubové spoje standardní, nebo se speciální hlavou a zámky. Obvykle je servis pouze neintruzivní kontrolou teplot, proudění vzduchu, případně výčtu dat sbíraných čerpadlem, ale zmiňovaná rizika i tak hrozí. Spousta současných tepelných čerpadel sleduje trendy digitalizace a integrace s dalšími produkty. Výrobci stále častěji poskytují doprovodné aplikace, kterými může uživatel čerpadlo dálkově ovládat, ale zároveň může čerpadlo komunikovat i s výrobcem pro případ poruch, nebo pro naplánování pravidelného servisu. V případě, že se jedná o čerpadlo vzduch-vzduch, vyskytují se ve vnitřní jednotce filtry vzduchu. Je možné integrovat další doprovodné funkce jako například zvlhčování vzduchu přidáním nádoby na vodu. Tyto části může uživatel čistit a měnit sám.

Pro servis i instalaci je dobré zajistit minimální náročnost. Toto může být řešeno jak vhodným uspořádáním vnitřních součástí pro dobrou přehlednost a přístupnost, tak i například dělením panelů a rozebíratelností zařízení. Zároveň je potřeba, aby součástí chladicího systému byl servisní ventil, pomocí kterého se systém může uzavřít a případně i doplnit dalším chladicím médiem.

2.9 Provoz

Čerpadlo bude vystaveno povětrnostním podmínkám, kterým musí být schopné odolat. Kvůli tomu se musí řešit korozní ochrana a odvodnění. Jako korozní ochrana bude sloužit povrchová úprava. Odvodnění se propíše do konstrukčního řešení. Vodotěsnost nebo jakýkoliv stupeň krytí IP se řešit nemusí, jelikož jednotlivé komponenty mívají integrovanou adekvátní ochranu rovnou z výroby.

Kromě povětrnostních podmínek může být čerpadlo vystaveno řadě dalších vlivů, protože se umísťuje do prostoru, ve kterém se pohybují lidé. To pro mě znamená, že by čerpadlo mělo být natolik odolné, aby při náhodné kolizi nedošlo k poškození vnitřních komponentů a ideálně ani vnějšího opláštění. Zároveň je potřeba opatřit plochy vnější jednotky, ve kterých bude umístěný větrák a výměník tepla, mřížkou.

Hluk je naprosto klíčovou vlastností tepelných čerpadel, ať už se jedná o hluchost, kterou vnímá uživatel, nebo hlukové znečištění, které je způsobeno

širšímu okolí. Kvůli tomu výrobci značně investují do snížení hlučnosti. Krom správného výběru komponentů a jejich elektronické regulaci invertorem a řídicí jednotkou se čerpadla často vyplňují maximálním množstvím izolace. Ta slouží k snížení hluku (ale i tepelných ztrát). Toto se většinou řeší vkládáním nebo vlepováním řezaných desek izolačních pěn, nebo obalováním trubek. U čerpadel vzduch-vzduch a vzduch-voda se vyplňuje i prostor kolem větráku pro usměrnění proudu vzduchu. Sympatické mi přišlo řešení, které využívá Bosch Thermotechnology a značky pro které Bosch vyrábí čerpadla. Využívají vnitřní konstrukci z expandovaného polypropylenu (dále zkr. EPP), která slouží z části konstrukčně, ale hlavně izoluje vibrace, hluk i teplo. Jako nejsilnější stránku jejich řešení bych viděl, že větrák, jako jedna z mála pohyblivých, a tedy hlučných částí čerpadla, je uchycena do specifického dílu z EPP. Standardně bývají větráky montované kovovým dílem na konstrukci, ale zmíněným řešením pomocí EPP může dojít k značnému snížení přenášených vibrací. Zároveň to plní dvojí funkci tím, že to větrák izoluje i tepelně a usměrňuje proudící vzduch.

Vzhledem k tomu že tepelná čerpadla mohou fungovat samostatně jako kompletní systémy, nebo být napojeny na existující infrastrukturu, musí být uživateli poskytnuta flexibilita v způsobu integrace. Čerpadlo musí být schopné komunikovat s termostaty, což bývá řešeno zajištěním adekvátního standardu elektronické komunikace řídicí jednotky (digitální komunikace i způsob zapojení). Čerpadlo však musí být schopné fungovat i nezávisle pro případ, že se jedná o objekt, kde žádné stávající systémy neexistují. Toto bývá řešeno v řídicí jednotce, která musí být schopná regulovat veškeré části systému. V takovém případě se jednotka stává termostatem. Studoval jsem i stromy menu abych si vytvořil přehled funkcí, které musí vnitřní jednotka mít. Upřesněním uživatelského rozhraní se budu zabývat později v práci.

3. Výstup analýzy a formulace vize

Na základě podrobné analýzy problematiky jsem začal formulovat koncepci svého projektu.

Chtěl bych, aby se jednalo o tepelné čerpadlo určené zejména pro vytápění či chlazení residenčních objektů. Jedná se o velkou část trhu s tepelnými čerpadly, která ještě k tomu nejrychleji roste. Dosáhl bych tím nejvyšší prodejnosti.

Typově jsem zvolil tepelné čerpadlo vzduch-voda, z části kvůli tomu, že se jedná o nejrozšířenější typ na evropském trhu, který mi je nejbližší. Zároveň se jedná o řešení s poměrně univerzálním uplatněním kvůli nezávislosti na prostředí, ve kterém je umístěno. Také má dobrou možnost škálovatelnosti. Na rozdíl od čerpadel vzduch-vzduch si zvolená varianta poradí i s budovami s větším množstvím místností nebo obecně větší rozlohou. To znamená, že se opět rozšiřuje spektrum potenciálního využití. Tento systém může sloužit jako kompletní jednotka, která řeší veškeré otopné a chladicí nároky budovy, což může být přívětivější řešení pro laika, který nemá do této problematiky vhled.

Z informací dohledaných k zvolenému trhu a typům uplatnění je možné specifikovat cílovou skupinu. Jako trh určení jsem zvolil Evropu, kde je po tepelných čerpadlech vzduch-voda největší poptávka. Následně je potřeba definovat potenciálního zákazníka. Bude se převážně jednat o majitele nemovitostí (spíše nežli podnájemce). To může mít implikace na velikost domácnosti. Rodiny bydlící v domech zvyknou mít průměrně vyšší četnost. Průměrná evropská domácnost má 2,3 obyvatele, ale pro účely rodinných domů bych počítal s více. Odvíjel bych se od čtyřčlenné rodiny. Bližší specifikace zákazníka je poměrně obtížná. Vytápění je univerzálně potřebné což se promítá i v šířce cílové skupiny. Zákazník může řešit novostavbu, nebo chtít modernizovat. Zároveň se může jednat o laika, který nechce mít s čerpadlem žádnou starost, nebo o osobu která problematice rozumí a chce si ho nastavit podle vlastních představ. Jednotka může být ve vícegeneračním domě z minulého století nebo v moderní vile postavené letos a vším mezi tím. Čerpadlo by bylo dobré koncipovat univerzálně, čímž můžu zajistit vhodnost návrhu pro nejširší porci trhu.

Čerpadlo bych uspořádal v tzv. splitové variantě i přes její nevýhody. Vyšší složitost instalace a pořizovací cenu vyvažuje spousta benefitů. Splitový systém může být tišší díky menší vnitřní zástavbě venkovní jednotky a díky flexibilitě jejího umístění. Zároveň se jedná o variantu s menší venkovní jednotkou. Deskový výměník bývá umístěn v jednotce vnitřní, u které se pohodlně vejde do varianty s i bez zásobníku teplé vody bez zvětšení zástavby. Zároveň nehrozí riziko zamrznutí

potrubí a při zahrnutí zásobníku se může jednat o systém obsluhující veškeré potřeby budovy. Z tohoto důvodu je varianta se zásobníkem teplé vody mým favoritem. Pro maximální pokrytí trhu by ale bylo dobré poskytnout i řešení bez zásobníku.

Při výběru komponentů považuji za důležité zahrnout invertorový pohon kompresoru a EC větráku a dále také elektronický expanzní ventil. Konkrétními komponenty se budu zabývat později, v podkapitole Zástavba komponentů.

Za klíčové uzly projektu považuji dodržení veškerých funkčních aspektů v podobě adekvátní vnitřní zástavby, její realistické dimenzování, uspořádání, propojení komponentů, volby elektroniky a možnosti jejího napojení na existující systémy.

Dále je nesmírně důležitá i výroba. Musím neustále ověřovat, zda mé návrhy mají potenciál být vyrobitelné, ekonomické a konkurenceschopné. Čerpadlo musí být odolné vůči nepříznivým klimatickým podmínkám i fyzické zátěži a mělo by mít dlouhou životnost. Potřebuji si tedy podrobně nastudovat tvarovací a výrobní možnosti plechu. Zároveň by bylo dobré průběžně konzultovat konstrukční řešení s někým, kdo se v oblasti kovovýroby již pohybuje. Při využití jiných materiálů, jako například plastu, je potřeba provést stejné kroky a ověřit mechanickou a korozní odolnost zvoleného řešení. Krom výroby jednotlivých dílů je však potřeba myslet i na to, že se tepelná čerpadla montují manuálně, čemu by návrh měl být také uzpůsobený.

Nesmím zanedbat instalační i servisní požadavky takového zařízení. Čerpadlo musí být jednoduše přepravitelné na místo určení. Instalaci by měli pohodlně zvládnout dva lidé. Bylo by dobré minimalizovat potřebnou stavební předúpravu. Dále je potřeba myslet na dodržení minimální vzdálenosti od země i od fasády budovy. Zákazník by měl mít možnost montáže na zem i na fasádu, jelikož se jedná o řešení, které standardně nabízí i konkurence. Proto považuji za důležité nabídnout obě varianty i přes nevýhody montáže na konzolu. Pro servis je potřeba zajistit jednoduchou demontáž vnější i vnitřní jednotky, přímý přístup k elektronickým součástem a pokud možno i k součástem oběhu chladiva a TUV pro případ selhání jednoho z komponentů. Je potřeba myslet na to, že tepelná čerpadla jsou poměrně striktně regulovaná kvůli přítomnosti chladiva, a údržbu musí podle zákona vykonávat certifikovaný pracovník. Bylo by tedy dobré servisní přístup vybavit alespoň šroubovým spojem, který se považuje za odborné vniknutí do zařízení.

Hlučnost tepelného čerpadla by bylo dobré řešit podrobněji nežli pouze výběrem splitového uspořádání a elektronickou regulací. Zpravidla se jedná o izolaci potrubí chladiva i TUV, maximální vyplnění vnitřního prostoru absorpčním

materiálem, izolaci vnějších panelů a montáž vibroizolačním spojovacím materiálem (silentbloky) u vybraných komponentů jako větrák či kompresor. U větráku bych zvážil jeho zasazení do dílů z EPP, které jsou sice výrobně náročnější, ale plní několik funkcí současně.

Jako prostor pro vylepšení existujících řešení vidím optimalizaci zástavby. To je možné řešit uspořádáním vnitřních komponentů nebo orientací celé jednotky, čímž se může snížit například rozloha půdorysu.

Po estetické stránce je samozřejmě nezbytné se vyčlenit vůči produktům, které jsou nyní na trhu. Je ale potřeba zachovat zmiňovanou neutrálnost pro zajištění maximální univerzality poskytnutého řešení. Prostor pro zlepšení bych viděl v poskytnutí větší flexibility barevnosti vnějších jednotek. Nepovažuji za důležité vzhledově propojit vnitřní a vnější jednotku, jelikož se jedná o dvě velice odlišná prostředí. U vnitřní jednotky bych se odvíjel od bílé techniky.

Jelikož musí být tepelná čerpadla vyráběna v různých výkonostních kapacitách, bylo by dobré zajistit alespoň dvě velikosti vnější jednotky. U ní je nejzásadnější rozdíl v zástavbě komponentů při nárůstu výkonu. Vnitřní jednotka se zásobníkem teplé vody je kvůli jeho objemu dostatečně velká, takže se při nárůstu výkonu nemění její velikost. Pokud by byla řešena i vnitřní jednotka bez zásobníku, bylo by dobré ji dimenzovat tak, aby se všechny úrovně výkonosti vešly do stejného opláštění. Plánuji poskytnout alespoň 4 konkrétní výkonosti, dvě pro každou z velikostí vnější jednotky, na základě průměrných potřeb residenční zástavby a typických konkurenčních řešení.

V neposlední řadě bych se chtěl zaměřit i na uživatelskou interakci s čerpadlem, zejména v podobě uživatelského rozhraní. To bývá nyní řešeno nepřehledně, což považuji za nevýhodu. Vzhledem k tomu, že čerpadlo může být jediným prvkem topného systému domu, bylo by dobré jeho rozhraní zkultivovat.

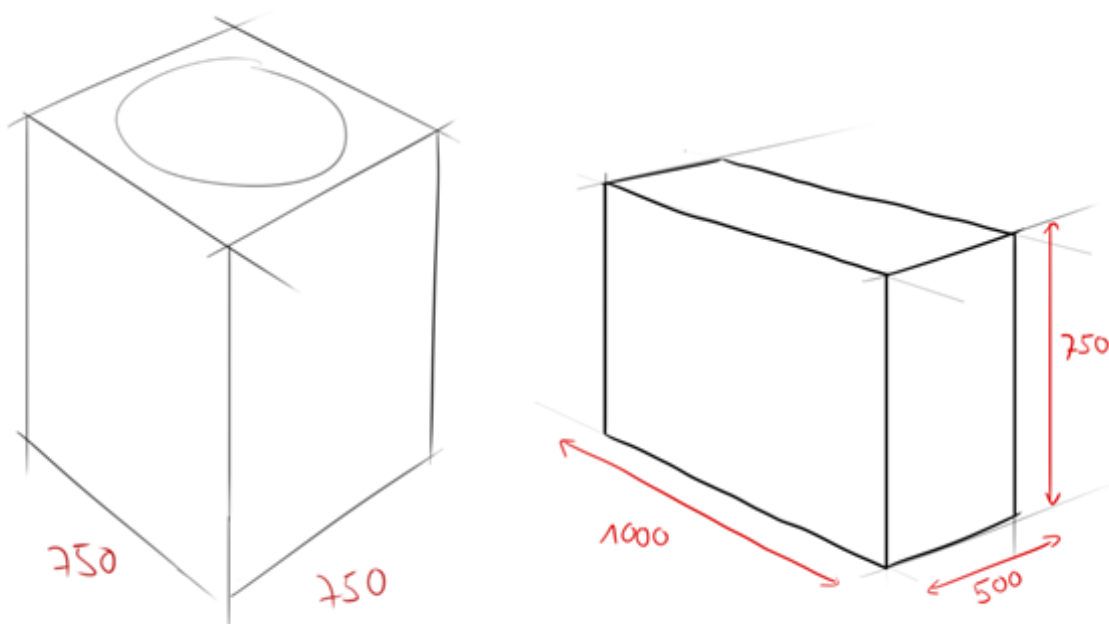
4. Proces navrhování

4.1 Vnější jednotka

4.1.1 Základní koncepce

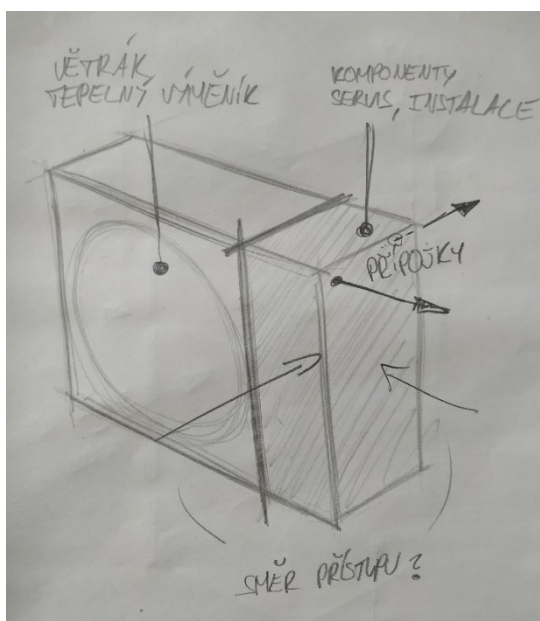
Vnější jednotky bývají orientované buď s větrákem na svislé nebo na vodorovné ploše. Varianta s větrákem otočeným vzhůru, která je typická například pro Americká tepelná čerpadla, zabírá poměrně značnou plochu. Půdorysně se typicky jedná o čtverec o délce strany od 75 cm až skoro k 1 m. Takto řešená čerpadla odsazují komponenty dále od země a není u nich potřeba držet tak velkou vzdálenost od okolní zástavby, jelikož větrák neofukuje fasádu. Jako problematické však shledávám že se tímto dostává otvor na vrchní plochu, čímž je čerpadlo otevřené přímému působení prostředí. Bude do něj přšet i sněžit a může se tedy rychleji zanášet a korodovat. Takovéto řešení je tedy vhodnější do podnebných podmínek kde srážky nejsou tak časté jako v Evropě. Alternativně se čerpadlo může zastřešit, ale to přidává vcelku zásadní objem kvůli potřebě odsadit zastřešení od větráku pro zajištění adekvátního průtoku vzduchu.

Proto mi přijde vhodnější orientovat větrák na svislou plochu čerpadla. Tyto typy mívají zástavbu zhruba 100 x 50 x 75 cm. Jedná se o celkově kompaktnější řešení i s menším půdorysem. Zároveň se tím vyhýbám problémům spojeným s větrákem na vrchní ploše.



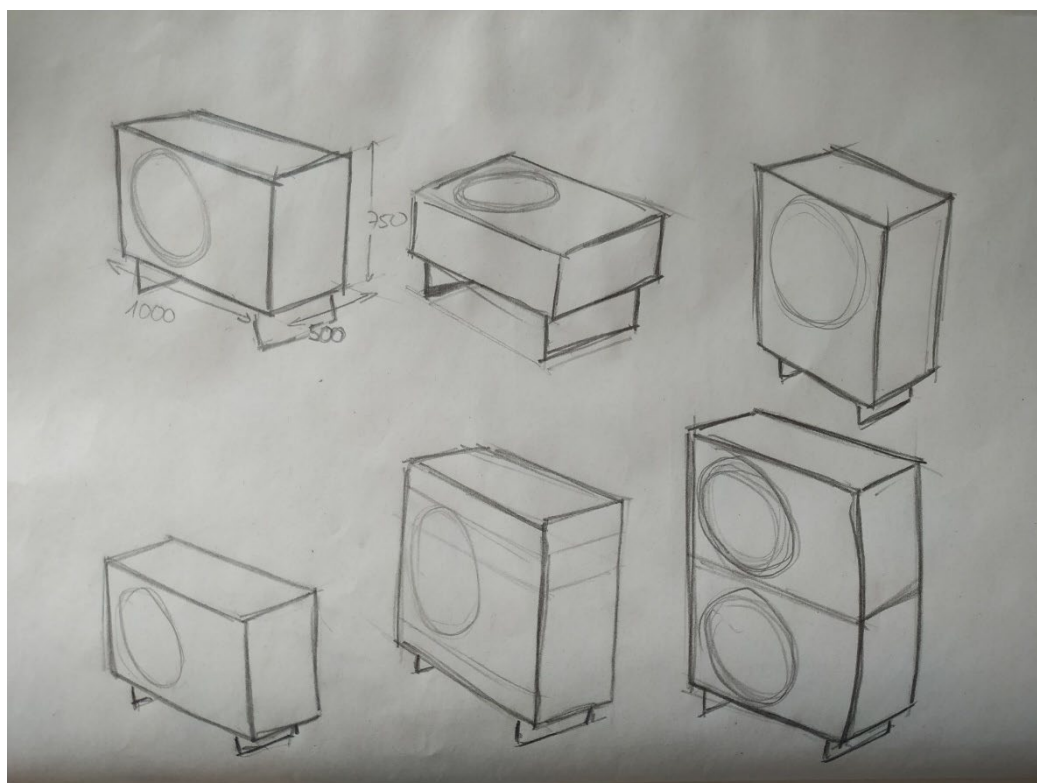
Obr. 10: Autorská tvorba, Orientace venkovní jednotky, skica, 2022

Větrák bývá zasazen do čtvercového pole, jelikož za ním je skrytý výparník, který určuje hmotu celého čerpadla. Zbylá část vpravo je tvořena ostatními komponenty chladícího oběhu. Do této části je potřeba zajistit přístup kvůli instalaci a servisu.



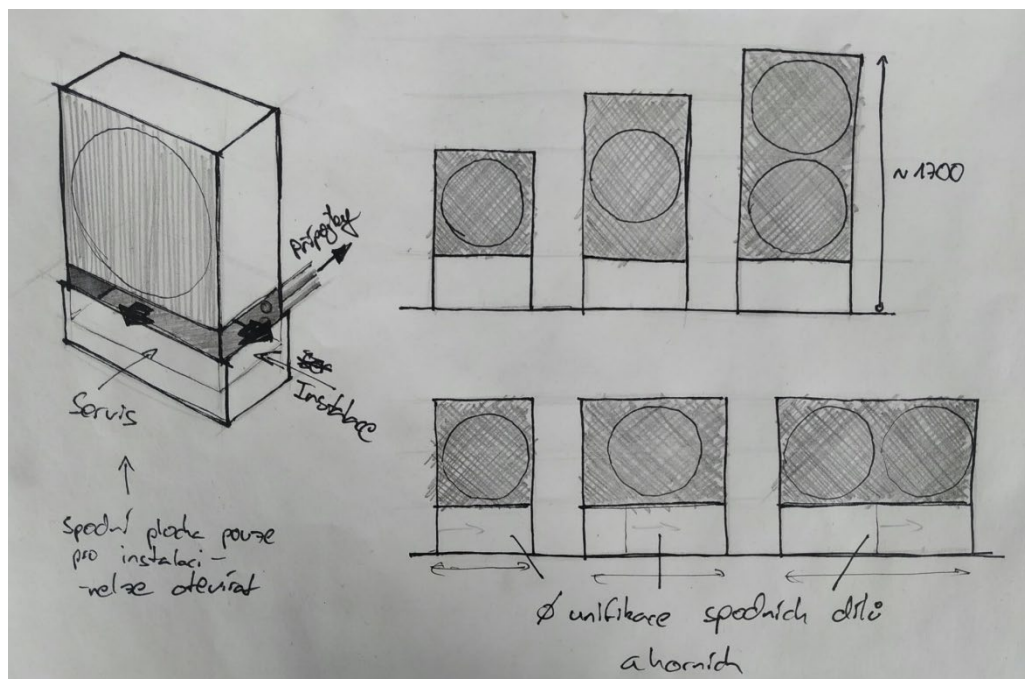
Obr. 11: Autorská tvorba, Dělení venkovní jednotky, skica, 2022

Na zvoleném objemu jsem testoval, jak lze měnit zástavbu pomocí orientace hmoty a zároveň i možnosti nárůstu velikosti jednotky u vyšších výkonů.



Obr. 12: Autorská tvorba, Varianty orientace venkovní jednotky, skica, 2022

Přišlo mi smysluplné otočení jednotky o 90 stupňů, čímž se zmenší půdorys z 0,5 m² na 0,375 m². Celkový objem zůstává stejný, ale čerpadlo je na úkor menšího půdorysu o třetinu vyšší. Zastavěná plocha mi ale přijde důležitější nežli výška. Zákazník si bude chtít ubrat co nejmenší část obytné plochy, a čerpadlo se stejně zvykne umisťovat někam, kde jeho výška nebude vadit (např. kvůli oknům).



Obr. 13: Autorská tvorba, Koncepce vnější jednotky, skica, 2022

Přijde mi nezbytné se pokusit vytlačit negativní emoce spojené s technickou stránkou produktu. Jedná se o zařízení, kterému zákazník nemusí rozumět, také hučí a má velké pohyblivé části. Jak jsem zmiňoval v analytické části, tak hluk může být řešen izolací a správnou volbou komponentů. Zbývá tedy větrák, který je velkou, pohyblivou součástí a může tedy působit nebezpečně a v uživateli způsobovat strach či nedůvěru. Toto lze řešit jeho skrytím přímým, nepřímým nebo pomocí barevnosti. Přímé skrytí je nejefektivnější, ale působí jako obstrukce proudění vzduchu. Je tedy potřeba zachovat alespoň nějaký průduch. To se obvykle řeší vyčleněním tohoto zakrytí mimo zástavbu čerpadla, což mi nepříjde vhodné. K nepřímému zakrytí lze využít mřížka, která je dostatečně propustná, ale větrák přece jen částečně kryje ať už z pohledu pod úhlem nebo z čelního. Barevnost lze využít pro splynutí větráku s okolní plochou. Jelikož se jedná o vnitřek zařízení, který bude už tak zastíněný, bylo by nejvhodnější využít tmavé barevnosti.

Při řešení plechové konstrukce a pohledového opláštění bude potřeba hledět kromě detailů, které stanovuje výrobní proces, i na minimalizaci celkového počtu dílů a jejich unifikaci. Důvod tohoto leží v ekonomické stránce výroby. Při velkých sérii v řádech desítek nebo stovek tisíc vyrobených kusů to snižuje cenu a zároveň ulehčuje logistiku. Sklady a jiné infrastrukturní zázemí nemusí mít takovou kapacitu a zároveň to zjednodušuje poskytování náhradních dílů.

Výkonnostně bych nakonec zvolil následující varianty: 6, 8, 10, 12, 14, 16 kW. Typicky se čerpadla nabízejí již od 4 kW, ale v realitě se jedná o výkonnostní kapacitu, která není schopná sloužit jako hlavní zdroj ohřevu. V realizacích je tedy 4 kW jednotka používána spíše jako doplňkový zdroj nebo ve spojení s jiným doplňkovým zdrojem. Vzhledem k tomu, že považuji za důležité nabízet čerpadlo jako kompletní systém i s otopným oběhem TUV, jsou zvolené kapacity lépe schopné pokrýt tepelnou náročnost velkého spektra budov. Od novostaveb malých rodinných domů s vysokou úrovní tepelné izolace, až po vícegenerační nebo bytové domy s vysokou tepelnou ztrátou. Zároveň se jedná o kapacity často nabízené konkurencí. Pro prostory s větší náročností je možné jednotky kaskádově propojit. Konkurence typicky umožňuje spojení 4 jednotek. Zvolené varianty by se měli pohodlně vejít do dvou velikostních řešení vnější jednotky. Zástavbu vnitřní jednotky neovlivňují. Pokud by se takovýto projekt realizoval, tak by se kapacity zakládaly na podrobném průzkumu trhu, četnosti energetických náročností budov a propočtu. Zároveň by se výkon mohl řídit dostupností komponentů, či nákladností jejich zakázkové výroby. Obojí je nad rámec mého projektu.

4.1.2 Zástavba komponentů

Zjištění rozměrů jednotlivých komponentů je důležité pro ověření proveditelnosti navrhovaného řešení. Zároveň můžu s konkrétními velikostmi dále pracovat pro finální specifikaci potřebných rozměrů a případně se pokusit optimalizovat vnitřní uspořádání komponentů, s cílem zlepšení celkové zástavby jednotky.

Hlavním rozměrově určujícím prvkem je větrák. Již jsem zmiňoval že by se jednalo o EC větrák poháněný bezkartáčovým stejnosměrným motorem, jelikož takovéto řešení poskytuje výhody v podobě vyšší účinnosti a nižší hlučnosti. Pomocí okótovaných výkresů od výrobců Viessmann a Bosch Thermotechnology jsem si dohledal rozměry používaných větráků. Ty se zpravidla pohybují mezi průměrem 400 mm a 500 mm. Pro větrák je optimálnější, když vzduch výparníkem netlačí ale saje, a zároveň by neměl ofukovat fasádu. To znamená, že by větrák měl být umístěn na vzdálenější stěnu od budovy. Takovéto uspořádání znamená, že větrák musí mít směr proudění od rotoru k motoru (tzv. směr V), jelikož na straně motoru bývá umístěna mřížka, která slouží jak k upevnění větráku, tak i

ochraně proti vniknutí cizích objektů. Potřebuji ji tedy mít orientovanou směrem ven. Velikostně jsem se nakonec rozhodl pracovat se střední hodnotou 450 mm zmiňovaného rozpětí. Na trhu s větráky jsou dominantní dvě firmy – EBM-Papst a Ziehl-Abegg. Z jejich produktového katalogu budu vybírat konkrétní větrák až budu řešit konstrukční řešení jednotky a ujasním si jakým způsobem by byl v čerpadle upevněn. Během navrhování si musím dát pozor, aby byl větrák uložen do pravidelného, opakovatelného tvaru. Ať už bude vnější jednotka o větším výkonu narůstat do výšky, nebo do šířky, větrák by měl být opakujícím se prvkem. Jednak tím zajistím estetickou jednotnost a zároveň to přispívá ke zmiňované unifikaci dílů – větrák může být upevňován stejným způsobem, může mít stejnou mřížku, izolaci apod.

Výparník svým tvarem kopíruje větrák a kvůli funkčnímu hledisku musí být umístěn v jeho blízkosti. Jednalo by se o trubkový výměník z měděného potrubí chladiwa a z hliníkových žebor, vnější konstrukce může být z plechu. Hliníková žebra se typicky povlakují kvůli zvýšení korozní odolnosti, a tedy zvýšení životnosti. Žebra se také zvlňují kvůli zvýšení jejich plochy. Jedná se o poměrně přizpůsobitelnou část, jelikož můžeme variovat šířku a výšku, tloušťku pomocí počtu řad trubek (standardně se využívají 3 řady, ale u vyšších kapacit i 4 a 5 řad), případně se může přidat ohnutí čímž se dále zvyšuje kapacita výparníku. Na základě rešerše jsem zjistil že se jedná o součást vyráběnou na míru, podle přesných požadavků daného čerpadla (vycházejí z propočtu potřebné kapacity a požadovaných rozměrů). Obvykle se však nevyužívá výparník menší než 700 x 700 mm. Jak jsem již zmiňoval, výparník by musel být umístěn na straně obrácené k fasádě.

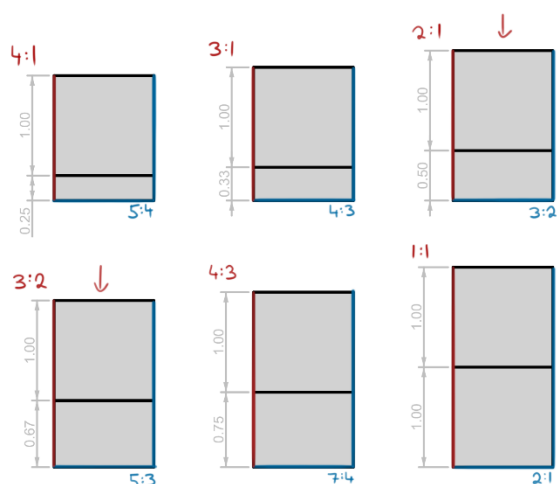
Posledním komponentem, který bude důležitý pro dimenzování čerpadla je kompresor. Jedná se o součást válcového tvaru o průměru kolem 150 mm, výšce do 450 mm a rozměru montážního podstavce 200 x 200 mm. Do tepelných čerpadel se využívají kompresory svislé, jelikož mají delší životnost a nejedná se o aplikaci se striktními požadavky na prostor. Horizontální kompresory mívají horší mazání a využívají se tedy v situacích, kdy se svislý kompresor nevejde. Příkladem jsou dopravní prostředky. Kompresor není součástí, která se servisuje, takže pokud bych zvolil variantu venkovní jednotky otočené o 90°, nebylo by nutně potřeba držet velikost servisního přístupu v souladu s výškou kompresoru.

Invertor a elektroniku jsem dimenzoval pomocí odhadu z existujících řešení. Ostatní komponenty čerpadla jsou vcelku drobné a pohodlně se vejdu do prostoru vytvořeného sestavením zmíněných součástí. Nejsou tedy pro určení vnitřní zástavby a dimenzování celého čerpadla nezbytné. Tyto součásti jsem dohledal z katalogu výrobce Danfoss abych mohl později své varianty ověřovat.

Výběr jsem zakládal na podkladech kvýběru součástí tepelných čerpadel, dostupných na jejich webu³⁰.

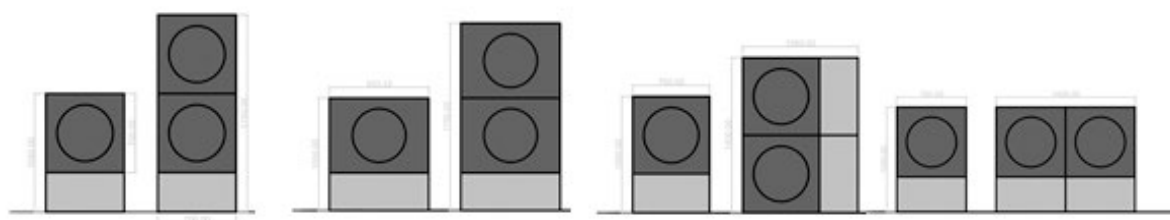
4.1.3 Proporce

Vycházejí z úvah o koncepci mého návrhu a z rozměrů zjištěných ke komponentům jsem začal řešit proporce zařízení. Rozhodl jsem se zpracovávat variantu orientovanou na výšku. Pracoval jsem s čtvercem o rozměru 700 x 700 mm, který vychází z velikosti větráku a výparníku.



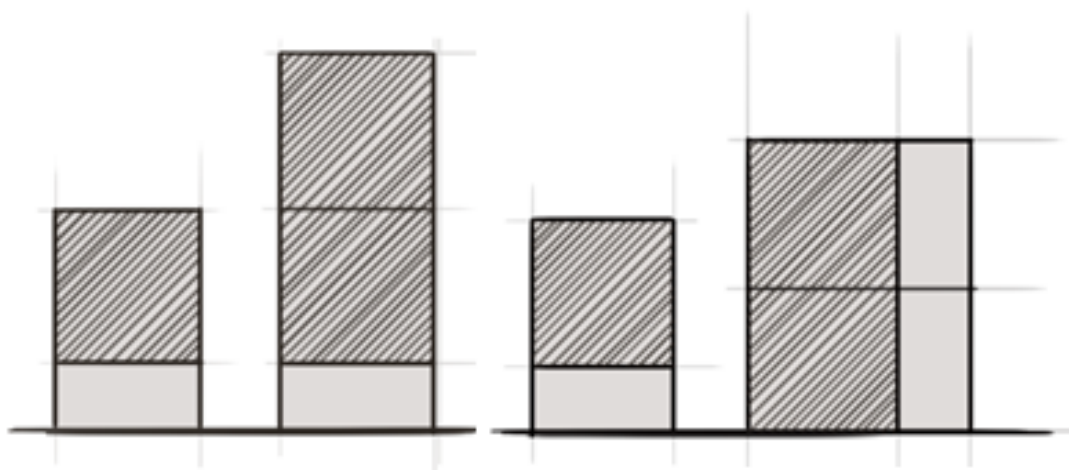
Obr. 14: Autorská tvorba, Poměry venkovní jednotky, skica, 2022

Testováním poměru výšky větrákové a servisní části jsem došel k tomu, že nejlépe funguje varianta o poměrech 2:1, a tedy o poměru stran celkového tvaru 3:2.



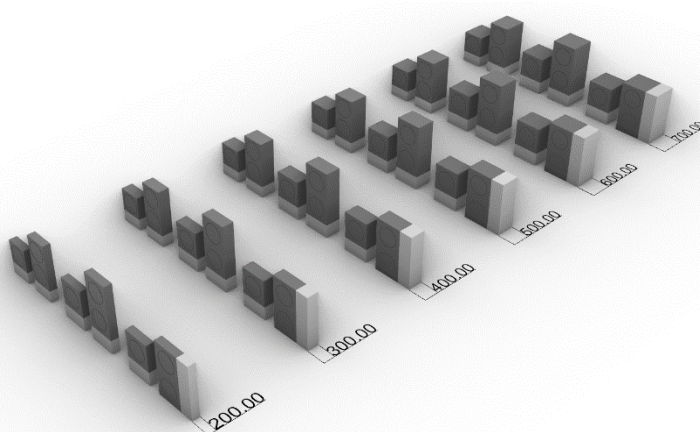
Obr. 15: Autorská tvorba, Varianty nárůstu venkovní jednotky, skica, 2022

U zvolené varianty jsem se dále zabýval řešením výkonnostních variant. Rozměry čtvercového pole jsem zvětšil na 750 x 750 mm, jelikož kolem výparníku ještě musí být prostor kvůli konstrukci, montáži pohledových panelů a zapojení trubek chladícího oběhu. Zároveň se u konkurence jedná o standardně využívaný rozměr čerpadla. Vzhledem k tomu, že jedním z požadovaných parametrů byla unifikace dílů, jsem se rozhodl zvažovat pouze varianty jednodimenzionálního nárůstu. Ten může být buď do výšky nebo do šířky. Testoval jsem i zasazení větráku do obdélníkového pole, kvůli zvýšení pocitu stability, ale toto bylo v rozporu s cílem snížení zástavby čerpadla oproti konkurenci.



Obr. 16: Autorská tvorba, Vybraný typy nárůstu venkovní jednotky, skica, 2022

Zvolil jsem dvě varianty. U varianty vlevo je nárůst čistě do výšky. Báł jsem se však, že výsledná výška 1875 mm, je příliš veliká. Mohlo by to narušovat proporce, a působit nestabilně. Také by takovéto čerpadlo bylo vyšší než průměrný člověk, což by při instalaci v obývaném prostoru, jako například zahrady rodinného domu, mohlo vyvolávat negativní emoce. Proporčně si však dovoluím tvrdit, že je varianta v pořádku. Nepůsobí ani vysloveně labilně, a v blízkostí rezidenční zástavby existují objekty podobné velikosti a poměru stran, jako například pilířové rozvaděče. Zároveň by se větší varianta nevyskytovala v přímo obývaném prostoru, jelikož výkonem odpovídá budovám s větší rozlohou nežli standardní rodinné domy. Druhá varianta zachovává menší z dvou jednotek identickou, ale u větší jednotky je nárůst do výšky proveden v orientaci typické pro konkurenci. Toto řešení má přijatelnější výšku 1500 mm a může působit stabilněji. Toto mi však nepřijde dostatečné k tomu abych kompromitoval jeden z klíčových uzlů své práce v podobě plošné zástavby.

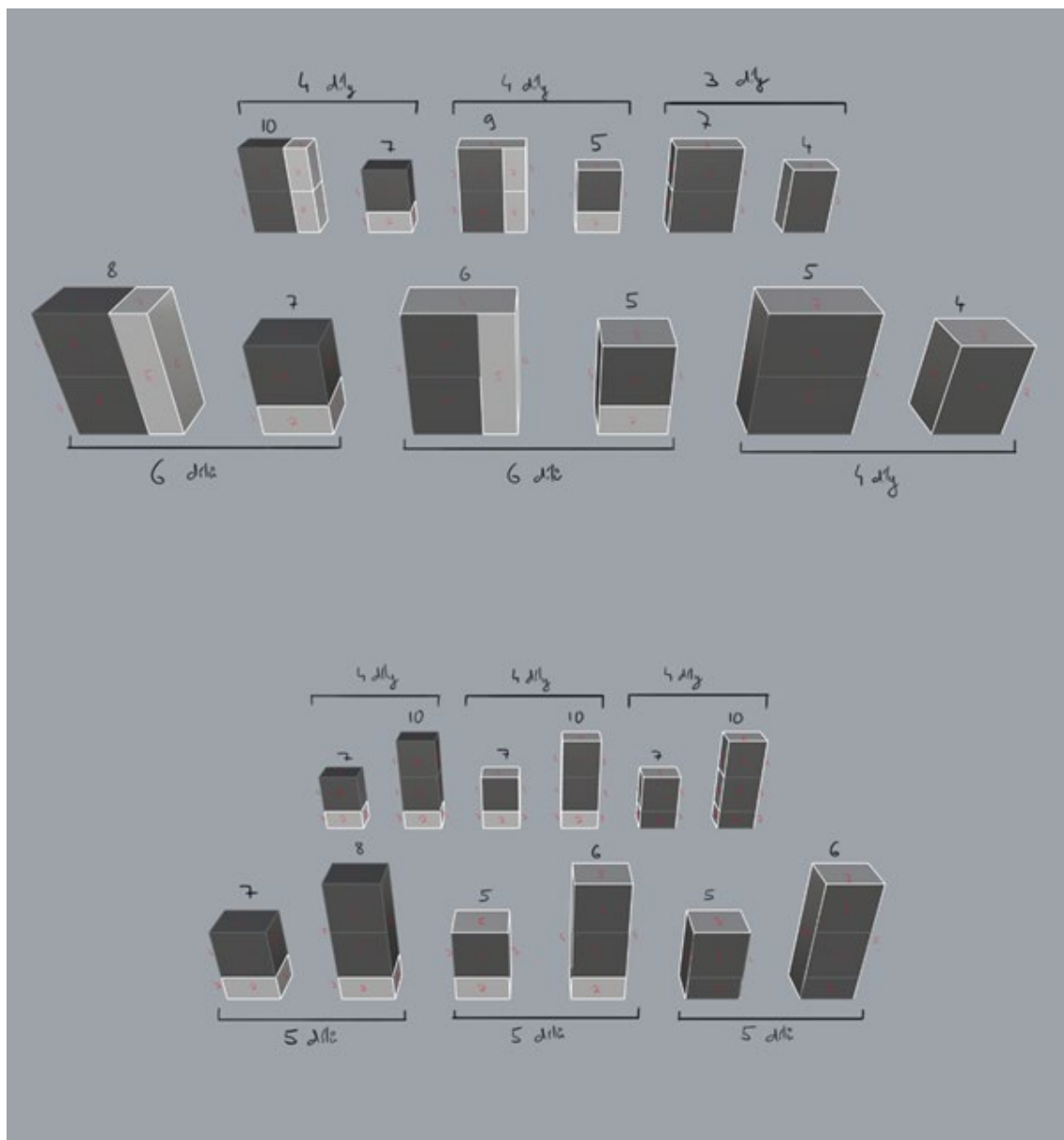


Obr. 17: Autorská tvorba, Tloušťky venkovní jednotky, 3D skica, 2022

Zvolené varianty jsem testoval i ve 3D, jelikož čelní pohled není plně vypovídající. Potřebám komponentů odpovídají tloušťky 400 a 500 mm. Tyto rozměry zároveň působí nejproporčněji. Přikláněl jsem se spíše k tenčí variantě

400 mm, ale později v práci, během testování vnitřního uspořádání komponentů, jsem došel k tomu, že by výsledná tloušťka musela být 450 mm. Zároveň jsem si na těchto modelových variantách ověřil vnímanou stabilitu vysoké varianty, o které jsem pochyboval. Řešení považuji za vhodné.

U zmiňovaných variant jsem zkoušel i různé možnosti dělení vnějších panelů. U všech typů dělení jsem počítal celkový počet dílů a počet typů dílů. Pokud k variantám přičtu počet konstrukčních prvků (dno a zadní stěna) tak vycházejí stejně. Výhodu vidím však u pilířové varianty, jelikož výrobně složitější díly jako dno nebo stříška jsou zde unifikované u malé i velké varianty.

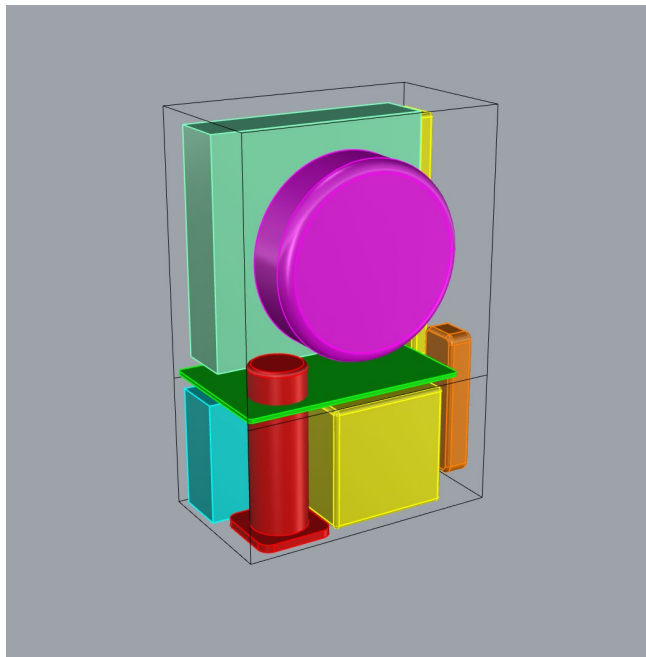


Obr. 18: Autorská tvorba, Dělení panelů, 3D skica, 2022

Ve výsledku jsem se tedy rozhodl zpracovávat variantu pilířovou, kde malá i velká vnější jednotka má oproti konkurenci znatelně nižší plošnou zástavbu. Zároveň nepůsobí disproporčně a splňuje požadavek unifikace dílů.

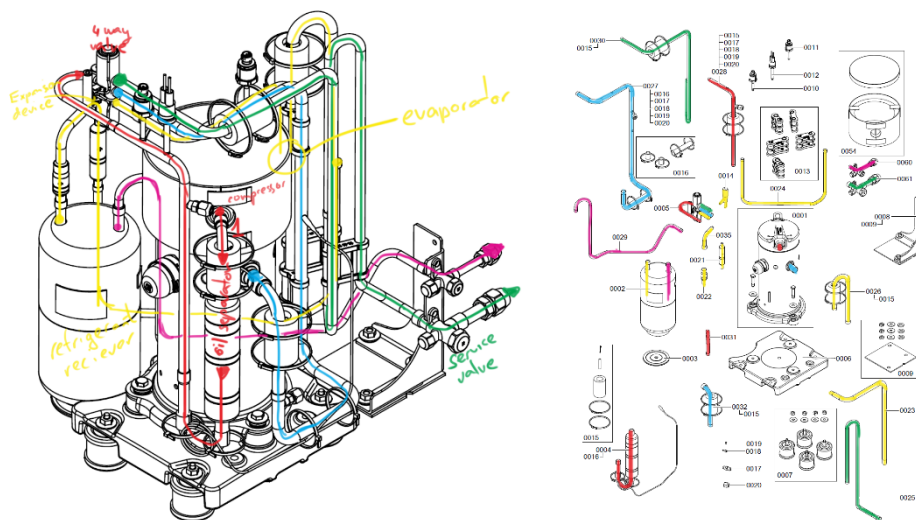
4.1.4 Ověření vnitřní zástavby

S hrubými rozměry a zvolenou variantou řešení venkovní jednotky jsem mohl koncept ověřit pomocí výběru reálných komponentů a tím ověřit proveditelnost.



Obr. 19: Autorská tvorba, Zástavba komponentů, 3D skica, 2022

Větrák a výparník se do čtvercového pole o rozměrech 750 x 750 mm vejdou pohodlně. Z dílů, které se osazují do spodní, servisní části, je největší kompresor. Spodní část má výšku 375 mm, zatímco kompresor může dosahovat výšky až 450 mm. Přirozeně se tedy nevejde do spodní části bez toho, aby přesahoval. Jak jsem již dříve zmiňoval, kompresor není však součástí, která by se běžně servisovala. Není tedy nutné k němu mít servisní přístup. Kompresor může klidně přesahovat do horní části čerpadla, jelikož větrák je válcového tvaru a poskytuje prostor kam může kompresor přesahovat, jak je zřejmé z obrázku. Otestoval jsem i zda se vejdou ostatní součásti.



Obr. 20: Autorská tvorba, Zapojení chladicího oběhu, skica, 2022

Jelikož vše vyhovovalo mým požadavkům, pustil jsem se do modelování celého chladicího oběhu. Z výkresů firem Bosch a Viessmann jsem si vytvořil diagram zapojení jednotlivých komponentů. Pomocí něho jsem mohl zachovat jejich správnou návaznost, a tedy i funkčnost svého návrhu. První varianta měla několik nedostatků. Připojení do výparníku a vývody chladiva do vnitřní jednotky se mi dostali na opačné konce venkovní jednotky a oběh tedy zabíral více místa, než bylo potřeba. Zároveň jsem tento prostor chtěl využít pro umístění invertoru. V druhé variantě jsem tedy oběh uspořádal tak aby vývody byly na stejné straně a celý oběh tedy byl kompaktnější. Z čelního pohledu se vývody do vnitřní jednotky zvyknou dávat na pravou stranu, což nehodlám měnit. V této variantě se může zdát, že 4cestný ventil je zapojen neoptimálně, protože $\frac{3}{4}$ jeho větví pokračují v trubku ohnutou o 180° . Toto jsem ale udělal, aby vznikl dostatečný prostor pro připojení různých senzorů teploty, tlaku apod. Zároveň jsem přidal servisní ventily, které jsem v původní variantě opomenul. Rozhodl jsem se je umístit do čelní části čerpadla, aby byly pohodlně dosažitelné skrze servisní přístup. Poslední drobnou úpravou oběhu byla změna polohy několika prvků, aby veškeré ohyby měděného potrubí byly 90° nebo 180° .



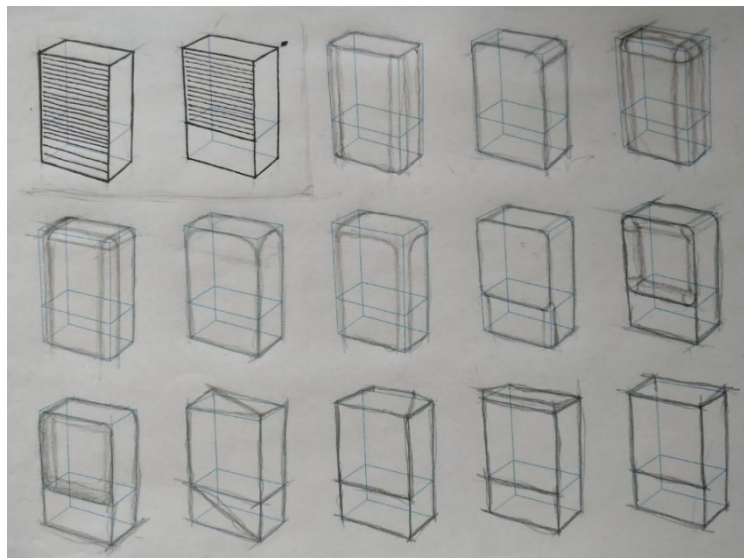
Obr. 21: Autorská tvorba, Chladící oběh 1, 3D model, 2022



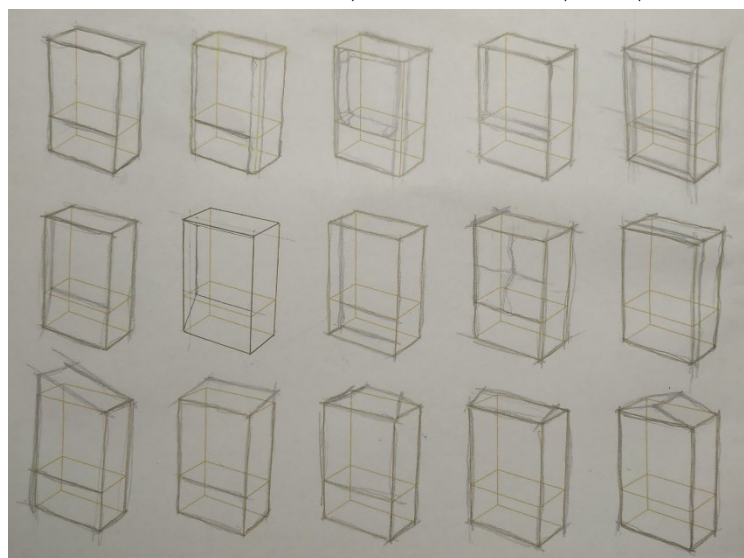
Obr. 22: Autorská tvorba, Chladící oběh 2, 3D model, 2022

4.1.5 Tvarování

Po ověření funkční stránky projektu jsem se pustil do tvarování. Prvním krokem tohoto procesu bylo nalezení limitů stanovených technickou stránkou zařízení.

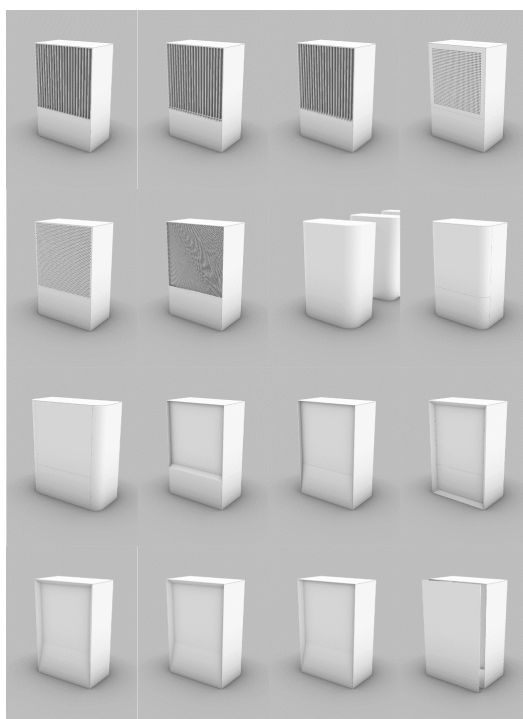


Obr. 23: Autorská tvorba, Skici tvarování 1, skica, 2022

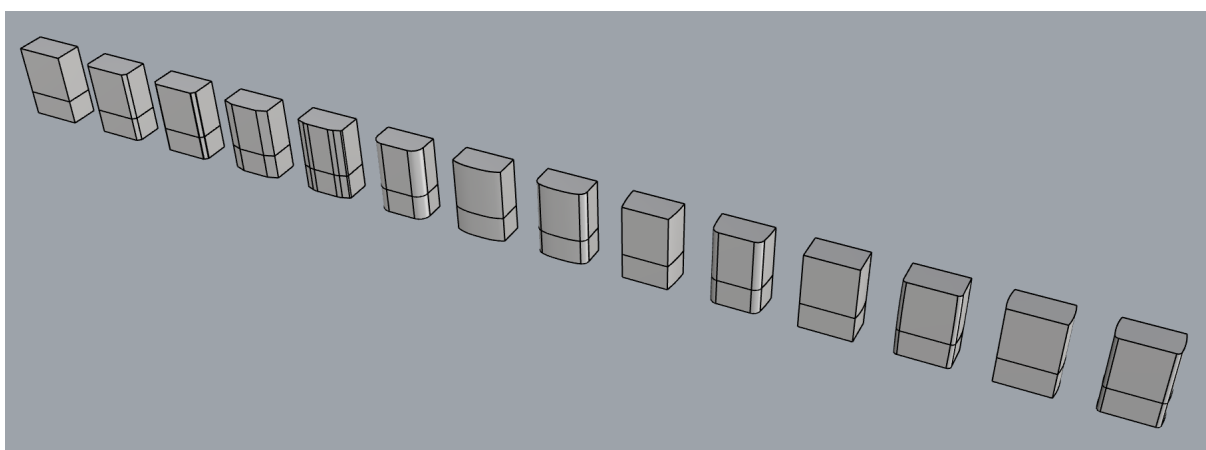


Obr. 24: Autorská tvorba, Skici tvarování 2, skica, 2022

Skrze řadu skic jsem testoval různé pojetí hmoty pomocí rádiusů, zkosení, prohnutí nebo prolomení ploch a hran. Hlavní závěr, který jsem vyvodil z těchto úvodních skic je, že tvarovacích možností celkové hmoty čerpadla není mnoho. Svislé zadní hrany a střecha mají rozměry dané větrákem a výparníkem, který celý tento prostor vyplňuje. To samé platí i pro boční stěny a spodní část čelní plochy, za kterou jsou schované komponenty chladicího oběhu a elektronika. Na zadní ploše by šlo ubrat hmotu dole, ale nejedná se o pohledovou část čerpadla. Na čelní ploše si můžu dovolit odebrat hmotu podél svislých hran v podobě zaoblení nebo zkosení. Pokud bych chtěl dosáhnout zásadnějšího tvarování, tak by šlo jednotce přidat hmotu, ale takové řešení je nesmyslné, protože narušuje koncepci vnější jednotky, která se zakládá na zmenšení půdorysu.



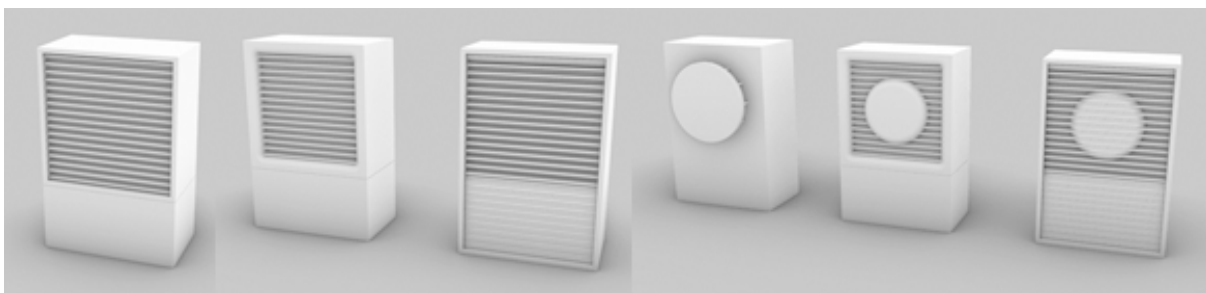
Obr. 25: Autorská tvorba, Skici tvarování 3, 3D skica, 2022



Obr. 26: Autorská tvorba, Možnosti tvarování dle vnitřní zástavby, 3D skica, 2022

Se zmíněnými svislými čelními hranami lze pracovat například pomocí zaoblení nebo zkosení. Aplikace takového prvku odlehčuje celkovou hmotu a vytváří dojem bližší spotřební elektronice. Takovéto řešení však nemusí být natolik univerzální. Například varianta se zaoblením by mohla vypadat dobře vedle funkcionalistické vily, ale u obyčejného rodinného domu by nesplynula s prostředím. Je potřeba myslet na to, že se opláštění bude vyrábět z plechu. To znamená, že zaoblení o velkých rádiusech nebo jakékoliv jiné, více organické tvarování by zásadně přidalo na výrobních nákladech, nebo by ji zcela znemožnilo. U plechu se vytváří ohyby s poměrně malým vnitřním rádiusem. Vnitřní konstrukce bude celá pravoúhlá a musí se na ní upevňovat vnější panely. Kompaktní, kubická hmota na mě působí nejlépe, jelikož se jedná o efektivní využití prostoru, které je univerzální a odpovídá vesměs libovolnému typu architektury. Zároveň je i jednoduše vyrobitelná a u vysoké verze vnější jednotky působí stabilněji.

Jakékoliv asymetrii v návrhu by bylo dobré se vyhnout, jelikož musím zachovat maximální flexibilitu instalace. Zároveň by co nejvíce dílů mělo být shodných kvůli jednodušší výrobě a logistice. Přemýšlel jsem i o odsazení plochy, do které bude vsazen větrák, ale vzhledem k tomu, že to nevyžaduje zástavba, a že vznikají nebezpečně působící hrany jsem tuto variantu zamítl. Testoval jsem i dříve zmíněné kompletní zakrytí větráku pomocí překrytí čelní plochy, ale to by muselo vystupovat nad úroveň čelní plochy pro zajištění proudění vzduchu a zároveň by to značně ztížilo přístup ke komponentům a elektronice ve spodní části čerpadla. Alternativně by šlo zakrýt pouze větrák pomocí čtvercového nebo kruhového panelu, což zlepší přístup do spodní části čerpadla, ale pořád by vystupovalo z čelní plochy. Takovéto řešení nepůsobí esteticky vyváženě, protože přidávám hmotu poměrně vysoko od země. Zároveň tím vytvářím ostrý zlom, který by přidal vnímaný nebo i defacto možný bod mechanického selhání opláštění. V neposlední řadě jsem uvažoval i o olemování prvků čelní plochy, ale tenkostěnné řešení, při kterém je přiznaná pouze tloušťka materiálu mi přijde modernější a elegantnější. Zároveň nechává více prostoru pro zakrytí větráku, což je část čerpadla, která má největší tvarovací možnosti a bude tedy udávat charakter čerpadla.



Obr. 27: Autorská tvorba, Návaznost zakrytí větráku na okolní plochy, 3D skica, 2022

Jelikož bude hlavním vzhledovým prvkem jednotky zakrytí větráku, zkoušel jsem jeho návaznosti na zbytek opláštění. Výrobně nejjednodušším řešením je absence jakékoliv návaznosti. Větrák bude od okolní plochy zjevně vyčleněn. Můj první dojem byl, že tím akorát na větrák budu upozorňovat, což je kontraproduktivní k cílům projektu. Ale pokud efektivně využiji zmíněné metody skrytí větráku (částečné překrytí, adekvátní barevnost), tak budu upozorňovat na mřížku, a ne na větrák. Zároveň takovým členěním kopíruji prvky na fasádách zástavby (okna, dveře apod.), vedle které může čerpadlo stát. Alternativně mohu mřížku na okolní plochy navázat buď jejím přímým tvarováním, nebo přidáním lemující plochy, která sjednotí „propad“ v místě větráku s kubickou hmotou celého čerpadla. To by ale bylo výrobně složitější a také prostorově náročnější, takže bych si musel dát pozor na kolize s vnitřní zástavbou komponentů. U možnosti přímého zakrytí celého větráku jsem již upozorňoval na četné nevýhody. Jejím přímým začleněním do mřížky bych ale mohl dosáhnout řešení, které není nad rámec požadovaného objemu. Překrytí by se dostalo blíže k větráku, což by ale zásadně

omezilo proudění vzduchu. Z tohoto důvodu považuji přímé zakrytí za nevhodné. Zmiňovaná řešení jsem testoval i na velké vnější jednotce, což vyzdvihlo další problémy. U variant s jakoukoliv návazností na okolní plochy dochází k vytvoření předělů při stohování dvou mřížek nad sebe. Jedná se o vizuálně rušivý prvek.

Za hlavní body návrhu vnějšího opláštění považuji kompaktnost hmoty a dělení ploch z estetického i funkčního hlediska. Jako nejvhodnější jsem shledal jednoduché kubické řešení.

4.1.6 Zakrytí větráku

Jelikož celkové zakrytí větráku nepřichází v úvahu rozhodl jsem podrobněji rozebrat možnosti částečného skrytí. Jednalo by se o panel, který přijde na čelní plochu před větrák. Měl by v sobě mít, které umožňují proudění vzduchu s minimální obstrukcí. Překrytí větráku by mělo hned několik funkcí. První je estetika – jedná se o výrazový prvek celku čerpadla a také o způsob skrytí větráku. Má však i funkční vlastnosti, které je potřeba naplnit. Jedná se o formu ochrany větráku, výparníku a zbytku vnitřních součástí. Mřížka může zabraňovat vniknutí cizích objektů. Může se jednat o hrubou špínu, nebo například zvířata, či i nežádané lidské vniknutí. Tímto je určen maximální průměr kolem 10 mm jednotlivých otvorů. Zároveň by mřížka měla být vzdálena zhruba 10 cm od větráku, aby nebylo možné k pohyblivým součástem vniknout ani delším objektem, jako šroubovákem. Toto však není tak klíčové, jelikož větráky mívají svou vlastní bezpečnostní mřížku, která by takovému vniknutí měla zabránit. Filtraci procházejícího vzduchu od drobnějších částic není potřeba, jelikož jednotlivé komponenty, které by mohly trpět kvůli znečištění prachovými částicemi již mají integrovaný adekvátní stupeň krytí. Hromadění prachu by mohlo snižovat efektivitu výparníku, ale vzhledem k tomu, že během provozu zařízení tudy neustále proudí vzduch, tak by nadměrná akumulace neměla být problém. Výparník je hermeticky uzavřen, takže v případě potřeby není problém ho očistit proudem vody, nebo ofukovací pistolí. Zakrytí větráku poskytuje také mechanickou ochranu. V případě nárazu nebo kolize, která by mohla způsobit poškození součástí, slouží mřížka jako ochranný prvek. Měla by mít dostatečné mechanické vlastnosti pro absorpci energie bez jejího poškození. Pokud by však k poškození došlo, tak je výměna mřížky relativně levná v porovnání s komponenty.

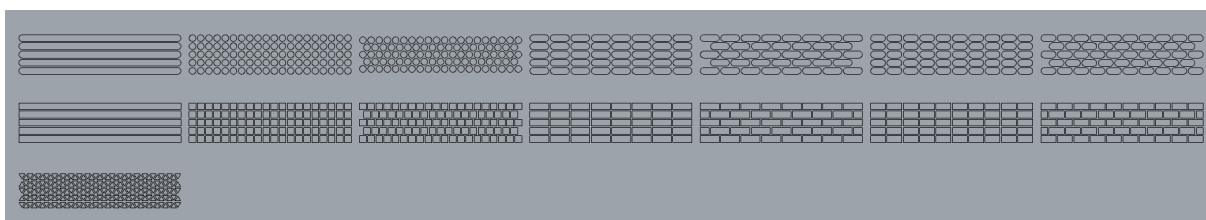
Nejprve se chci zaměřit na estetické hledisko. Jelikož jedním z hlavních cílů je skrytí větráku, je potřeba aby samotná mřížka byla kvalitně zpracována, protože se stane dominantním výrazovým prvkem. Skrytí větráku je z části řešeno pomocí fyzické obstrukce (části mřížky bez otvorů). Mřížka bude zastiňovat vnitřní prostor čerpadla, čehož lze využít pro splynutí větráku s okolní plochou použitím adekvátní barevnosti. Během tvarování mřížky je potřeba myslet na fakt, že se na

čerpadlo nemusím nutně dívat z čelního pohledu. Naopak, častější situací bude pohled pod určitým úhlem. S mřížkou je tedy možné pracovat i třídimenzionálně pro větší ozvláštňení vizuální identity.

Obecně bych viděl dva přístupy k jejímu řešení. Buďto může být zpracována graficky, nebo hmotově. Při skulpturálním zpracování lze do návrhu zapracovat prvky, které podpoří vytracení technického aspektu a s ním spojených emocí. Může se jednat například o přidání měkkosti. Musím si ale dát pozor, aby se čerpadlo začlenilo do prostředí, ve kterém bude existovat. Přece jen se jedná o statický objekt umístěný v kontextu architektury.

Zabýval jsem se otvory. Ty budou jak na čistě graficky zpracované mřížce, tak i na tvarované variantě. Řešil jsem tedy jejich tvar a způsob rozložení. Otvory lze řadit různě, ale mezi ty standardnější typy uspořádání patří pravoúhlé, radiální, trojúhelníkové a šestiúhelníkové rastry. Existuje spousta dalších rastrů, ale kvůli zmíněné potřebě dodržet poměrně neutrální výraz je považuji standardnější uspořádání za vhodnější.

Varianty radiálních, trojúhelníkových a šestiúhelníkových rastrů nepovažuji za vhodné, jelikož se jedná o tvarové řešení, které svým soustředným upořádáním upozorňuje na přítomnost větráku a zároveň nekoresponduje s tvarem vnějšího opláštění.

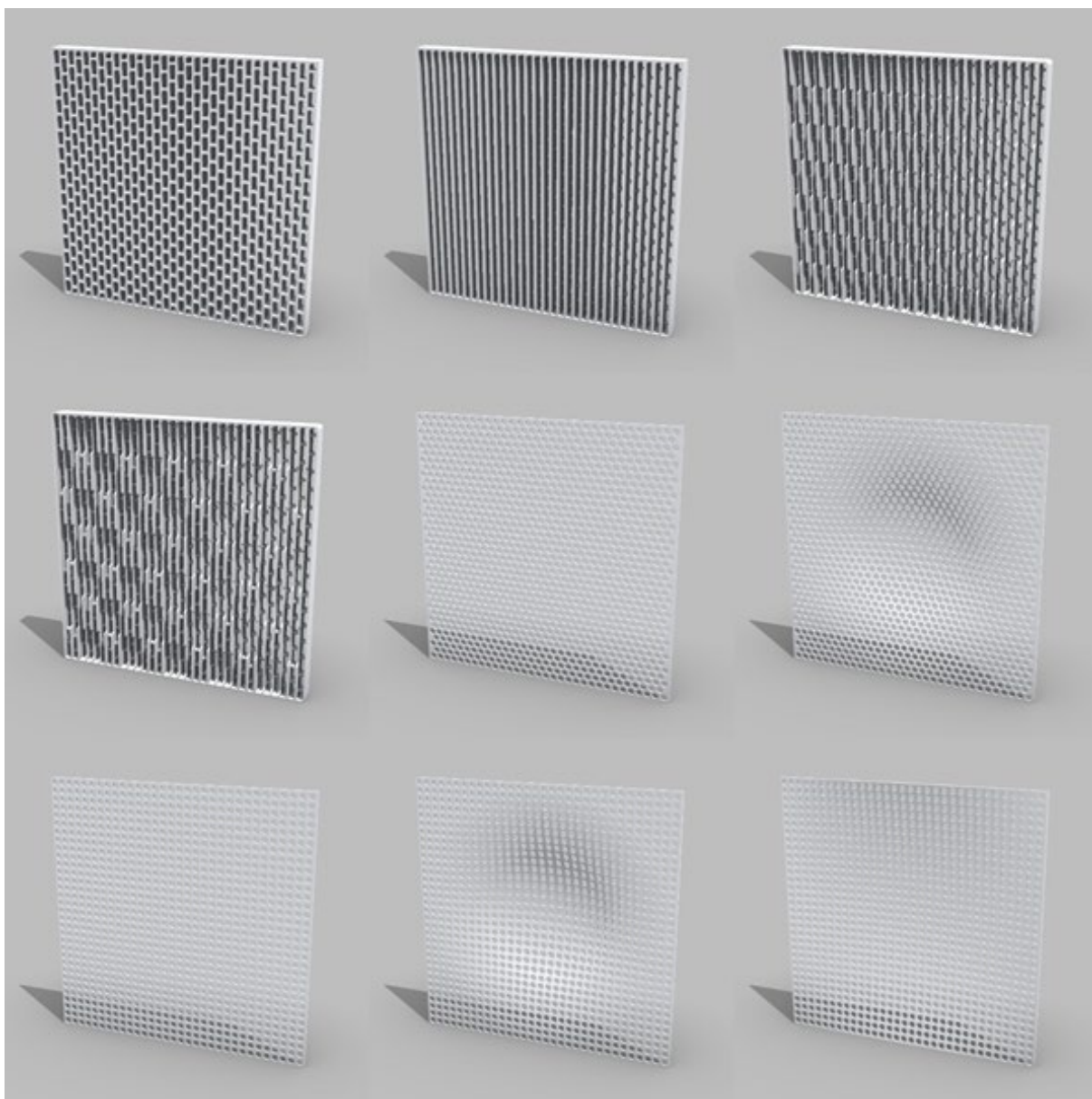


Obr. 28: Autorská tvorba, Otvory mřížky, skica, 2022

Pro pravoúhlé uspořádání jsem testoval různé velikosti otvorů. Vycházel jsem z poměrů již využívaných na čerpadle. Těmi jsou 1:1, 2:1, 3:2 a u velké jednotky i 5:2. Z testovaných variant mi přišli nejlepší otvory o poměrech 1:1 nebo 2:1. Nakonec jsem zvolil variantu 2:1 s posunem o ½ délky v přilehlých řadách, jelikož je tvarově zajímavější než obyčejná čtvercová mřížka, ale podvědomě vytváří dojem shodný s variantou 1:1, což koresponduje s celkovým tvarem mřížky.

Začal jsem zpracovávat varianty řešení mřížky ve 3D. Na základě rozměrů řešených v podkapitole Ověření vnitřní zástavy jsem si stanovil hloubku mřížky na 50 mm. V prvních variantách jsem se díval na grafické řešení, které by bylo vyráběné z perforovaného plechu. Jako protipól jsem testoval i mřížky tvarově pojaté, kde jsem se pokoušel více pracovat s třetí dimenzí. Nosným principem takového řešení je zachování kontinuálních tvarů tvořených vybraným rastrem v podobě dlouhých žeber, které překlenují celý prostor mřížky. Pokud však chci

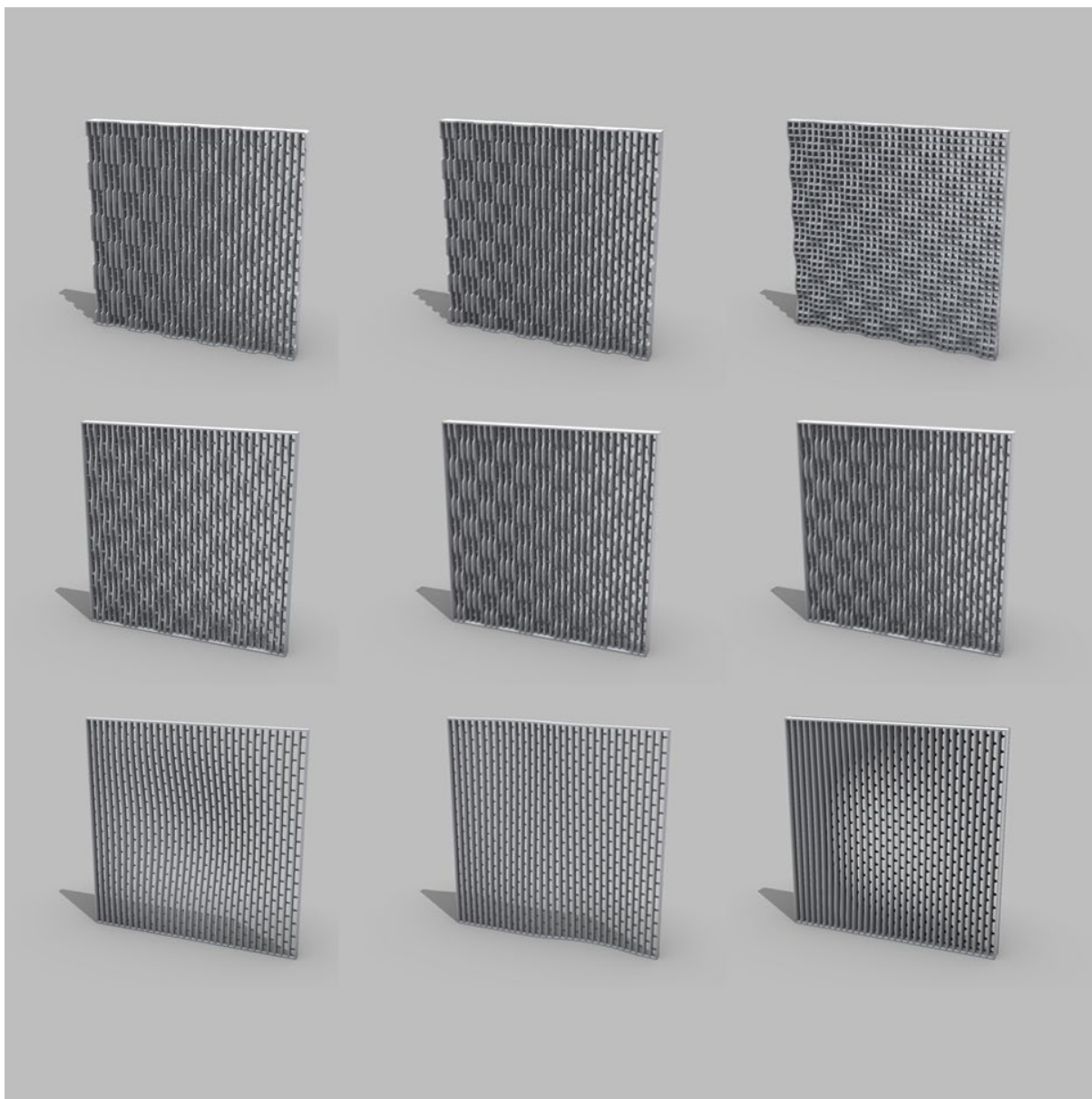
pracovat s žebry přes celou mřížku, bylo by dobré je orientovat svisle, jelikož se jedná o konstrukčně smysluplnější řešení. Svislá žebra lépe kryjí větrák při pohledu pod úhlem. Pokoušel jsem se i o tvarování mřížky ve více úrovních hloubky.



Obr. 29: Autorská tvorba, Varianty tvarování mřížky 1, 3D model, 2022

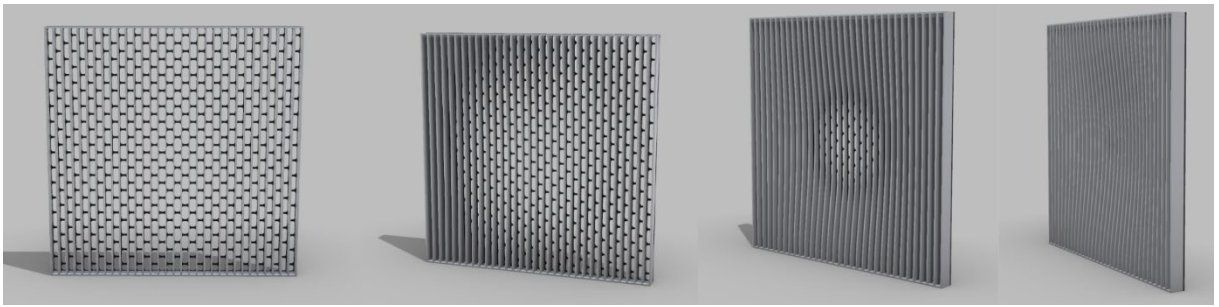
Z nahozených variant jsem viděl největší potenciál v tvarovém řešení mřížky. Tímto směrem jsem se tedy ubíral dále a variantu mřížky z perforovaného plechu jsem zavrhl. Dále jsem testoval různé grafické uspořádání výstupků a zkoušel i jejich plynulejší návaznost. Došel jsem však k tomu, že takto řešená mřížka sice možná izolovaně působí zajímavěji, ale pokud si ji představím v kontextu čerpadla, tak se jedná spíše o prvek neelegantní, který může kvůli výstupu nad úroveň čelní plochy působit nebezpečně. Třetí úroveň tvarování jsem se nechtěl zbavovat, jelikož vyprodukované varianty rozhodně působili zajímavěji než varianty počáteční. Testoval jsem tedy kultivovanější a plynulejší zpracování

pomocí tvarování celé čelní plochy svislých žeber místo lokálních výstupků. Z testovaných variant nejlépe vyšla varianta se sférickým propadem uprostřed, který po hranách tečně navazuje na pomyslnou čelní plochu.



Obr. 30: Autorská tvorba, Varianty tvarování mřížky 2, 3D model, 2022

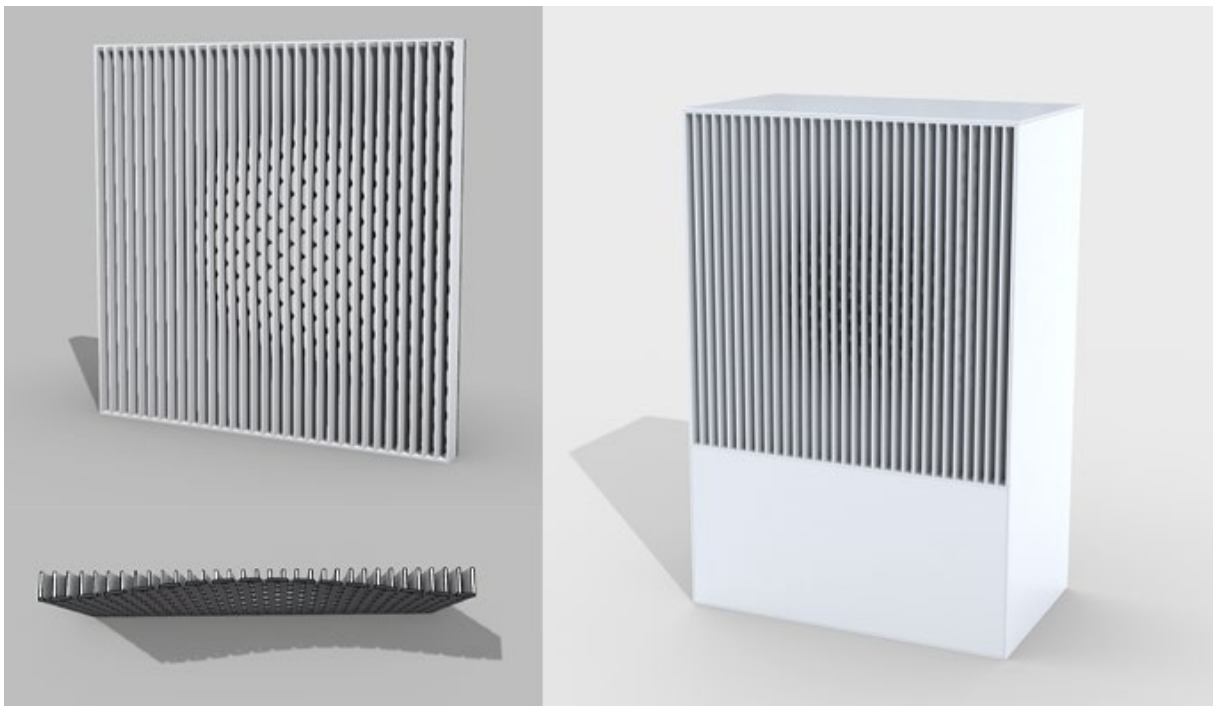
Zároveň poskytuje takovéto řešení poměrně zajímavý optický aspekt. Tím že se variuje hloubka žeber, tak pod různými úhly pohledu je úroveň zakrytí jiná. Při proměně úhlu pohledu se zároveň vykreslují různé kruhové obrazce. Původně jsem říkal, že odkazovat kruhovými formami na prezenci větráku je nežádoucí, ale to se vztahovalo spíše na zahrnutí fyzických prvků. Jelikož se jedná pouze o optickou vlastnost mřížky, která svým fyzickým tvarováním naprosto koresponduje se zbytkem čerpadla, považuji to za přijatelné. Nejedná se o prvek zvýrazňující technický aspekt zařízení, ale spíše na decentní a elegantní odkaz na nedílnou část čerpadla.



Obr. 31: Autorská tvorba, Zvolená varianta tvarování mřížky, 3D model, 2022



Obr. 32: Autorská tvorba, Testované tvarování mřížky v kontextu, 3D model, 2022



Obr. 33: Autorská tvorba, Rozpracování zvolené varianty, 3D model, 2022

U zvolené varianty jsem začal zpracovávat detaily. Jako první jsem považoval za vhodné mít čelní plochu rovnou. Při jejím prohnutí či propadu může vyvolávat dojem neúmyslného prvku. Zároveň to narušuje hmotu kompaktně řešeného opláštění. Vyzkoušel jsem tedy toto tvarování přesunout na vnitřní plochu mřížky, na které jsou umístěné otvory. Toto řešení se vyvaruje veškerým problémům spojeným s prohnutím vnější plochy, a vzhledem k tomu, že zachovává i optickou vlastnost původního návrhu, tak mi přišlo vhodnější. Jelikož vnější jednotka bude narůstat do výšky tak se na ní vyskytnou dvě mřížky vedle sebe. Je potřeba zajistit jejich návaznost. Aktuální řešení vytváří mezi mřížkami viditelný spoj, jelikož má v těchto místech rámeček. Tomu by se šlo vyhnout jeho úplným odstraněním na vrchní a spodní hraně mřížky. To by ale znamenalo, že každé žebro se stane separátním dílem – výrobně by se jednalo o nesmysl. Zkoušel jsem tedy v těchto místech rámeček zachovat, ale posunout ho dozadu, čímž se spoj mezi dvěma mřížkami dostatečně upozadil.

Dále jsem řešil, jak by bylo možné takovouto mřížku vyrobit. Došel jsem k třem variantám – z plastu, z plechu či jejich kombinace. Výroba z plastu by znamenala, že celá mřížka (svislá žebra i odsazená vodorovná žebra) bude v jednom díle. To znamená že i barevnost bude jednotná. Skrytí větráku přímo pomocí barevnosti mřížky tedy nebude tak efektivní. Takovéto řešení ale zdůrazňuje optický efekt. Možnou nevýhodou výroby z plastu by byla nižší odolnost. Vzhledem k tomu, že se z plastů jako HDPE nebo PC dělají vysoce namáhané produkty určené do exteriéru, jako například dětská hřiště, mobiliář, nárazníky aut nebo zastřešení, tak by to nebyl zásadní problém. Existují i konkurenční řešení, která pro účely mřížky

využívají právě plast. Řešil jsem i ekonomické hledisko výroby z plastu. Jelikož se jedná o poměrně velký a komplikovaný díl, musela by i forma být komplexní. To zvyšuje nákladnost výroby. Dohledával jsem si ceny velkoplošných forem, a nejbližší typ mému řešení jsou formy pro výrobu plastových palet. Ty jsou sice tvarově méně komplikované, ale jsou zhruba 4krát větší. Cena takovéto formy se může sahat až k 2 500 000 Kč. To se zdá jako poměrně vysoký náklad, ale pokud to porovná s informacemi zjištěnými v podkapitole Ekonomičnost, tak vychází najevo, že by to nemělo být problematické. Rozpočítáním ceny na roční produkci pouhých 100 000 kusů, by jednotkový náklad vyšel na 25 Kč. Zároveň se nejedná o zařízení, které by bylo produkováno pouze 1 rok. Viessmann svou předchozí generaci čerpadel uvedl na trh v roce 2012 a novou generaci uvádí teprve letos, v roce 2022. To znamená že produkce trvala 10 let. Při takovém časovém měřítku se náklad sníží na 2,5 Kč na kus. Samozřejmě je potřeba zvažovat životnost takovéto formy. Nejnižší třída forem určených pro sériovou výrobu (Class 104) je určena do 100 000 vyrobených kusů. Při větší produkci je možné zvolit až Class 101, která je určená pro výrobu 1 000 000 nebo více kusů. Cena je vyšší, ale při naplnění počtu vyrobených kusů se jedná o ekonomičtější řešení. Proveditelnost výroby formy jsem konzultoval ve firmě KK Metal.

Druhým možným řešením by bylo vyrobení celé mřížky z plechu. Mřížka by musela být řešena ve dvou dílech, jedním jsou svislá žebra a druhým zadní panel s otvory. Problém tohoto přístupu je v tom, že svislá žebra mají každé jiný profil, a jejich výroba by tedy byla neekonomická. Zadní panel by byl proveditelný pomocí lisování nebo tažení do potřebného tvaru, ale toto také vyžaduje výrobu poměrně složitých forem. Alternativně by šlo mřížku zjednodušit a neřešit tedy zadní tvarování. Tím se však vytratí identita mřížky, a výsledné řešení bude velice podobné konkurenci.

Kombinací těchto dvou řešení bych mohl mít zadní panel z plechu a svislá žebra plastová. Takové díly můžu barevně odlišit. Díly ale nemohou být spojeny plošně, pouze bodově sešroubované či zacvaknuté. Plastová žebra by tedy byla křehčí nežli v celoplastovém řešení. Zároveň bych tímto přístupem zachoval výrobně nejsložitější části obou předchozích variant – potřeboval bych formy jak na vstříkování plastů, tak na lisování či tažení plechů.

Celoplastová mřížka mi přišla jako nejvhodnější řešení. Dořešil jsem teda drobné detaily. Na 3D modelu mřížky jsem přidal adekvátní zkosení 2° pro vyrobitelnost a jednoduché vyjmutí z formy. Zároveň jsem na konce svislých žebek přidal drobné zkosení 5 mm, abych při stohování mřížek nad sebe u velké venkovní jednotky mohl schovat drobné nesrovnalosti lícování dílů. Mřížku jsem také změnil odebráním jednoho svislého žebra, aby na střed čerpadla vyšla mezera, skrze kterou můžu přišroubovat spodní panel. Posledním detailem, který

jsem řešil až později během testování barevností, je způsob tvarování zadní plochy. Zjistil jsem, že aktuální řešení, kdy je mřížka nejhlubší po stranách má opačný efekt, než jsem požadoval – ve středu je nejsvětlejší a nejvíce odhaluje větrák. Směr tvarování jsem tedy obrátil. Finální mřížka je nejhlubší, a tedy i nejtmaší uprostřed, a po stranách blíže kopíruje opláštění čerpadla.

4.1.7 Čelní plocha

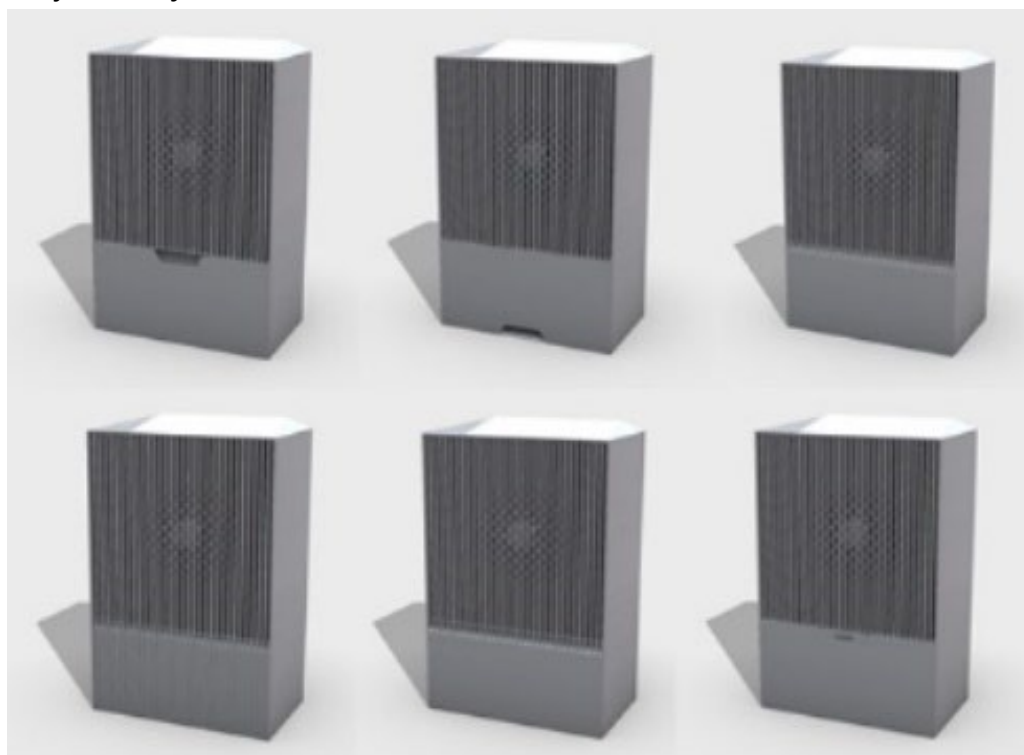
Spodní část čelní plochy musí být otevírací kvůli instalaci a servisu. Zadní plochu čerpadla беру jako nepřístupnou, vzhledem k její malé vzdálenosti od fasády budovy. Alternativně mohl servisní přístup přijít ještě na boční stěny, ale ty nemusí být tak dobře přístupné jako plocha čelní. Zároveň během konstrukčního řešení opláštění vyšlo najevo, že by boční plocha byla sjednocena do jednoho dílu s plochou vrchní a zadní. Mít zde přístup by bylo nesmyslné.

Důležité parametry pro řešení servisního přístupu jsou nezbytnost sundávání bez potřeby rozebrání zbytku čerpadla a zjištění odbornosti vniknutí do zařízení. Zákazník by tedy neměl být naváděn k jejímu rozebírání. Čelní panel také musí zakrýt otvory vzniklé odsazením rámečku na spodní hraně mřížky. Zvažoval jsem varianty upevnění čelního panelu pomocí zacvaknutí, šroubování, zámku nebo kliky.

Varianty zacvaknutí a kliky jsem zavrhl jako první, jelikož se jedná o řešení, které by neznalého uživatele mohlo vybízet k vniknutí do čerpadla. Řešení pomocí kliky přidává zbytečnou komplexitu, tím pádem i potenciální bod selhání. Varianta na zámek by sice byla vhodná, ale zámek by musel být na čelní ploše, což by narušovalo vzhled čerpadla. Také by kvůli šířce panelu museli být zámky alespoň dva, což tento problém akorát prohlubuje.

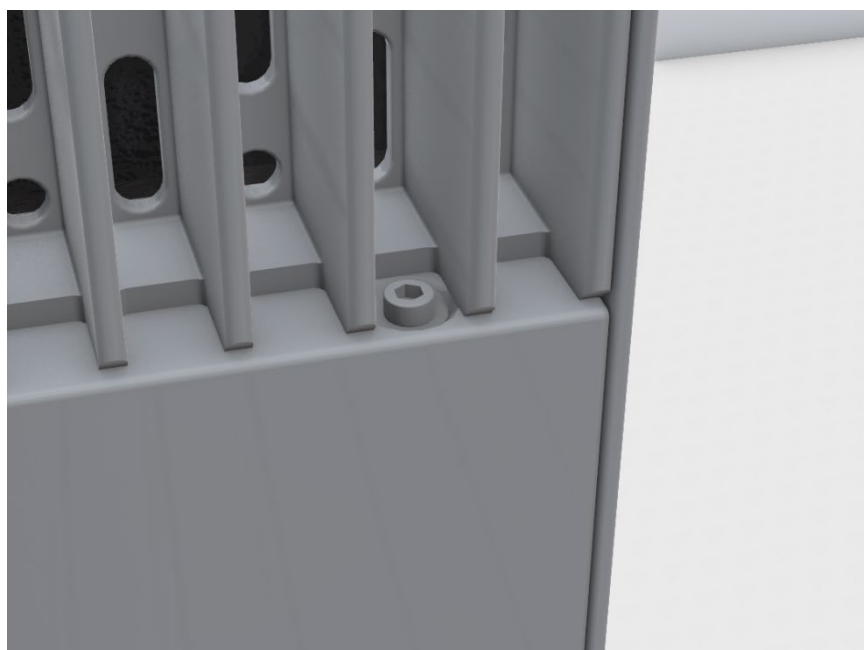
Zůstává pouze varianta šroubování. Během konzultace projektu ve firmě KK Metal vyšlo najevo, že i šroubové spoje se považují za odborné vniknutí do zařízení, takže pro můj účel by byly vhodné. Zároveň lze využívat různé speciální hlavy šroubů, nálepky nebo barvy, které budou dále odrazovat zákazníka od intervence. Jak jsem zmiňoval u zámků, nepovažuji za vhodné umísťovat spojovací prvky na čelní plochu. Testoval jsem tedy varianty skrytí šroubů pomocí návaznosti na tvarování mřížky. Toto ale nepovažuji za vhodné, kvůli vysoké tvarové složitosti panelu. Jelikož jsem čelní panel řešil spolu s mřížkou, tak odsazení rámečku mřížky slouží nejenom ke skrytí předělu dvou mřížek nad sebou, ale poskytuje i prostor pro šroubování čelního panelu z vrchu. Šrouby v tomto místě by bylo možné řešit se zapuštěnou hlavou. Není to nezbytné,

protože by pravděpodobně stejně došlo k barevnému sjednocení šroubů se zbytkem jednotky.



Obr. 34: Autorská tvorba, Řešení čelního panelu, 3D model, 2022

U takto umístěných šroubů jsem se bál, že by se znemožnil přístup k nim. Jsou orientovány svisle, mezi žebry mřížky jejichž rozpětí je pouze kolem 2 cm. S využitím adekvátního nářadí jako například imbusového klíče s kuličkovou hlavou, nebo flexibilní násady na vrtačku, by však toto nebyl problém.

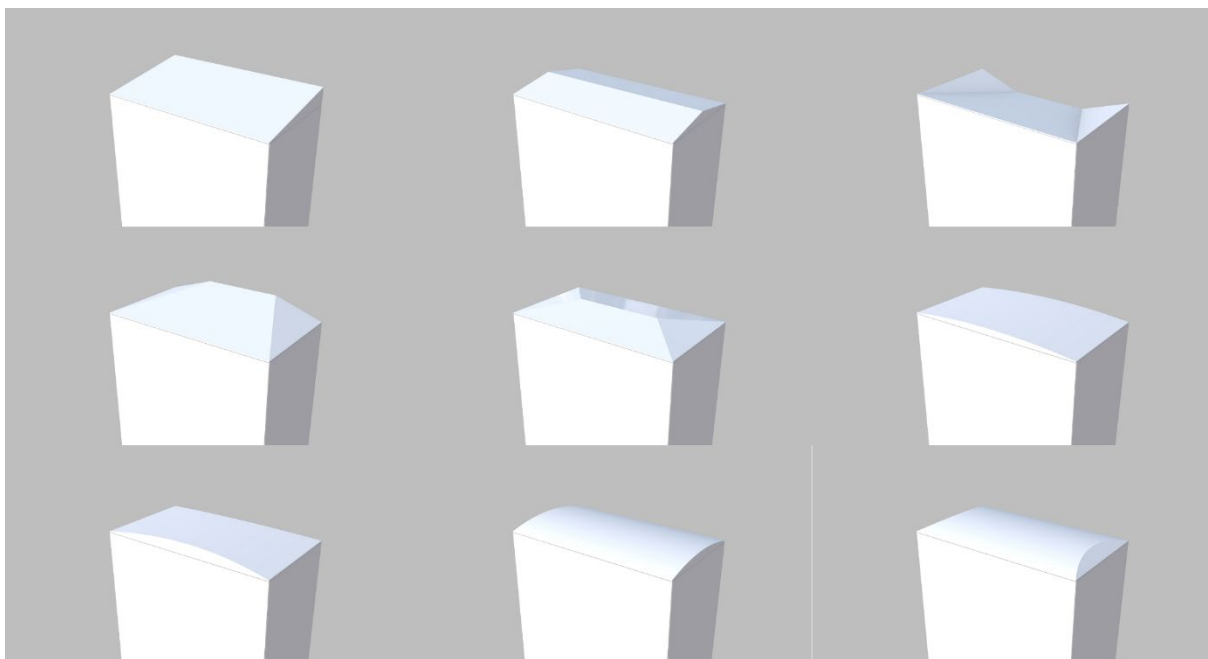


Obr. 35: Autorská tvorba, Zvolené řešení čelního panelu, 3D model, 2022

4.1.8 Stříška

Zastřešení venkovní jednotky je posledním aspektem opláštění, který jsem potřeboval vyřešit. Jelikož se jedná o produkt určený do exteriéru, bude vystaven vlivům počasí. Je tedy důležité, aby byl opatřen zastřešením, které jednak maximálně zamezí vniknutí vody dovnitř zařízení, ale také zajistí, aby voda, sníh či led nestáli na zařízení. Z vrchního pohledu se tedy musí jednat o nejširší část čerpadla, která kryje veškeré ostatní panely, abych se vyvaroval spárám. Existují dva přístupy k zastřešení – buďto se využívá přesah, nebo se může jednat o líčující panely

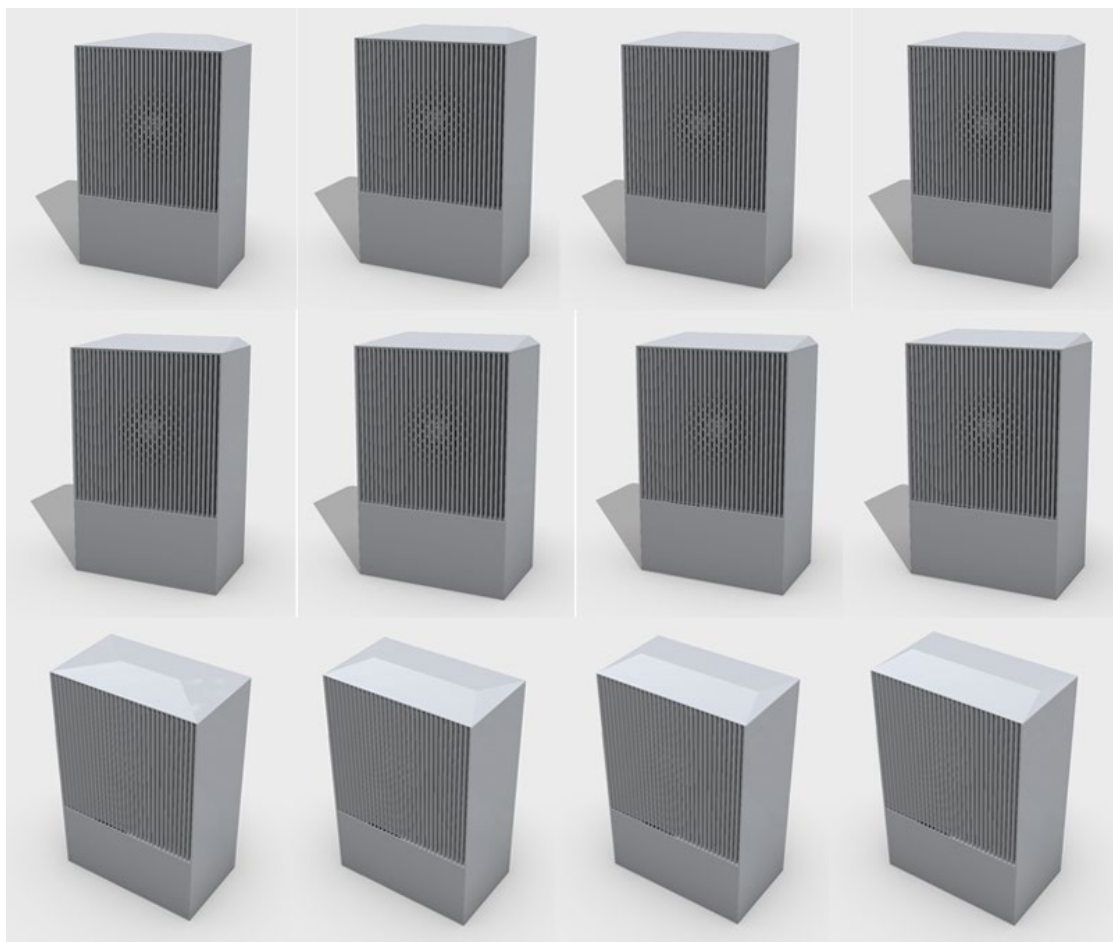
Jelikož jsem se při řešení zbytku opláštění rozhodl pro variantu tenkostěnnou, bylo by vhodné to zachovat i zde. Budu tedy řešit zastřešení pomocí líčujících panelů. Na jednoduchých 3D modelech jsem testoval několik základních přístupů k tvarování vrchního panelu. Pro vizuální jednoznačnost jsem zde využil úhel sklonu 10°, ale v reálu by pro požadované účely stačilo 3° až 5°. Některé z variant by šlo vyrábět pouhým ohybem, ale jiné by vyžadovali lisování nebo vykružování. Varianta s prolomením plochy směrem dolů sice nejméně mění profil čerpadla, ale zasahuje do vnitřního prostoru výparníku a usměřňuje vodu směrem k fasádě což je nežádoucí. Zároveň se na menší venkovní jednotku bude průměrně vysoký člověk dívat z nadhledu, a takovéto tvarování není esteticky vhodné. Oblé řešení je výrobně poměrně složité a nekoresponduje se zvoleným tvarováním opláštění. Ze zbylých variant se nejvíce přikláním ke třem – klasická stříška se sklonem na všechny strany, sklon pouze dopředu, nebo sklon pouze dopředu a na boky.



Obr. 36: Autorská tvorba, Varianty zastřešení 1, 3D model, 2022

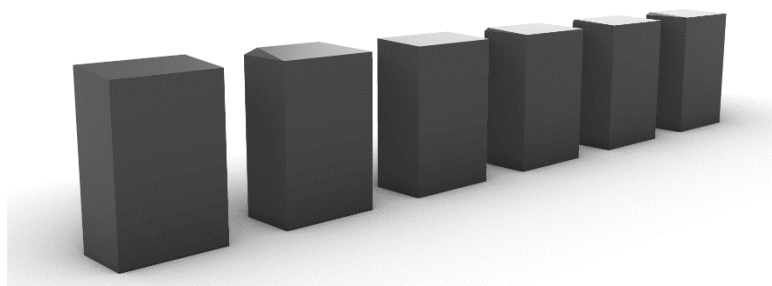
Vybrané varianty jsem dále testoval podrobněji. Čelní sklon jsem zkoušel 3° a 5°. U variant se sklonem i po bocích jsem testoval sklony mezi 5° a 45°

v inkrementech 5°. Varianty bez sklonu směrem k fasádě působí v kontextu budovu lépe. Klasické zastřešení jsem zavrhl.



Obr. 37: Autorská tvorba, Varianty zastřešení 2, 3D model, 2022

U zbylých řešení jsem vybral několik favoritů. Variantu se sklonem pouze dopředu jsem nechal ve verzi s 3° i 5°. Variantu se sklonem i na stranu jsem zvolil s čelním sklonem 3° a bočním sklonem 20°. Tyto varianty jsem během řešení definitivní konstrukce čerpadla vymodeloval i ve výrobním provedení. Nakonec jsem zvolil variantu pouze se sklonem dopředu 5°. Toto řešení poskytuje nejkompaktnější hmotu celého zařízení, a zároveň je i výrobně jednodušší – řezy zůstávají pravoúhlé, a nemám zde sbíhající se ohyby. Plech by bylo dobré v místě styku bočních ploch se zastřešením svařit, a to buďto rohovým svarem, který by bylo potřeba přebrousit, nebo přeplátovaným svarem, který by se schoval dovnitř.



Obr. 38: Autorská tvorba, Užší výběr řešení zastřešení, 3D model, 2022

4.1.9 Konstrukční řešení a detaily

Vyřešení konstrukce tepelného čerpadla bylo pro projekt velice důležité. Jelikož se jedná o zařízení vyráběné z plechu, existují limitace výrobního postupu, které je potřeba dodržet. Zároveň se jedná o zařízení s těžkými a drahými komponenty, takže je potřeba vyřešit jejich upevnění. Na základě poznatků získaných z konzultace projektu ve firmě KK Metal jsem mohl postupně skládat všechny doposud řešené části a řešit nově vzniklé problémy a detaily.

Ke konstrukčnímu řešení tepelných čerpadel existují dva základní přístupy. Buď se může jednat o samonosné opláštění, které je pouze upevněné ke dnu čerpadla. Tato varianta je výrobně nejjednodušší, ale esteticky nejslabší, jelikož se nechává odhalený veškerý spojovací materiál. Výrobci, kteří svá čerpadla řeší právě takto, tak často využívají i velice tenký materiál, takže je potřeba přidat různé ohyby nebo prolisování panelů pro zajištění jejich rigidity. Druhým řešením je obsáhlejší vnitřní konstrukce, na kterou jsou upevněny jednotlivé panely. U obou variant je však hlavním nosným prvkem dno. Tento díl je určitě potřeba unifikovat mezi malou a velkou vnější jednotkou, jelikož bude muset obsahovat řadu prolisů kvůli jeho ztužení a vyspádování. Vzhledem k shodnosti půdorysu obou jednotek by nástroj pro lisování dna mohl být použit pro oba typy vnitřní konstrukce.

Základem konstrukce by byl plechový díl do tvaru L. Na zadní stěně má otvor kvůli proudění vzduchu skrze výparník. Má také „poličku“, která by výparník podepírala. Výparník by kromě podepření byl přichycen k zadní ploše pomocí šroubů nebo nýtů. Pro větší kapacity výparníku, případně pro velkou vnější jednotku by bylo možné přidat příčné výztuhy, které by zamezily působení páky výparníku na zadní část konstrukce. Dno je plné a bude sloužit pro upevnění komponentů. Je potřeba ho prolisovat kvůli vyspádování pro odvod vody a kvůli ztužení montážních bodů. Čelní část slouží jako montážní bod a výztuha čelního panelu. Zároveň může podepírat mřížku a vybrané řešení montáže větráku, o kterém budu mluvit později. Hrany hlavních nosných částí (dna a zadní plochy) jsou ohnuté kvůli vyztužení celé konstrukce. Ve styčných místech těchto ohybů by bylo možné konstrukci svařit. Poličku, na které sedí výparník lze řešit jako přímou součást rámu. Vzhledem k tomu, že by ale měla sloužit jako kondenzační pánev, takovéto řešení není vhodné. Pokud ji vyřeším jako samostatný díl, tak je možné ji vyspádovat a přidat otvor pro odvodnění. Ke konstrukci by mohla být nýtována nebo šroubovaná.

Do dna jsem přidal prolisování a otvory, které umožní montáž čerpadla do betonových základů.



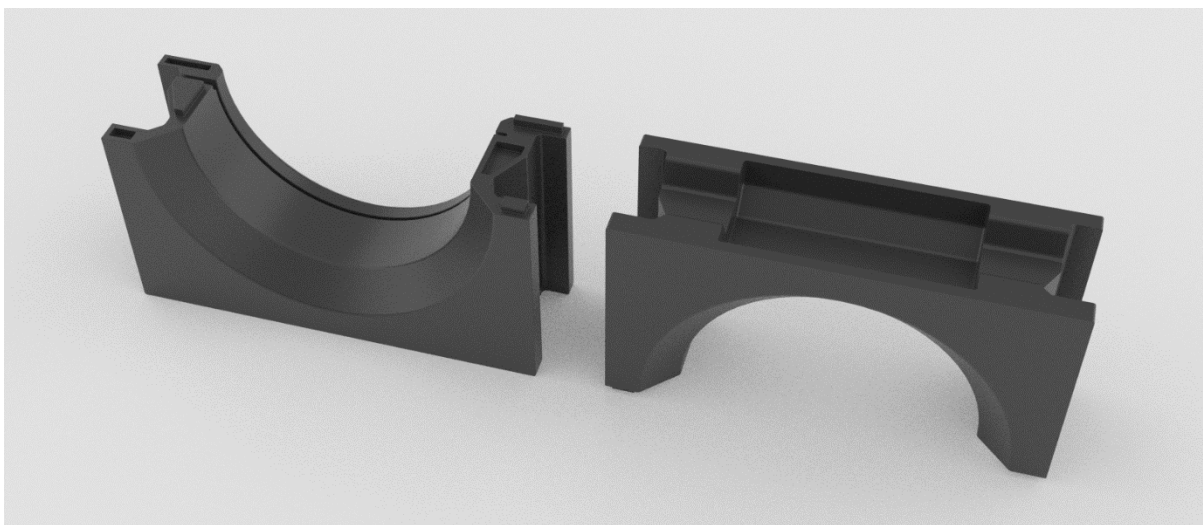
Obr. 39: Autorská tvorba, Konstrukce, 3D model, 2022



Obr. 40: Autorská tvorba, Technické detaily dna, 3D model, 2022

Uchycení větráku je řešitelné třemi způsoby. Buď může být větrák uchycen pomocí drobného plechového dílu, který spojuje motor s konstrukcí. Takovéto řešení nenabízí žádnou izolaci či usměrnění vzduchu. Zároveň by vyžadovala přemostění celého prostoru pod větrákem, což by bylo složité kvůli velikosti kompresoru. Druhá varianta je plechový panel ve tvaru trychtýře, se kterým se větrák může dodávat přímo od výrobce. Pomocí něj lze větrák upevnit přímo na výparník a díl usměrňuje tok vzduchu. Vzniká však mezera, skrze kterou je vidět do spodní části. To není esteticky vhodné a zároveň by se jednalo o funkční problém, protože by komponenty a elektronika mohly být přímo vystavené vlivům

prostředí. Třetí variantou je zasazení větráku do dílu z EPP. Toto řešení jednak usměrňuje vzduch a také větrák tepelně a vibračně izoluje. Takovýto díl vyplňuje celý prostor za mřížkou a uzavírá vnitřek čerpadla. Mohl by rovněž sloužit k montáži mřížky.



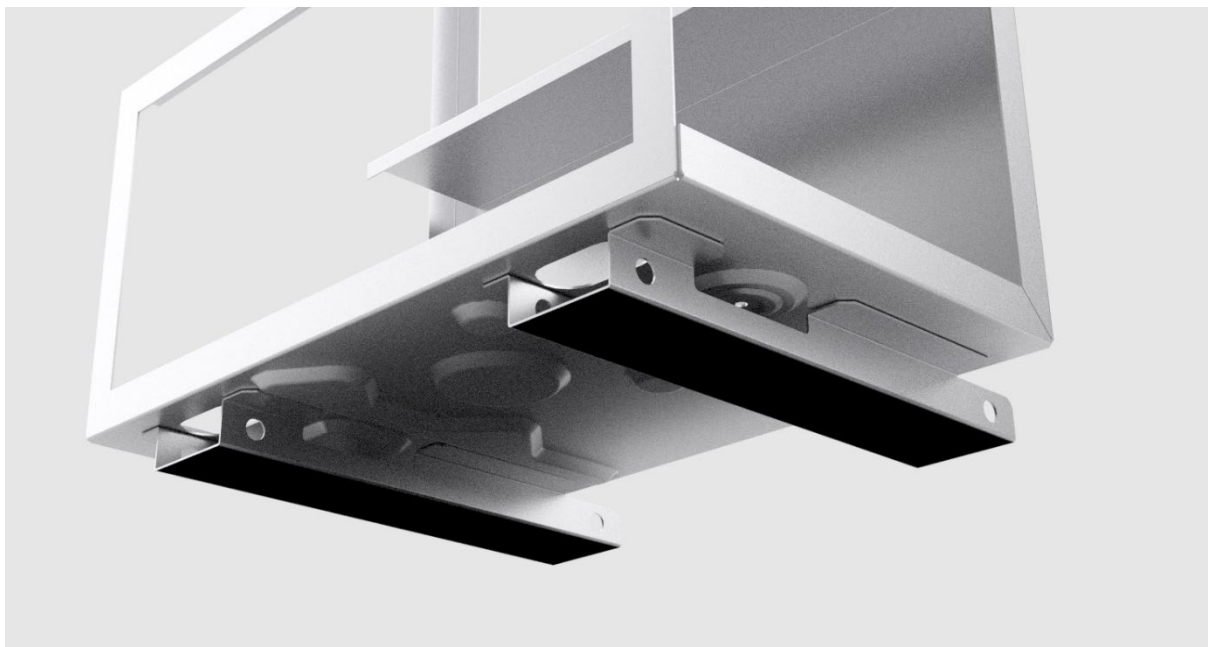
Obr. 41: Autorská tvorba, EPP díl, 3D model, 2022



Obr. 42: Autorská tvorba, EPP díl – kompatibilita, 3D model, 2022

Nakonec jsem zvolil variantu dílů z EPP, kterou již využívá Bosch Thermotechnology. Na rozdíl od expandovaného polystyrenu se jedná o materiál s výbornými mechanickými vlastnostmi, a i chemickou stálostí a odolností. Pro účely zařízení do exteriéru je toto řešení po materiálové stránce vhodné. Větrák je vsazen mezi dva díly ve tvaru U, které do sebe vzájemně zapadají. Na zadní straně by byly připevněné k výparníku pomocí matic nebo závitových vložek a šroubů. Na druhé straně se do tohoto dílu šroubuje mřížka. Díl přemostuje prostor nad kompresorem a je podepřen čelní částí vnitřní konstrukce. Z dohledaných výkresů jsem zjistil, že se zřejmě jedná o soustavu držící pouze třením. V případě potřeby by bylo možné větrák našroubovat pomocí závitových vložek. Díly jsem tvaroval tak, aby do sebe zapadaly s tolerancí, která nevyžaduje jiný způsob spojení. Celek bude pohromadě držet i mřížka a výparník, ke kterým je na obou koncích upevněn.

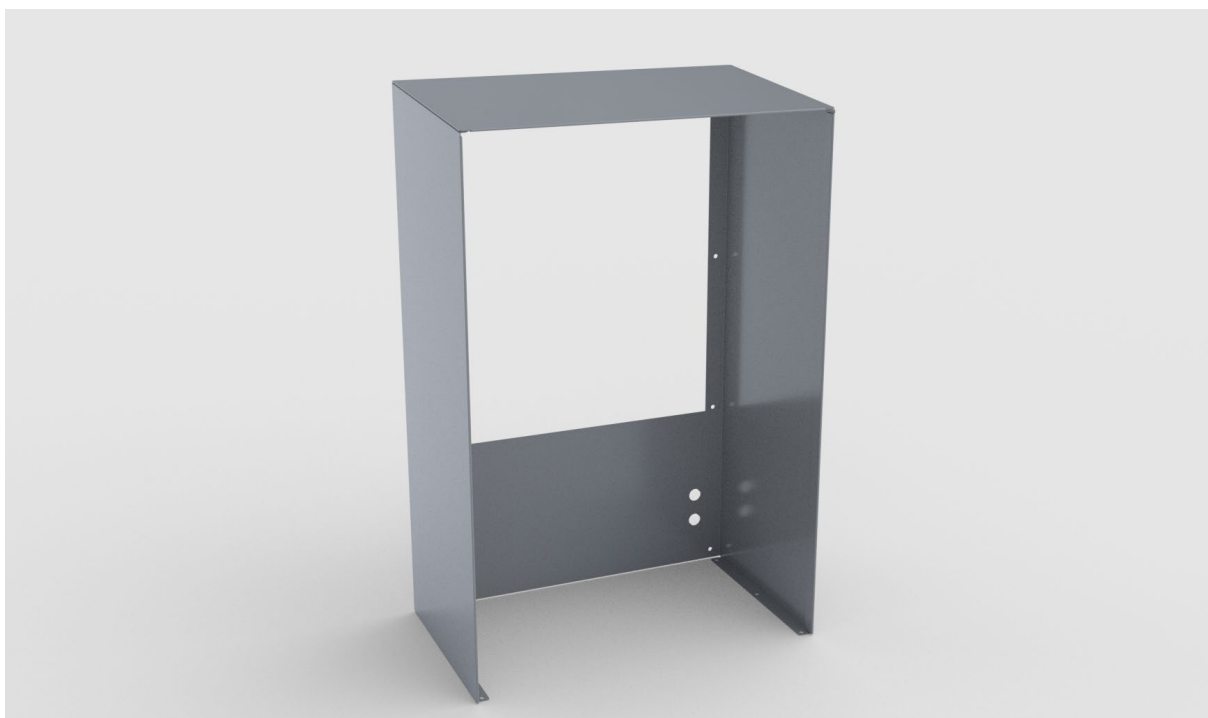
Řešení, které využívá Bosch, se skládá z dvou odlišných dílů. Pro svůj projekt jsem se tedy rozhodl tyto díly sjednotit. Spodní i vrchní polovina jsou identické, pouze vzájemně otočené o 180°. Na spodní straně dílu jsem přidal adekvátní prostor, aby se vešel i kompresor potřebný pro nejvýkonnější variantu jednotky. Součástí tvarování je i vývod pro kabely větráku. Po stranách jsem přidal svislé kanály pro vedení kabelů a odlehčení dílu.



Obr. 43: Autorská tvorba, Montážní díl, 3D model, 2022

Čerpadla se zvyknou montovat 10 až 20 cm nad úroveň okolního terénu. Rozhodl jsem se alespoň část této výšky zahrnout přímo v čerpadle. Jednalo by se o dva montážní díly upevněné na dno. Výhodou tohoto řešení je odsazení od země, které jednak působí esteticky příjemně, ale také vytváří dostatečný prostor pro prolisování dna a spojovací materiál. Testoval jsem různé výšky odsazení, a vzhledově vyšla nejlépe varianta 4 cm. Na čelní straně jsem nechtěl, aby tyto díly vyčnívali před opláštěním čerpadla. Rozhodl jsem je odsadit směrem dovnitř. Pro zajištění přístupu k montážním otvorům jsem do dna přidal již zmíněné otvory, skrze které je možné čerpadlo pohodlně přišroubovat. Na zadní straně čerpadla jsem tento díl vysunul o 5 cm, abych také zajistil přístup k montážním otvorům. Zde vysunutí nevádí, protože se jedná o schovanou část čerpadla. S aktuálním uspořádáním chladicího oběhu by však docházelo ke kolizi mezi vývody chladiva a montážním dílem při vedení trubek svisle dolů. Vývody chladiva jsem se tedy rozhodl posunout, aby se dílu vyhnuly. Usoudil jsem, že vhodnější je posun směrem k boku čerpadla, protože se jedná o přístupnější umístění i v případě montáže na konzolu. Montážní otvory ve dně i čelní část montážních dílů jsem se rozhodl zakrýt plastovými krytkami. Vzhledem k tomu že levá noha má otvor uvnitř krabice s elektronikou mi přišlo smysluplné tudy přivést napájecí i datové kabely. Krytka má z tohoto důvodu otvor.

Montáž na konzolu jsem chtěl v projektu zachovat, i přes to, že se nejedná o optimální způsob montáže. Nechtěl jsem, aby byl můj návrh oproti konkurenci znevýhodněn opomenutím jednoduchého plechového prvku. Univerzální konzoly lze zakoupit. Nepovažoval jsem tedy za nutné navrhovat vlastní řešení.

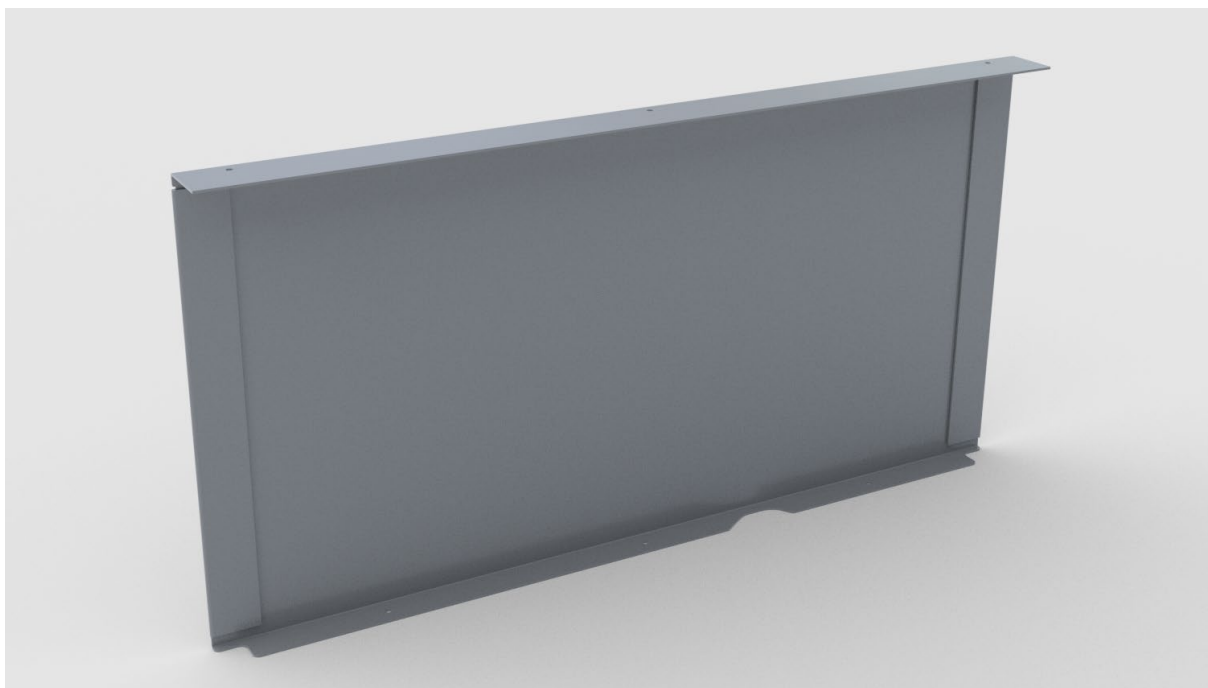


Obr. 44: Autorská tvorba, Opláštění, 3D model, 2022

Většina opláštění by byl řešena v jednom díle. Boční panely, stříška a zadní panel lze elegantně spojit. Vyvaruji se tím nadbytku viditelného spojovacího materiálu, který je kvůli své technické nátuře nežádoucí. U hran otočených kupředu jsem se rozhodl plech olemovat, abych opticky zvětšil tloušťku materiálu. Takovéto řešení lépe koresponduje s tloušťkou žeber mřížky a zároveň vytváří oblejší, vzhledově přívětivější tvar. Kvůli lícování bočních panelů se střechou jsem přidal ohyb. Ten zároveň slouží ke svaření těchto dvou částí. Jednalo by se o přeplátovaný svar z vnitřní strany konstrukce. Vyhnou se tím vystavení svaru na pohledových plochách. I kdyby byl svar vždy perfektně provedený a sjednocený s okolní plochou pomocí práškového laku, připadá mi to jako prvek nevhodný pro pohledové části zařízení. Opláštění je přišroubováno na zadní plochu vnitřní konstrukce. Kvůli bočnímu i svislému ztužení jsem se rozhodl opláštění přišroubovat i na spodní hranu dna.

Čelní panel bude řešen jako separátní díl, jelikož se využívá pro servisní přístup. Původně jsem uvažoval, zda na jeho spodní hraně nevytvořit lem, pomocí kterého se bude opírat o vnitřní konstrukci. Pro sundání takového panelu by byl potřebný svislý pohyb, na který bude pouze pár milimetrů prostoru, což považuji za nedostatečné. Rozhodl jsem se panel i ze spodu přichytit pomocí šroubů. Jelikož jednotku budu odsazovat od země kvůli montážním dílům, přístup k těmto

šroubům by neměl být problém. Panel bude uchycen třemi šrouby nahoře a třemi dole. Mělo by se jednat o dostatečné množství spojů pro panel o šířce 750 mm.



Obr. 45: Autorská tvorba, Čelní panel, 3D model, 2022

4.1.10 Výroba, montáž a instalace

Během tvarování a řešení konstrukce jsem držel na mysli i výrobní technologie. Proveditelnost byla ověřena při výrobě modelu v měřítku 1:2. Pro účely tohoto modelu jsem také zvolil plech o tloušťce 2 mm, jelikož olemování pro kusovou výrobu je nesmyslné. Nahrazuji tím tedy tloušťku, kterou by na realizovaném čerpadle vytvořily lemy. Všechny plochy jsou rozvinutelné, a ohyby proveditelné. Výrobně by se jednalo o řezání laserem, následuje ohyb na ohraňovacím lisu a posléze povrchová úprava. Materiálově by se jednalo o plech z magnetické nerezové oceli o tloušťce 2 mm.

Montáž by byla provedena v následujícím pořadí. Na dno se upevní montážní díly, zadní mřížka a výparník. Z boku je vsunut chladicí oběh. Následně jsou pájeny potrubí do výparníku a vývody chladiva do vnitřní jednotky. Vloží se veškeré krytky a je provedena tepelná izolace spodní části čerpadla. Nainstaluje se EPP díl s větrákem. Posléze se upevní vnější opláštění a mřížka. Posledním krokem je nainstalování čelního panelu. Taková ocel je sice dražší, ale má zásadně vyšší korozní odolnost a měla by prodloužit životnost čerpadla.

Kvůli sklonu zastřešení se jedná o hůře přepravitelný produkt. Vhodným řešením by bylo přidání dílů z expandovaného polystyrenu na horní i spodní plochu, který čerpadlo zarovná do kvádrového objemu. Tyto popruhy je možné přepásat látkovými popruhy s oky pro úchop na obou stranách. Takovéto řešení zjednoduší manipulaci s jednotkou na místě instalace. Čerpadlo se instaluje

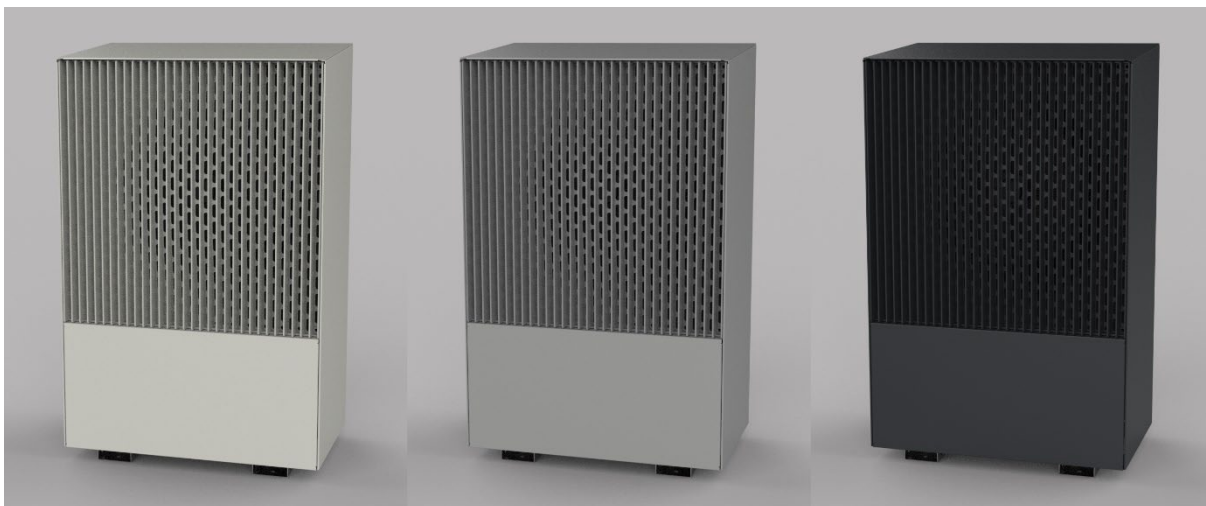
buďto na předem připravený betonový základ, nebo na stěnu domu pomocí konzoly. Je potřeba dodržet doporučené vzdálenosti od země i fasády.

4.1.11 Barevnost

V dalším kroku jsem se zabýval barevností. Povrchová úprava vnější jednotky je naprosto nezbytná kvůli ochraně podkladového materiálu. I zvolená nerezová ocel přece jen koroduje a je potřeba ji opatřit vrstvou, která ji ochrání od vlivů prostředí a prodlouží životnost celého zařízení. Nejefektivnější způsob povrchové úpravy plechů, který poskytuje možnost barevného pojetí, je práškové lakování. Jedná se o proces nástřiku plastového prášku na elektricky nabitě díly. Prášek je rovnoměrně obalí a celý díl je posléze přesunut do pece, kde dochází k vypálení prášku. Zde se za vysoké teploty roztaví a vytvoří souvislou vrstvu chránící podkladový materiál. Pro zajištění kvality povrchové úpravy je potřeba plechy řádně předpřipravit. Prvním krokem bývá chemické odmašťování postříkem a mechanické odmašťování tryskáním. Následně je pro zvýšení ochranných vlastností povlaku nanesen základ a až posléze finální barva. Práškové lakování se standardně provádí v odstínech RAL Classic. Tento vzorník je standardně využíván pro nátěrové hmoty určené pro architekturu a jiné prvky spadající do tohoto prostředí.

Jako jednu z nevýhod aktuálních řešení jsem viděl striktně dané barevnosti čerpadel. Toto je samozřejmě pro výrobce nejefektivnější řešení. Vzhledem k různorodosti prostředí, ve který se čerpadlo může nacházet by však pro zákazníka mohlo být velice lákavé mít možnost zvolit si vlastní barvu. Z dohledaných konkurenčních řešení, jediné čerpadlo, které tuto možnost poskytovalo bylo tepelné čerpadlo Compress od Bosch Thermotechnology. Jejich řešení spočívá v možnosti nanesení vinylové fólie zvolené barvy. Toto řešení není však permanentní a bál bych se nízké odolnosti fólie. Zároveň může její aplikace být poměrně složitá kvůli prvkům jako lemy. Toto řešení tedy zavrhuji. Alternativou by bylo poskytnutí flexibility ve zvolené barvě práškového laku. Výrobce by pravděpodobně řešil produkci v takovém měřítku, že by měl vlastní zázemí pro lakování. Bylo by tedy možné se přizpůsobit potřebám zákazníka. Na druhou stranu je logisticky náročné poskytovat úplnou volnost ve výběru z 213 barev, které obsahuje vzorník RAL Classic. Výběr bych ale nelimitoval způsobem, že z každé barvy poskytnu pouze jeden nebo dva odstíny, protože to podkopává zmíněnou podstatu variace barev. Přemýšlel jsem tedy nad způsobem poskytnutí úplné flexibility. Pro výrobce by v takovémto případě bylo dobré mít nějaké základní barvy, které zjednoduší výrobu a zároveň navedou zákazníka, který je nerozhodný, nebo nemá konkrétní požadavek. Lakování v jiných odstínech by mohlo být řešeno příplatkem, který by pokryl náklady obtížnější logistiky tohoto řešení.

Pro výběr standardní barevnosti jednotky bylo důležité nastudovat řešení prostředí ve kterých se čerpadlo může nacházet. Již jsem opakovaně zmiňoval, že se jedná o prostředí velice různorodá. Výběr tedy musí zachovat univerzálnost – i když jednotka nebude přímo sladěná s prostředím, tak pořád musí být neofenzivní a nesmí působit rušivě. Toto mi zúžilo výběr na odstíny RAL 70XX a 90XX. Jedná se o odstíny bílé, černé a šedé. Residenční zástavba bývá často laděna do spíše teplých, přívětivých tónů, ze kterých by bylo vhodné vybírat i barevnost pro čerpadlo. Prošel jsem veškeré zmíněné odstíny RAL a výběr jsem zúžil na několik barev. Pokud by standardně nabízených barev bylo více, zvolil bych spektrum od bílé po tmavě šedou. Konkrétně by se jednalo dopravní bílou (RAL 9016), telešedou 4 (RAL 7047) a grafitově šedou (RAL 7024). Černou bych nezahrnoval, protože se v kontextu residenční zástavby téměř nevyužívá. Pro výrobce by však bylo nejspíš nejlepší mít standardní barevnost pouze jednu. Pokud by nabízel zakázkové lakování, bylo by dobré alespoň standardní jednotky maximálně zjednodušit. Zvolené barvy jsem podrobněji srovnával v kontextu různých realizací a nejuniverzálněji vyšla telešedá 4 (RAL 7047). Provedení povrchu jsem zvolil ve variantě hedvábný lesk. Fasády bývají matné, což je vhodné alespoň částečně promítnout i ve venkovní jednotce. Zároveň se jedná o odolný povrch, který je dobře omyvatelný. To považuji za zásadní výhodu oproti povrchu matnému či různě texturovanému. V případě realizace takového projektu by bylo dobré barevnost ověřit v reálu. Dále budu pracovat se zvolenou standardní barevností RAL 7047 a případnou ukázkou řešení barevnosti na míru.



Obr. 46: Autorská tvorba, RAL 9016, 7047 a 7024, 3D model, 2022

Krom barevnosti opláštění bylo potřeba vyřešit i mřížku. Uvažoval jsem, jak členit čelní plochu. První variantou je zachovat barevnost opláštění i v mřížce. Toto řešení zesiluje optický efekt návrhu mřížky. Mřížka ale působí příliš kontrastně vůči tmavému podkladu. Jelikož by mřížka byla vyráběna z plastu, tak by mohlo být problematické tyto dva díly barevně sladit. RAL sice vyrábí vzorníky určené i pro plastovou výrobu, ale odstín by pravděpodobně nebyl úplně identický. Druhou

variantou je barevné odlišení mřížky, ale zachování servisního přístupu v barvě opláštění. Toto snižuje kontrast mřížky s podkladem a zároveň řeší problém se sjednocením barev. Optický efekt mřížky není tak výrazný, ale celá jednotka působí elegantněji. Poslední variantou je barevné odlišení mřížky i čelního panelu. S tímto jsou spojené stejné problémy jako s prvním řešením a žádné další výhody neshledávám.



Obr. 47: Autorská tvorba, Barevné členění, 3D model, 2022

Zvolil jsem tedy variantu barevného odlišení pouze mřížky. Jelikož se jedná o plastový díl, volil jsem barevnost ze vzorníků Pantone. Mé požadavky nejlépe splňovala barva Pantone 446 C. Uvažoval jsem, zda poskytnout možnost vybírat i barevností mřížek. Jednalo by se o zásadní výrobní komplikaci, jelikož řešení formy se může odvíjet i od využívaného granulátu. Forem by bylo tedy potřeba více, což je nesmyslné vzhledem k pravděpodobně malému měřítku výroby nestandardních barevností. U testovaných nestandardních odstínů opláštění funguje zvolená barva Pantone 446 C dobře a nepovažuji tedy variabilitu v barevnosti mřížky za podstatnou.

Podklad mřížky má za cíl schovat větrák. Samotné větráky se lakují v černé RAL 9005. EPP díl, do kterého je větrák vsazen, je potřeba držet ve stejné, černé barevnosti. Větrák má otočený motor směrem k čelní ploše. Jeho opláštění je typicky stříbrné s bílou výrobní nálepkou. Přidal jsem tedy krycí plastový díl v černé barvě.



Obr. 48: Autorská tvorba, Zvolená standardní barevnost, 3D model, 2022

4.1.12 Branding

Pro maximální dotažení projektu jsem se rozhodl zvolit i výrobce, abych na produktech mohl řešit branding. Procházel jsem výrobce tepelných čerpadel vzduch-voda. Největší smysl bych viděl ve výběru výrobce, který zatím nenabízí produkt na vysoké estetické úrovni. Mezi tyto výrobce patří například LG, Mitsubishi, Panasonic nebo Samsung. Dle mého názoru nejslabší aktuální řešení má Samsung. Jejich venkovní jednotka je nejzákladnějšího typu, vyrobena subdodavatelem, a je na ní pouze natištěné jejich logo. Vnitřní jednotka je pojata pouze jako řada komponentů upevněná přímo na zásobník, bez jakékoliv estetické kultivace. Rozhodl jsem se tedy zpracovat branding pro firmu Samsung.

U venkovní jednotky jsem již při řešení uchycení čelního panelu zvažoval umístění loga na spodní čelní plochu. Takto umístěné logo je však příliš nízko. Bylo by vhodné ho přesunout na prvek, který nejvíce přitahuje pohled. Abych logo dostal dostatečně vysoko, je potřeba ho umístit na horní hranu mřížky. Umístění na střed je nejuniverzálnější nezáleže na způsobu či místě instalace čerpadla. Testoval jsem i různé odsazení od horní hrany, ale nejlépe působí varianta s logem líčujícím se střechou.

Jako minimální velikost pro čitelnost loga jsem si stanovil šířku 60 mm. Pohodlnější rozmezí se však pohybuje mezi 80 a 100 mm. Varianta 100 mm se mi akorát vejde mezi 5 žebířek čerpadla i se zachovaným prostorem kolem něj dle logomanuálu Samsung³¹. Pro dobrou čitelnost by bylo dobré mít logo na samostatném plochém díle. Ten by neměl vyčnívat nad úroveň čelní plochy. Z tohoto důvodu jsem v místě loga odebral hmotu ze svislých žebířek. U vyšší výkonnosti bude rušivé mít logo na obou mřížkách. Rozhodl jsem se ho řešit modulárně – může být přichycené pomocí dvou šroubků nebo případně plastových klipů skrze otvory v mřížce. Při absenci loga na spodní mřížce velké jednotky přitahuje ubránění hmoty žebířek pohled. Rozhodl jsem se pro plynulou návaznost, aby tvarový rozdíl zanikl. Z testovaných variant působí nejlépe návaznost o délce 10 mm. U velké venkovní jednotky by bylo dobré otočit spodní mřížku o 180° aby se ubránění dostalo k spodní hraně. Rohy dílu s logem jsem zaoblil pomocí rádiusu 5 mm.

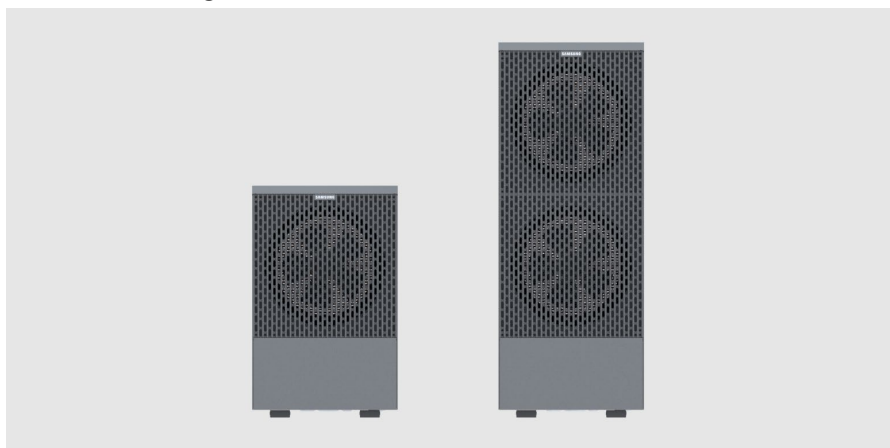
Testoval jsem různá provedení loga pomocí kovu, ale nejlepší byla varianta bílého potisku. Tím zajistím dostatečný kontrast a dobrou čitelnost při všech úhlech pohledu.



Obr. 49: Autorská tvorba, Detail zvoleného řešení brandingu, 3D model, 2022

4.1.13 Výkonnostní řady

U tepleného čerpadla je potřeba zajistit celou řadu výkoností, kvůli rozdílné energetické náročnosti budov. Mít předdimenzované čerpadlo je neefektivní jak ekonomicky pro zákazníka, tak i po funkční stránce. Jak jsem již zmiňoval dříve, plánuji poskytnout 6 výkoností. Menší jednotka by byla v kapacitách 6, 8 a 10 kW. Hlavním rozdílem mezi jednotlivými by byl v počtu řad trubek ve výparníku (3, 4 a 5 řad), s čímž jsem už během návrhu počítal. Velká jednotka by byla v kapacitách 12, 14 a 16 kW. U ní platí stejné zvětšení výparníku, ale zvětšuje se i kompresor. EPP díl větráku je vyřešen tak, aby splnil požadavky větší zástavbu tohoto kompresoru. Nárůst čerpadla probíhá pouze svisle. Zdvojnásobuje se výška výparníku a přidává se další větrák s dílem EPP a mřížka. Vnější opláštění této jednotky by muselo být vyráběno jako odlišný díl, aby splnilo požadavky otvorů na zadní ploše a vyvarovalo se předělům v bočních stěnách. Pro tuto jednotku by bylo nezbytné přidat příčné ztužení, protože hmotnost výparníku se může pohybovat kolem 100 Kg.

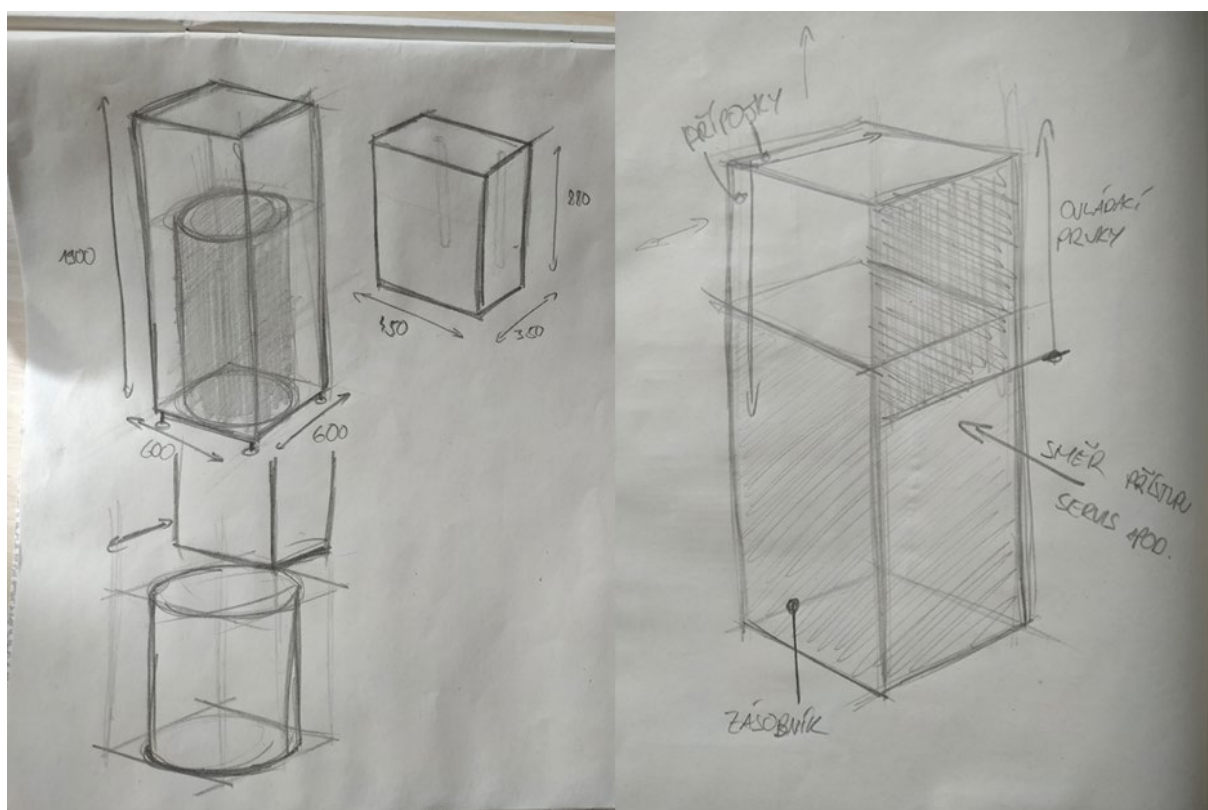


Obr. 50: Autorská tvorba, Srovnání výkoností, 3D model, 2022

4.2 Vnitřní jednotka

4.2.1 Základní koncepce

Doposud řešená vnější jednotka je pouze polovinou celého systému. Tepelné čerpadlo se vždy skládá i z jednotky vnitřní. Jejím hlavním úkolem je zapojení a řízení vnější jednotky pomocí elektroniky. Dále může tato jednotka sloužit k integraci čerpadla do existujícího topného systému pomocí komunikace s termostaty či připojení na oběh otopné vody. Tepelné čerpadlo může poskytovat i kompletní řešení vytápění domu včetně cirkulace a zásobníku teplé vody. Potenciálním zákazníkům je potřeba nabídnout obě tyto možnosti, protože jejich požadavky mohou být velice odlišné. Pokud se řeší novostavba, nebo si čerpadlo kupuje laik, který nerozumí technice je určitě vhodný kompletní systém. Jednotlivé části, které bývají standardně montované zvlášť a propojované složitou sítí potrubí, jsou úhledně schované uvnitř opláštění čerpadla. Dochází k estetické kultivaci prostředí.



Obr. 51: Autorská tvorba, Typy vnitřních jednotek, 3D model, 2022

Dohledání součástí nebylo tak snadné jako u vnější jednotky. Samozřejmostí je zahrnutí deskového výměníku tepla, jelikož se jedná o splitové uspořádání čerpadla. Do vnitřní jednotky se dává i průtokový ohřivač vody, přepínací ventil a oběhové čerpadlo. Dále je potřeba zakomponovat elektroniku zodpovědnou za řízení vnější jednotky, komunikaci s termostaty a uživatelskou interakci. Největší prostor pro moji intervenci vidím u uživatelského rozhraní. To bývá řešeno displejem buďto s tlačítky nebo dotykovým. Samozřejmostí jsou i různé senzory,

hlídač průtoku a sklíčko. U varianty řešící kompletní výhřev domácnosti je potřeba ještě zásobník teplé vody, expanzní nádoba a uzavírací ventil. Zásobníky se zvyknou dimenzovat podle potřeb konkrétní domácnosti. Vzhledem k tomu, že by takovouto jednotku kupovali zejména majitelé rodinných domů, bylo by dobré zajistit vhodnost alespoň pro čtyřčlennou rodinu. Na osobu stačí 20 až 50 L. Pro zmiňovanou velkou domácnosti se doporučuje zásobník o objemu 80 až 125 L. Pokud chci však pracovat s rezervou tak by bylo dobré poskytnout zásobník kolem 200 L. To i odpovídá konkurenčním řešením, které se pohybují mezi 175 a 240 L.

Čerpadlo má několik typů připojení. Vnitřní jednotka se spojuje s jednotkou vnější pomocí výstupní a vratné větve chladícího oběhu (měděného potrubí vedoucí chladivo do uvnitř umístěného). U jednotky bez zásobníku jsou tři větve pro připojení vody. Jedna z nich je výstupní větev pro topení, druhá je výstupní větev pro ohřev vody v zásobníku a třetí je vratná větev pro oba systémy. U varianty se zásobníkem je vývodů pět – výstupní a vratná větev topné vody, výstupní a vratná větev pitné vody a cirkulace. Při řešení těchto připojení je potřeba myslet na to, aby se zajistila vhodnost s variabilitou vnitřních prostorů. Čerpadlo musí být pohodlně připojitelné i když je například v rohu místnosti.

Zástavba těchto jednotek je poměrně jednoznačná. U jednotky se zásobníkem by se kvůli jeho rozměrům jednalo o zařízení o půdorysu standardního spotřebiče. Šířka by byla 600 mm a hloubka mezi 600 a 650 mm. Výška se odvíjí od velikosti 200 L zásobníku, který typicky měří kolem 1200 mm. Při výšce 1890 mm, která odpovídá jedné ze standardních výšek lednice, dosahují dostatečného prostoru na zahrnutí všech zbylých komponentů (včetně výměníku určeného pro nejvyšší zvolený výkon). Veškeré výkonnostní varianty se tedy vejdou do jedné velikosti opláštění, což zjednoduší výrobu. Tvarovací možnosti shledávám pouze na čelní ploše. Displej a servisní přístup lze umístit také pouze na tuto plochu. Boční i zadní stěny musí být rovné, aby jednotka mohla být přilehlá k stěně nebo mobiliáři. U vnitřní jednotky bez zásobníku se pohybují rozměry okolo 450 x 350 x 750 mm. Toto zhruba odpovídá velikosti závěsných plynových kotlů, které by mohla nahrazovat. Do takto velkého objemu se vejdou veškeré komponenty i u nejvyššího požadovaného výkonu.

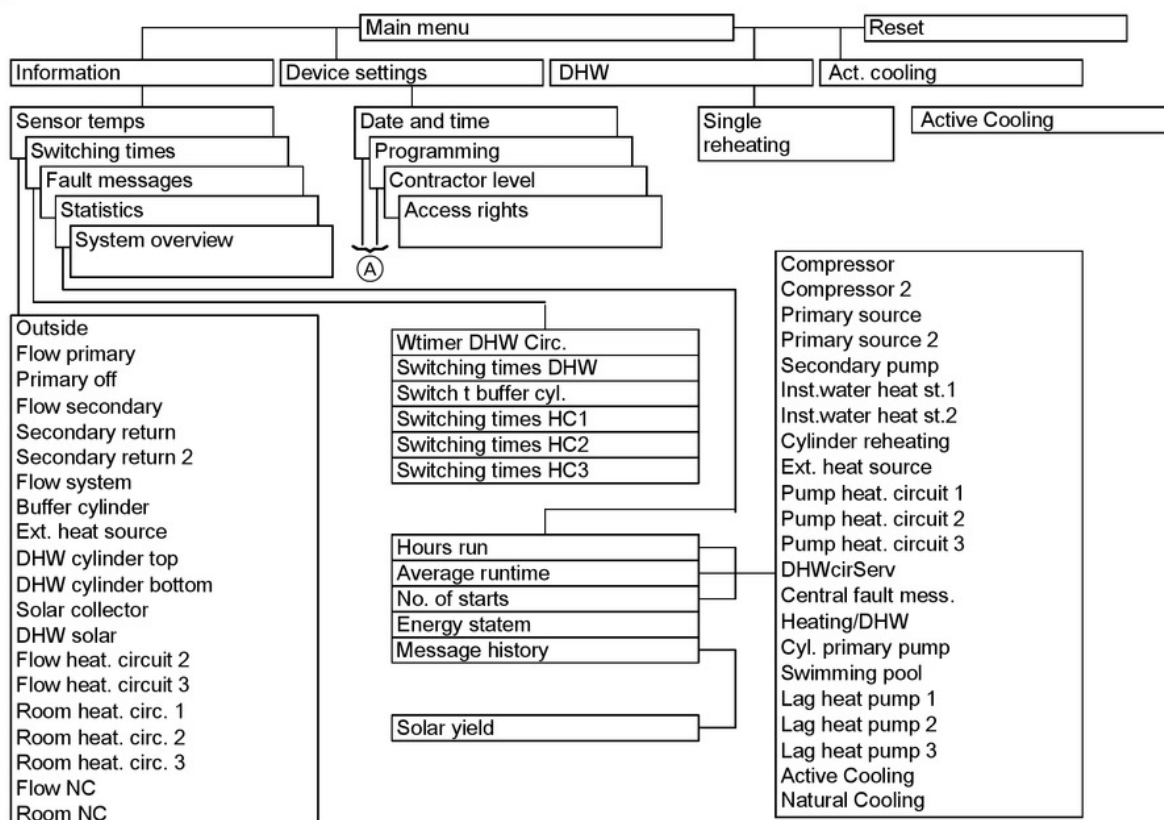
4.2.2 Uživatelské rozhraní

V řešení uživatelského rozhraní vidím největší prostor pro vylepšení oproti konkurenci. Aktuální čerpadla mívají nepřehledně řešené menu, které vypadá, že je řešeno dodatečně, po navržení zbytku jednotky. Tento přístup bych chtěl obrátit a zaměřit se na něj v prvním kroku. Jedná se o jeden z klíčových prvků, se kterým může zákazník často interagovat, a bylo by tedy dobré zajistit správnou funkčnost i příjemnost používání.



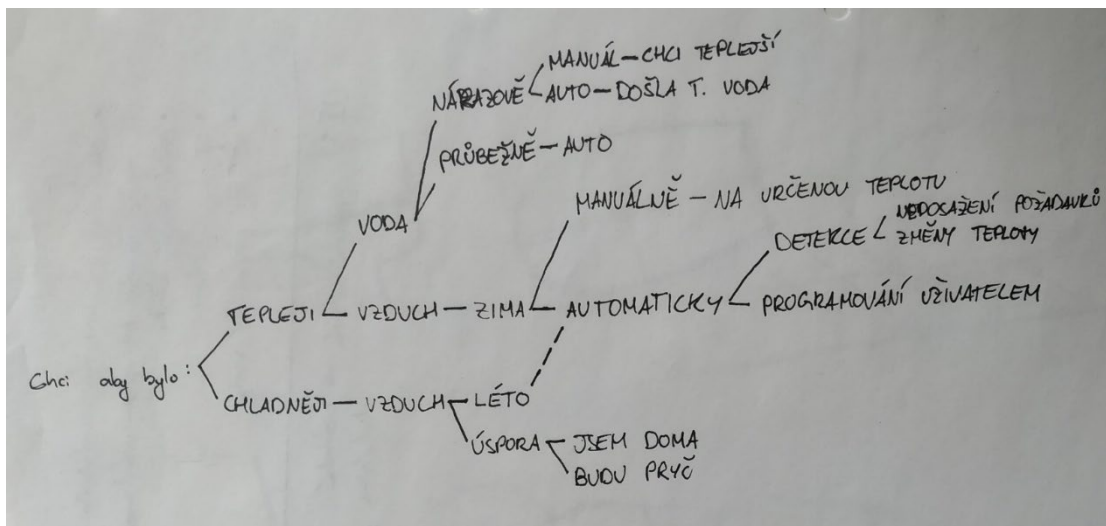
Obr. 52: Viessmann, Uživatelské rozhraní čerpadel Vitocal, Datace neznámá³²

: GB



Obr. 53: Viessmann, Strom menu Vitocal, technická dokumentace, 2013³³

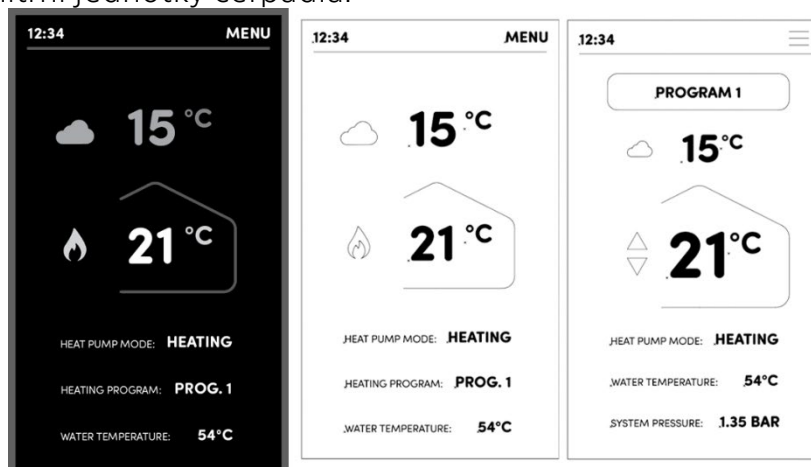
Studoval jsem stromy menu konkurenčních řešení. Do struktury menu nebudu zasahovat, jelikož je daná funkcí čerpadla. Ve stromech jsem hledal položky, které budou mít největší požadavky na rozměry a proporce displeje (výčty velkého množství informací, dlouhé listové menu). Nejčastěji se u takovýchto obrazovek jedná o dlouhé a svislé listové menu nebo tabulky sbírající informace o provozu čerpadla. Takovéto obrazovky se v menu vyskytují velice často, a bylo by tedy vhodné jim přizpůsobit displej. Ten bych orientoval na výšku, a zvolil bych poměr stran 16:9. Toto poskytne dostatek vertikálního prostoru pro veškeré obrazovky menu. Velikost displeje jsem se rozhodl určovat podle prvků s nejobtížnější čitelností. Při svislé orientaci displeje by mohlo dojít k horší čitelnosti položek orientovaných na šířku. V menu jsem našel dvě takové položky – nastavení topné



Obr. 55: Autorská tvorba, Řešení domovské stránky, digitální grafika, 2022

Před zpracováním grafiky UI jsem si vytvořil myšlenkové mapy očekávaných funkcí a typických uživatelských interakcí. Cílem výsledného návrhu by mělo být maximální zjednodušení a minimalizace nutné interakce. Proto jsem považoval za důležité kvalitně zpracovat domovskou stránku. Pro spoustu uživatelů to bude jediný způsob interakce. Domovská stránka by měla obsahovat klíčové funkce a být přehledná. Došel jsem k tomu, že na domovské stránce nesmí chybět teplota vnitřního a možnost její změny, venkovní teplota, teplota pitné vody, čas, indikace vytápění nebo chlazení a tlačítko pro přístup do podrobnějšího menu. Pokud jsou připojené solární panely tak by bylo dobré přidat piktogram indikující počasí. Tyto prvky jsem začal skládat do variant řešení. Nejlepší variantu jsem iterativně vylepšoval kvůli zlepšení funkčnosti a přehlednosti. Na ostatních stránkách menu je potřeba zachovat zkratku na domovskou stránku nebo tlačítko zpět. Zároveň musí být rozhraní konzistentní.

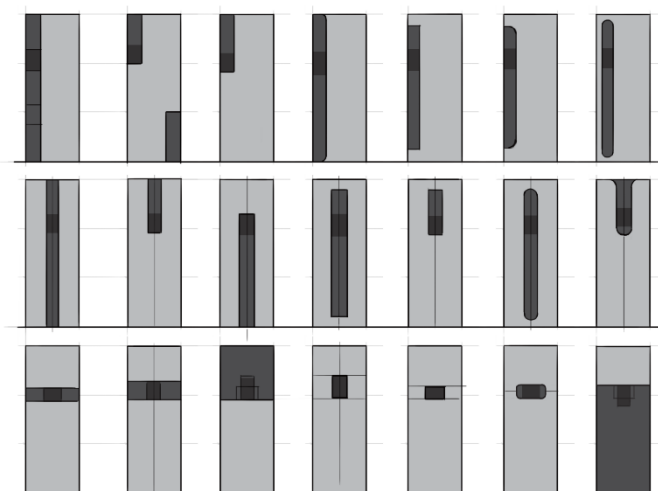
Vodorovná osa displeje by podle ergonomických tabulek měla být ve výšce 1500 mm od země. Zbývalo mi vyřešit způsob integrace zvoleného displeje do čelní plochy. Jedná se o prvek, který zásadně ovlivní grafické zpracování a tvarování vnitřní jednotky čerpadla.



Obr. 56: Autorská tvorba, Řešení domovské stránky, digitální grafika, 2022

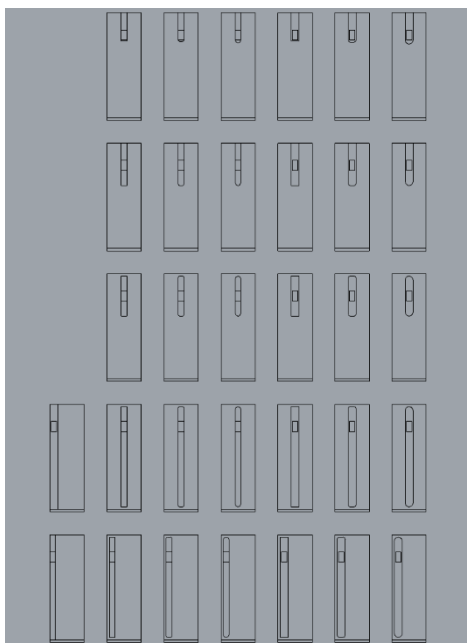
4.2.3 Tvarování

Na základě skic jsem prověřoval různé varianty umístění displeje. Přišli mi vhodnější svisle orientované prvky, jelikož lépe korespondují se zvolenou orientací displeje. U asymetrických variant je potřeba zajistit možnost prohození strany, na které je displej. Grafické členění čelní plochy bude udávat i výsledné dělení panelů. Pro zajištění jednoduchého servisního přístupu by bylo dobré mít sundavací část čelní plochy v jednom díle.

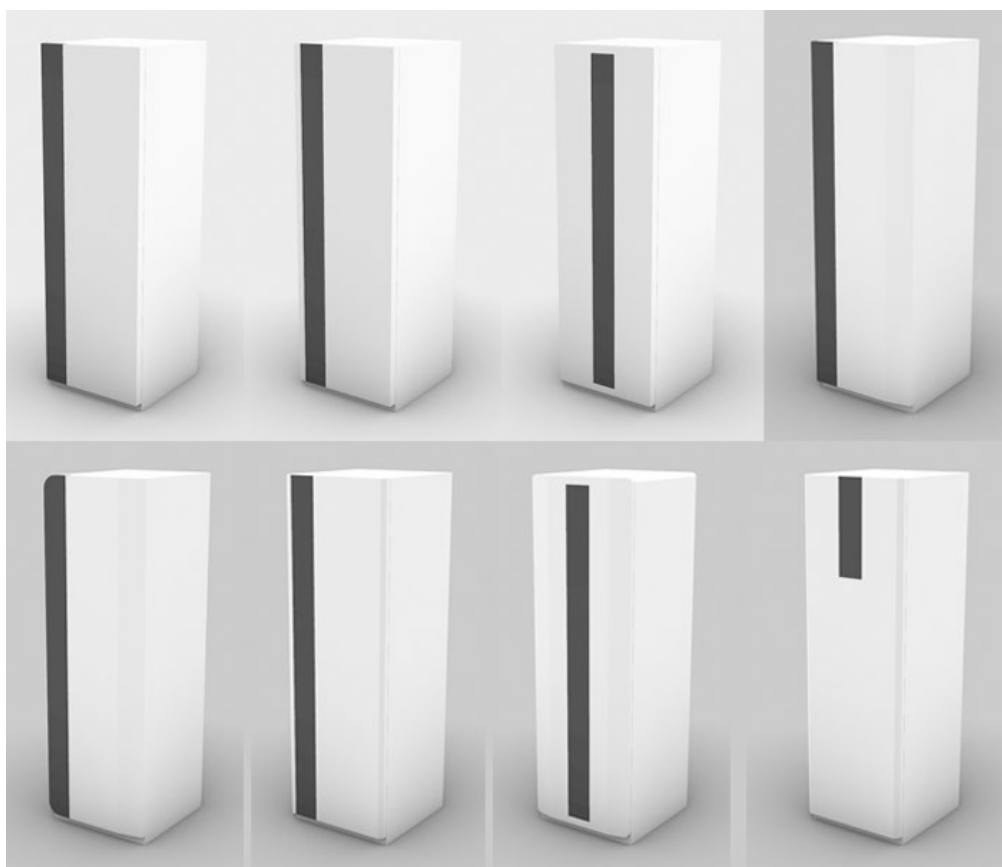


Obr. 57: Autorská tvorba, Grafika vnitřní jednotky, skica, 2022

Vhodné varianty jsem dále rozpracoval. Z návrhů jsem zvolil užší výběr, na kterém jsem testoval i tvarování okolních ploch. Tvarovací možnosti nejsou veliké, jelikož panel musí být sundavací a výroba z plechu je poměrně omezující. Jako nejvhodnější řešení mi přišla pravidelná zkosení svislých hran, zkosení přesahující do čelní plochy a větší rádius.



Obr. 58: Autorská tvorba, Iterace zvolených variant čelní plochy, digitální grafika, 2022



Obr. 59: Autorská tvorba, Grafika a tvarování čelní plochy, 3D model, 2022

Z variant zpracovaných ve 3D jsem zvolil jednu, která splňovala veškeré požadavky – pravidelné zkosení s displejem odsazeným od přilehlých hran. Jedná se o jednoduše vyrobiteľný díl, který lze sundávat v jednom kuse. Esteticky působí příjemně a koresponduje s jinými produkty z prostředí interiérů. Testoval jsem různé zasazení plochy displeje. Nejlepší variantou bylo odsazení o 20 mm od všech hran a ohybů.

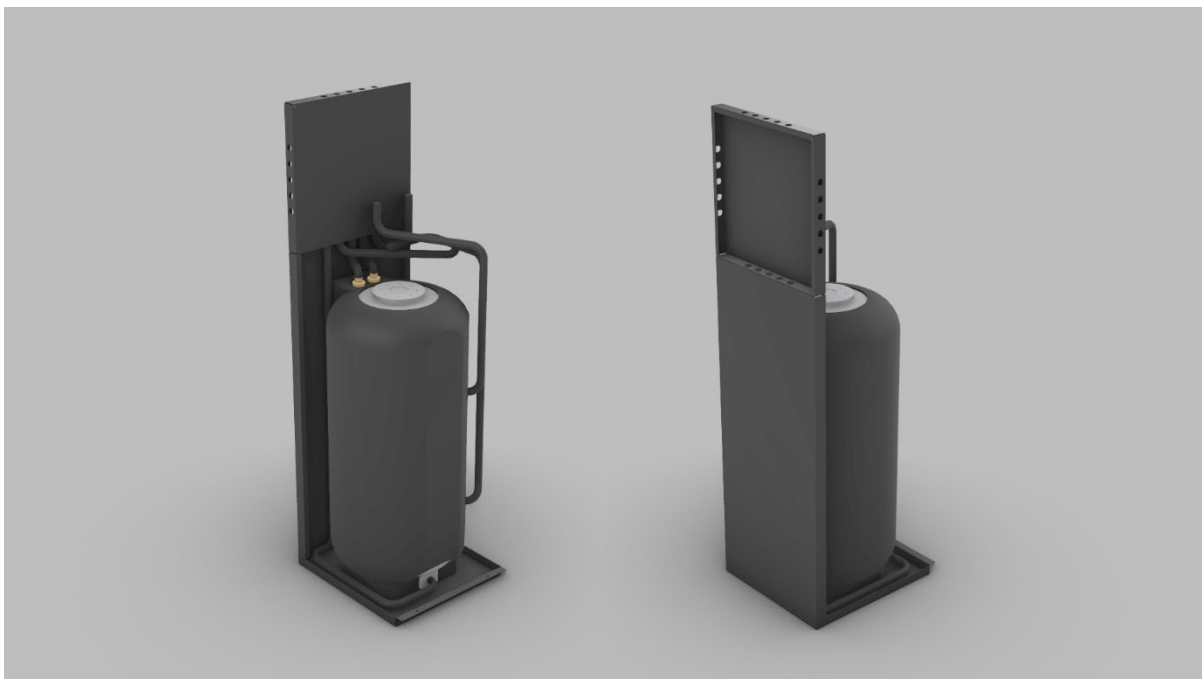


Obr. 60: Autorská tvorba, Zvolená varianta čelní plochy, 3D model, 2022

4.2.4 Konstrukční řešení

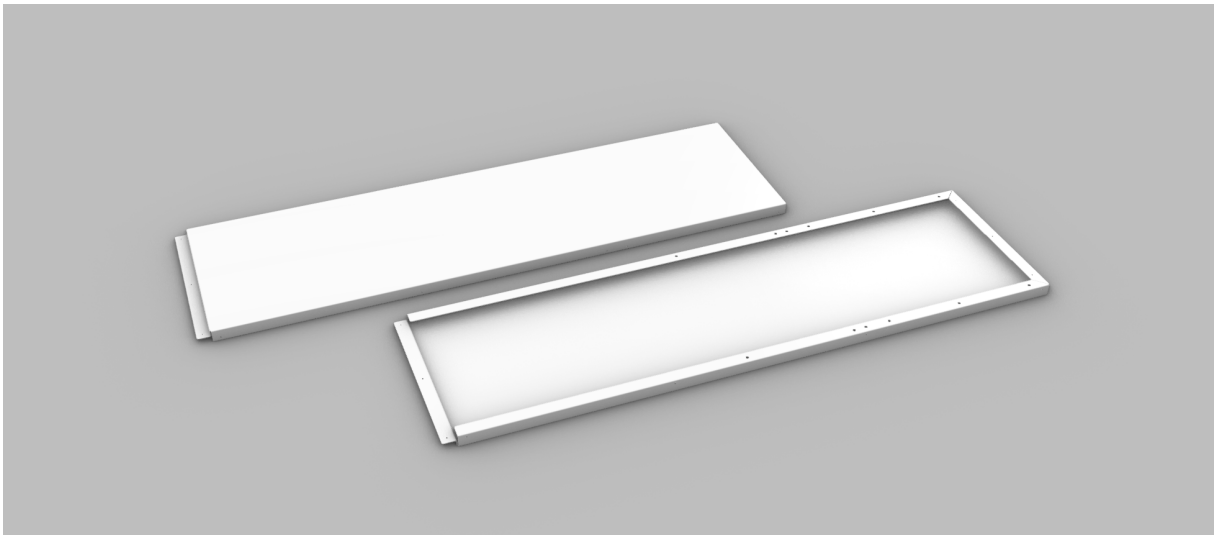
Připojení jednotky je potřeba vyřešit flexibilně. U malé jednotky je potřeba konektory dát na spodní hranu, jelikož se takovéto čerpadlo umísťuje nad zásobník. U velké jednotky je optimální je umístit na vrchní hranu zadní plochy, jelikož je odsud můžeme vyvést do libovolného směru. Takto řešené konektory však vždy budou odhalené a můžou zbytečně prodlužovat vedení trubek. Z tohoto důvodu mi přišlo sympatické řešení, které využívá Viessmann. Čerpadlo má dvojitá záda a trubky mohou být vyvedeny jak nahoru, tak do obou stran. Přípojky jsou odsazené od horní hrany, tak aby vzniklo čtvercové pole, do kterého se vkládají adekvátně zahnuté trubky.

Prioritně jsem řešil velkou jednotku. Jedná se o všeobsahující řešení vytápění celého domu, což považuji za výhodu. Zároveň se kvůli zástavbě jedná o zařízení, které může být v interiéru dominantní. Kvůli tomu považuji za důležitější estetickou kultivaci takového návrhu. U menší jednotky využiji stejné prvky pro sjednocení do konzistentní produktové série.



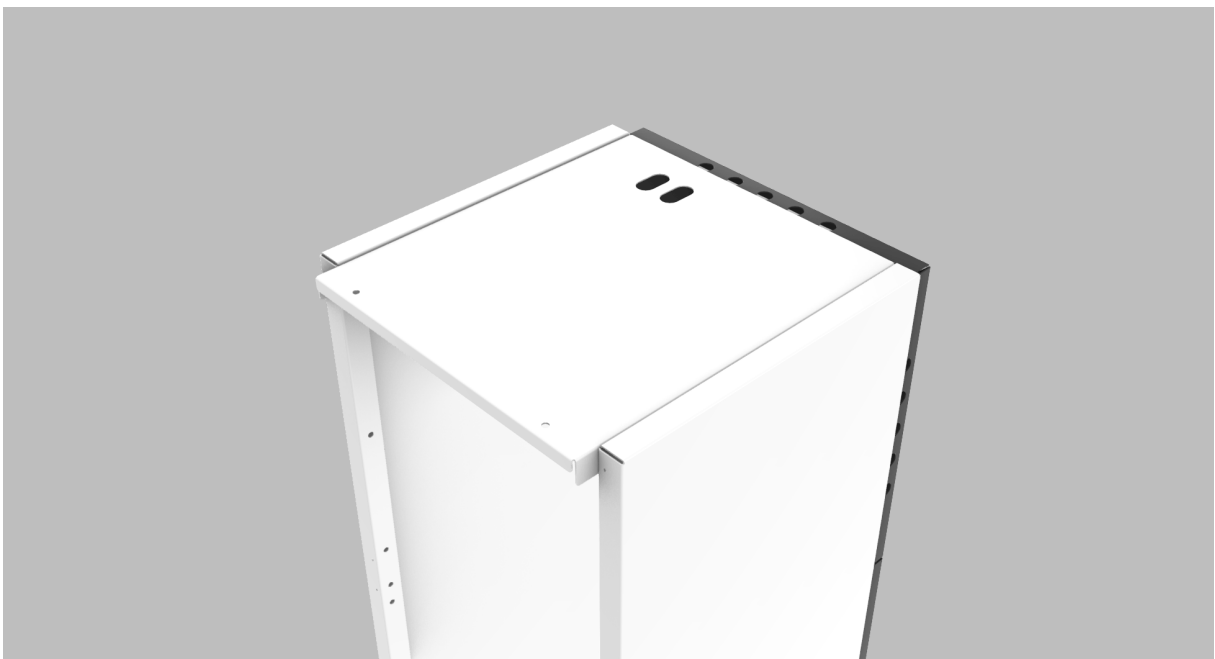
Obr. 61: Autorská tvorba, Dno vnitřní jednotky, 3D model, 2022

Dno je řešené podobně jako u vnější jednotky. Jedná se o hlavní nosný díl, který bude spojovat zbytek panelů. Díl vznikl spojením spodní a zadní plochy ve tvaru L. Do spodní části se montuje zásobník a upevňují se zde i rektifikační nožičky, na kterých bude čerpadlo stát. Zadní panel obsahuje zmiňovaná dvojitá záda s konektory pro vodu. Podél hran jsou ohyby pro ztužení konstrukce a montáž dalších panelů. Zadní stěnu jsem oproti zbytku jednotku zúžil o 50 mm, aby došlo ke schování rozvodů trubek umístěných vzadu. Toto odsazení kopíruje i spodní část čerpadla, aby byl návrh konzistentní. Zároveň to vytváří vzhledově příjemné oddělení od okolních ploch (země, stěny).



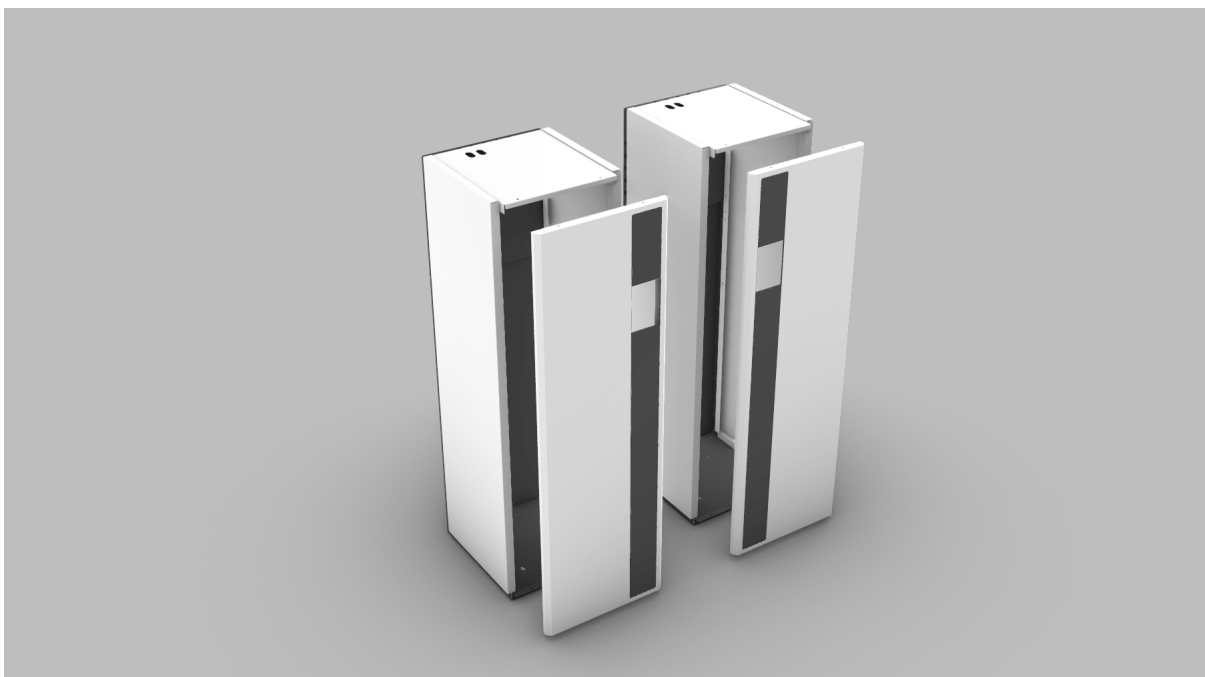
Obr. 62: Autorská tvorba, Boční panely vnitřní jednotky, 3D model, 2022

Boční stěny jsou navrženy, aby levý i pravý panel byly identické. Toto zjednodušuje výrobu a logistiku produkce. Znamená to ale, že montážní otvory musí být symetrické. Vzadu a dole se boční panely upevňují na nosnou část.



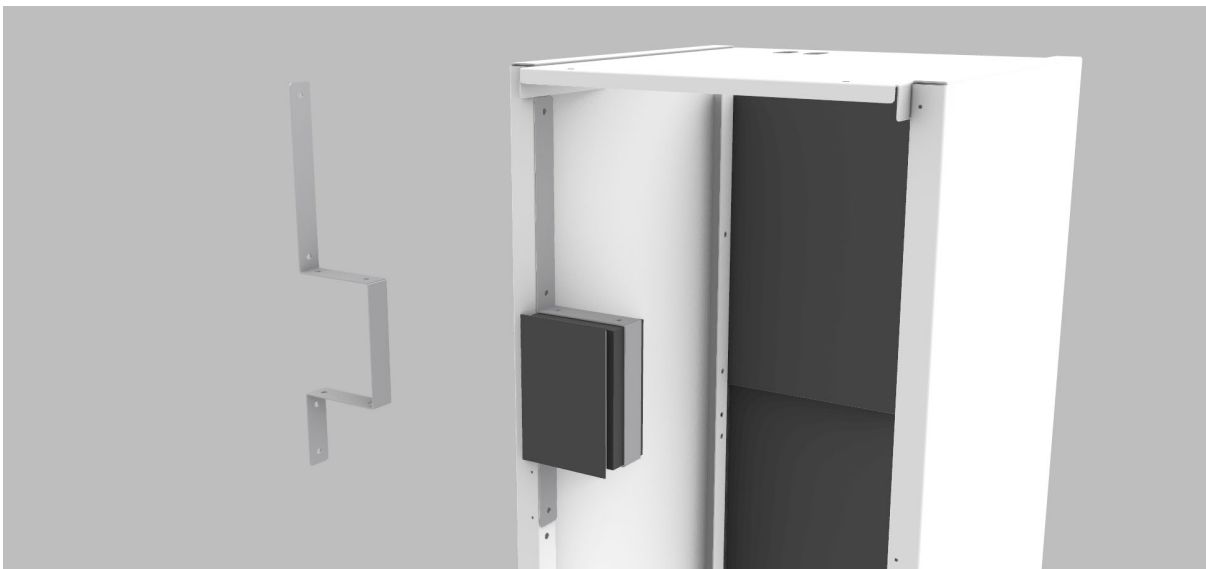
Obr. 63: Autorská tvorba, Vrchní panely vnitřní jednotky, 3D model, 2022

Stříška je zapuštěná, aby nedocházelo k předělům v bočních stěnách. Připojení chladicího oběhu vnější jednotky jsem umístil zde, protože nemá stejné nároky na flexibilitu jako připojení vody. Typicky je chladicí oběh veden podél stropu směrem k venkovní jednotce. Vzhledem k rozdílným velikostem deskových výměníků na základě výkonu jednotky jsem zajistil i flexibilitu polohy trubek pomocí oválných výřezů a plastového posuvného dílu. Vrchní panel je pevně smontovaný s bočními panely i nosnou konstrukcí.



Obr. 64: Autorská tvorba, Čelní panel vnitřní jednotky, 3D model, 2022

Pro čelní panel je důležité, aby byl obratitelný. Jelikož je displej pojat asymetricky, musí se zajistit možnost jeho umístění na obě strany zařízení. Toto zajistí potřebnou flexibilitu pro pohodlnou uživatelskou interakci při umístění jednotky do rohu místnosti. Zároveň je celý čelní panel pojat jako servisní přístup. Celková hloubka jednotky je 650 mm, ale veškeré komponenty jsou v pohodlně přístupné v maximální vzdálenosti 500 mm. Čelní panel lze ke zbytku konstrukce uchytnout několika způsoby. Nejjednodušší je ho přišroubovat podél hran k bočním panelům, dnu i střeše. To však zanechá viditelný spojovací materiál, což považuji za nevhodné. Uvažoval jsem tedy o možnosti pověšení panelů na plechové háčky nebo pomocí čepů a klíčových dírek. Obě tyto řešení ale vyžadují svislý pohyb s panelem. Displej ale musí být řešen jako fixní součást čerpadla kvůli jeho překrytí dotykovou vrstvou a připojení k ostatní elektronice. Zmíněná řešení by způsobovala kolizi s displejem. Vybíral jsem tedy pouze z vodorovného nasunutí čepů do odpovídajících děr na bočních panelech, nebo využití plastových klipů. Klipy jsem zavrhl, protože se jedná o výrobně komplikovanější součást. Panel by se stejně musel šroubovat, aby vstup do zařízení byl odborný. Vhodnější mi tedy přišlo využití čepů, které se jednoduše do čelního panelu nalisují. Panel by byl uchycen šrouby pouze podél spodní a vrchní hrany, pro zachování estetické čistoty pohledových částí. Černé plochy nad a pod displejem by byly do plechu pouze zacvaknuté. Může se jednat o plastový díl s vysokým leskem na čelní ploše. Alternativně by to mohlo být černé plexisklo upevněné do plastového rámečku, pomocí kterého se nacvakne do odpovídajícího výřezu. Rohy čelní plochy, kde kvůli výrobě vznikají poměrně velké otvory, jsem koncipoval tak aby byli symetrické. Vytvořil jsem plastovou krytku, která tento prostor vyplňuje a uceluje tak celý tvar čerpadla. Ve všech rozích lze využít tentýž díl.



Obr. 65: Autorská tvorba, Uchycení displeje, 3D model, 2022

Jak jsem zmiňoval, displej by byl uchycen přímo ke konstrukci. Mohlo by to být řešeno jednoduchým plechovým dílem. U navrženého řešení lze jednoduše změnit stranu na které je displej uchycen. Řešil jsem kam umístit elektroniku abych zachoval přístup k ostatním komponentům. Typicky se nachází v horní části čerpadla, vedle displeje. V mém případě by takováto poloha, ale znamenala že by se muselo jednat o sundavací nebo výklopný díl. To mi nepřišlo vhodné, kvůli četnému kabelovému propojení elektroniky se zbytkem systému a celkové konstrukční komplikaci výklopného řešení. Našel jsem však prostor před zásobníkem, kam by se elektronika pohodlně vešla. Zároveň by byla blízko displeje a byla by pohodlně přístupná při servisu.



Obr. 66: Autorská tvorba, Ověření komponentů vnitřní jednotky, 3D model, 2022

Veškeré kroky jsem ověřoval i s potřebnou vnitřní zástavbou. Tepelná izolace by se řešila pěnovými panely vlepovanými na vnitřní plochy panelů, nebo vkládanými mezi komponenty. Výměník a expanzní nádoba by byly drželi trubkami vodního a chladivového oběhu. V případě potřeby by bylo možné do plechu vlisovat matice a použít dodatečný díl pro bezpečnější uchycení.

4.2.5 Malá jednotka

Jednotka bez zásobníku vychází z řešení velké jednotky. Mezi vnitřními plochami je potřeba zachovat estetickou i funkční návaznost. Zachoval jsem velikost displeje i tvarování čelní plochy. Plocha, do které je zasazen displej je užší o 2 cm. Toto řešení působí proporčněji vzhledem k menším rozměrům jednotky. Zachovává ale kompatibilitu se stejným displejem jako u větší jednotky. Ten bude akorát mít užší rámeček – 1 cm místo 2 cm. Displej je umístěn do spodní části tmavého pruhu. Jelikož se jedná o závěsnou jednotku, typicky umístěvanou nad zásobník teplé vody, výsledná výška displeje bude přibližně odpovídat ergonomicky optimální vzdálenosti 1500 mm od země.



Obr. 67: Autorská tvorba, Malá vnitřní jednotka, 3D model, 2022

Konstrukčně se jedná o podobný princip jako u větší jednotky. Díl ve tvaru L je hlavní nosnou částí čerpadla. Na spodní ploše budou umístěné přípojky vody a chladiva. Přípojky jsou v standardní lokaci jako u ostatních topných technologií. Zajistím tím kompatibilitu s existujícími produkty, což je potřeba například při modernizacích. Jednotka se bude věšet za zadní plochu pomocí závěsných lišt. Boční panely i stříška jsou řešeny obdobně jako u větší jednotky. Čelní panel se nasazuje stejným způsobem a je také upevněn šrouby na vrchní a spodní hraně.

4.2.6 Výroba, montáž a instalace

Během tvarování a řešení konstrukce jsem držel na mysli i výrobní technologie. Proveditelnost byla ověřena při výrobě modelu v měřítku 1:2. Všechny plochy jsou rozvinutelné, a ohyby proveditelné. Výrobně by se jednalo o řezání laserem, následuje ohyb na ohraňovacím lisu a posléze povrchová úprava. Materiálově by se jednalo o plech z magnetické nerezové oceli o tloušťce 1,5 mm.

Montáž by byla provedena v následujícím pořadí. Do dna je upevněn zásobník a nožičky, potřebné trubky. Připevní se boční panely a střecha včetně tepelné izolace. Posléze instalují veškeré další komponenty. Upevní se elektronika. Na základě zvolené polohy displeje se upevní na správnou stranu. Propojí se veškerá elektronika. Je nasazen čelní panel ve správné orientaci.

Přeprava obou jednotek není problematické vzhledem k standardní kvádrové zástavbě. Instalace velké jednotky se provádí pomocí postavení na rektifikační nožičky. Malá jednotka se věší pomocí dvou závěsných lišt.

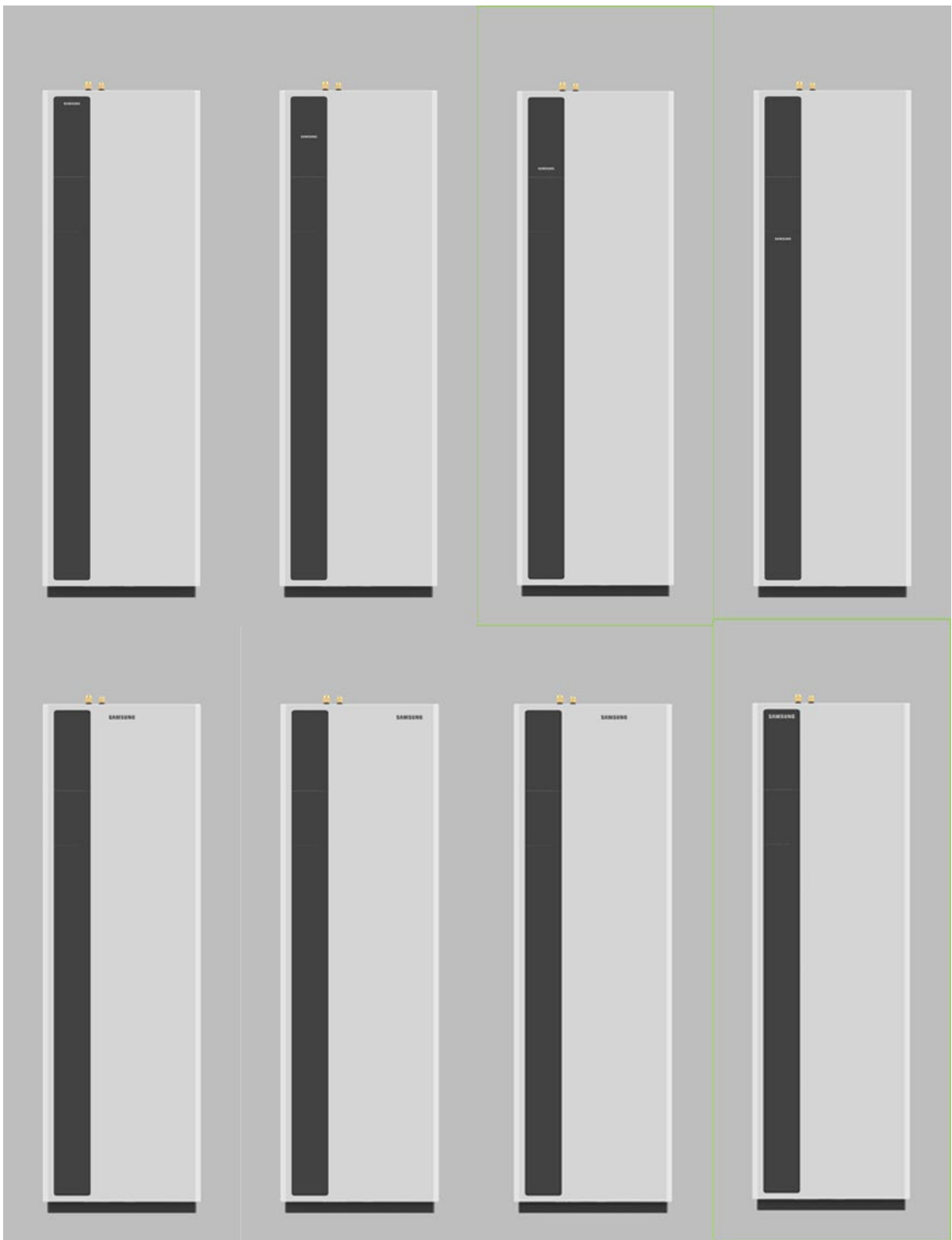
4.2.7 Barevnost

Zvolení barevnosti u vnitřní jednotky bylo jednoduché. Čerpadlo se většinou umísťuje mimo obytné prostory a poskytnutí barevné flexibility tedy nepovažuji za nezbytné.

Svislý pruh na čelní ploše musí být černý, aby došlo k splynutí displeje. Této barevnosti bude odpovídat i viditelná odsazená linie dna, protože se jedná o prvek, který má vizuálně oddělit čerpadlo od okolí. Zbytek panelů bych řešil v bíle, protože se jedná o nejuniverzálnější barvu pro interiérové využití. Zároveň je takto řešena i většina ostatních zařízení a spotřebičů. Zvolil jsem dopravní bílou (RAL 9016), protože se nejedná o nejzářivější tón, který by se v interiéru akorát vyčleňoval. Této barvě odpovídá dopravní černá (RAL 9017). Pro účely modelu se ale jedná o RAL 9003 a 9005 kvůli možnostem zvolené lakovny.

4.2.8 Branding

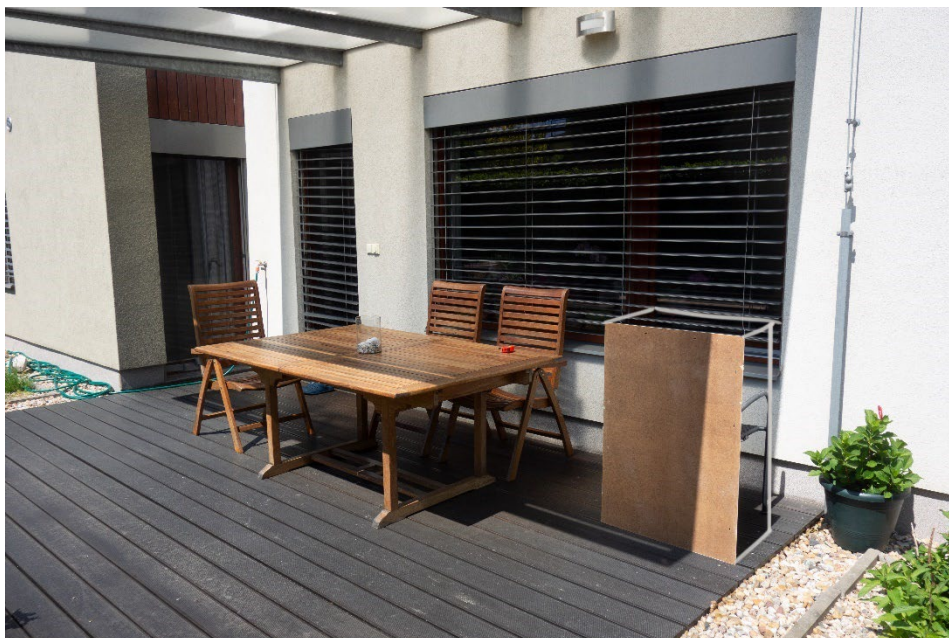
Pro branding platí stejné principy jako u venkovní jednotky. Logo je potřeba mít dostatečně veliké, kontrastní a v adekvátní výšce. Uvažoval jsem nad jeho umístěním buď na černou, displejovou plochu. Takové řešení by bylo vhodné, protože se jedná o místo uživatelské interakce. Logo však není určené pro zákazníka, ale spíše pro oslovení dalších osob, kteří se v jeho blízkosti vyskytnou. Na displejovou plochu se pohodlně vejde logo o maximální šířce 60 mm. Jedná se ale o velikost na spodní hranici čitelnosti. Považuji tedy za vhodnější mít logo větší. Toto nejlépe splňuje jeho zasazení do bílé části čelní plochy. Nejlépe působí řešení s šířkou loga 100 mm, které zrcadlí polohu displeje. Toto zhruba odpovídá ostatním řešením firmy Samsung na jiných spotřebičích jako například lednice.



Obr. 68: Autorská tvorba, Umístění loga na vnitřní jednotce, 3D model, 2022

5. Prototypování a testování – ověřování variant

Prototypování a testování variant bylo průběžnou součástí celého projektu. Jedná se o poměrně objemné zařízení, které může být umístěné v stísněných prostorech. Bylo tedy potřeba ověřit funkčnost vybraného řešení.

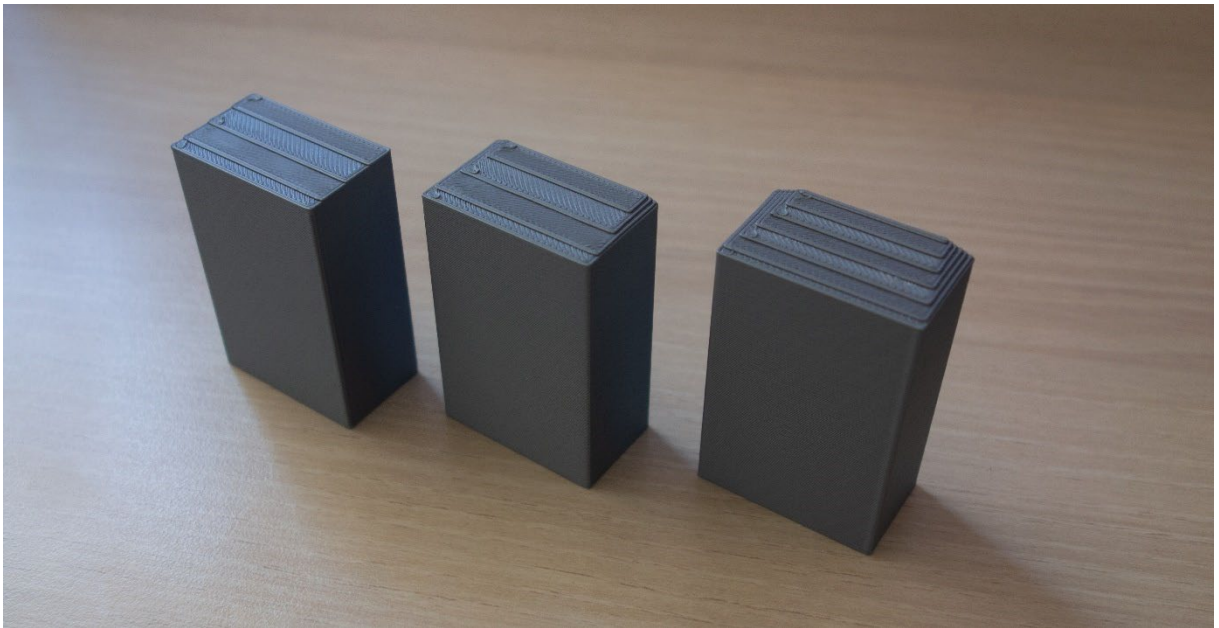


Obr. 69: Autorská tvorba, Venkovní jednotka v reálném kontextu, fotografie, 2022

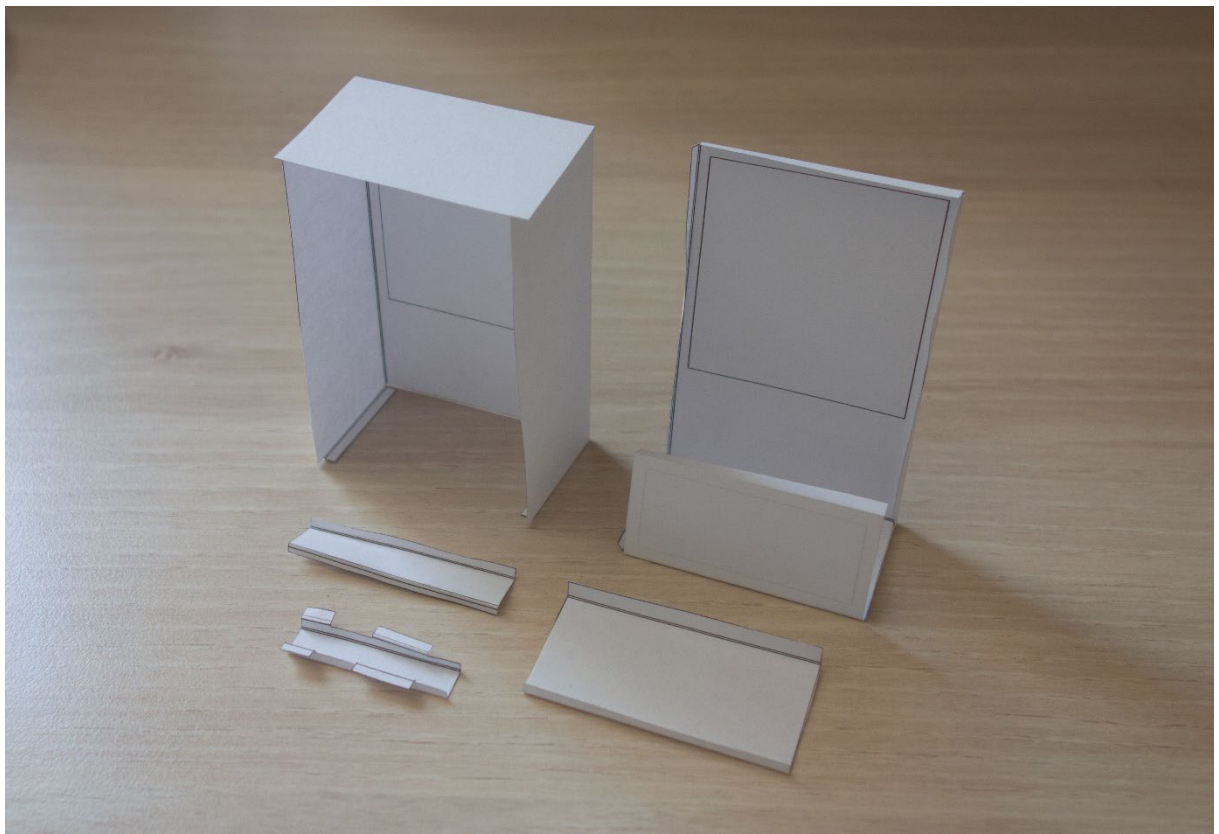
U venkovní jednotky jsem v kontextu rodinného domu testoval různé typy zástavby. Různě orientované venkovní jednotky zabírají zásadně odlišný prostor. Zároveň je potřeba počítat s odsazením jednotky od budovy a okolního terénu. Výsledkem bylo ověření největší vhodnosti vybraného řešení – jednotky otočené o 90°. Takováto jednotka s větrákem na čelní ploše poskytuje plošně nejefektivnější zástavbu. V prostoru zahrady ubírá nejméně místa. Výšku zařízení při nárůstu u větších výkoností jsem neshledal jako problematickou.

Během navrhování jsem testoval některé aspekty na zmenšených, 3D tištěných modelech. Ukázkou je například srovnání variant zastřešení. Tyto modely mi pomohli ověřit, jak by tvarování působilo v reálu. Při digitálním řešení zastřešení jsem se přikláněl k variantě se sklony i na boky, ale na fyzickém modelu bylo zřetelnější, že varianta se sklonem pouze dopředu působí elegantněji a kompaktněji.

Technické řešení návrhu panelů a jejich montáže bylo testované pomocí vytištěných papírových šablon. Adekvátním zohýbáním papíru lze prověřit proveditelnost i vhodný postup při ohranování. Další detaily, jako například šroubování mřížky, byly ověřované pomocí 3D tištěných modelů.



Obr. 70: Autorská tvorba, Testování zastřešení, fotografie, 2022



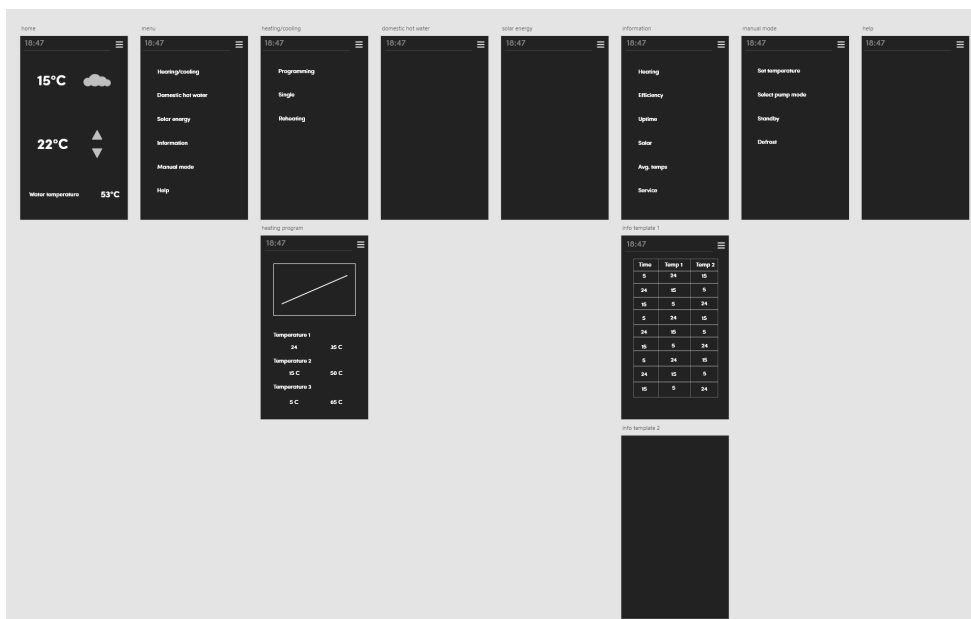
Obr. 71: Autorská tvorba, Testování ohybů, fotografie, 2022

U vnější jednotky jsem ověřoval i zástavbu součástí. Jelikož jsou komponenty konstrukčně významnou součástí, ověřoval jsem funkčnost a vzájemnou kompatibilitu se zvolenými konstrukčními řešeními. Důležité pro mě bylo otestovat montáž EPP dílu na výparník a montáž mřížky do něj. Zároveň jsem ověřil i kompatibilitu s různými velikostmi kompresorů. Řešení funguje dle očekávání.



Obr. 72: Autorská tvorba, Testování montáže, fotografie, 2022

U vnitřní jednotky bylo důležité prověřit prostory ve kterých se čerpadlo může vyskytovat. Může se jednat o poměrně stísněné místnosti. Zároveň zde mohou být jiné spotřebiče nebo součásti topných systémů. Čerpadlo by tedy mělo odpovídat jak nárokům prostoru, tak i ostatním produktům, které se v něm mohou vyskytnout. Výměrami jsem tedy ověřoval existující i mnou navrženou zástavbu. Pro účely finalizace rozměrů jsem pomocí papírové pásky testoval velikost zařízení. Došel jsem k tomu, že řešení je adekvátní a kompatibilní s prostředím určení. Testoval jsem i ergonomickou vhodnost umístění displeje.



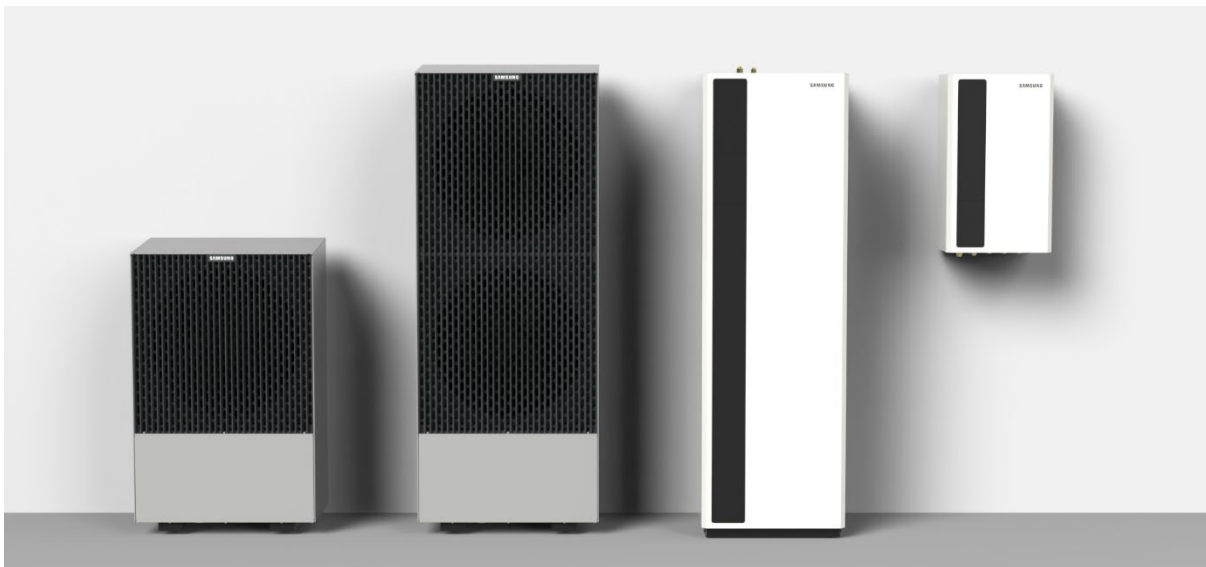
Obr. 73: Autorská tvorba, První koncept uživatelského rozhraní, interaktivní prototyp, 2022

Důležitým krokem testování bylo ověřování návrhů uživatelského rozhraní. Pomocí programu Adobe XD jsem prověřoval funkčnost a přehlednost. Prototypy jsem vytvářel už od prvního návrhu, jelikož během reálné interakce s rozhraním lze přijít na nejvíce nedostatků. Závěry, které jsem z testování vyvodil jsou například, že je dobré se vyvarovat gestům určeným pro ovládání. Gesta mohou sice být příjemné a intuitivní, ale nepovažuji za vhodné nutit uživatele se učit ovládat další systém. V uživatelském rozhraní by vše mělo být naprosto zřejmé na první pohled. Zároveň může uživatelské rozhraní s gesty být nevhodné, pokud displej nebude maximálně responzivní. V neposlední řadě mohou gesta přispět i k pocitu zastaralosti systému. I když zajistím maximální standardnost v souladu s gesty využívanými dnes, za pět let se navrhování uživatelských rozhraní může změnit natolik, že systém bude působit zastarale. Během testování jsem přišel i na nedostatky řady jiných aspektů UI. Zkratka pro přístup do menu nebo pro vrácení na domovskou stránku by měla být řešena piktogramem a ne textem. Jedná se o jednoznačnější řešení, které se vyhýbá možné jazykové bariéře. Také je potřeba zajistit adekvátní velikost šipek pro nastavení cílové vnitřní teploty. V neposlední řadě je potřeba odlišit prvky které jsou pouze výčtem informací od prvků se kterými může uživatel interagovat. Toto jsem řešil pomocí adekvátního prostorového uspořádání a zvolené barevnosti prvků.

Vzhledem k měřítku projektu bylo průběžné testování návrhů tvarování nebo dělení ploch obtížné. Výběr jsem tedy prováděl zejména na základě variant zpracovaných digitálně.

Během řešení barevnosti jsem nahlédl do vzorníků RAL, ale v reálu by bylo potřeba barevnost ověřovat i na základě vzhledu výsledného produktu. Drobné odlišnosti můžeme najít mezi lakovkami i mezi dodavateli prášků.

6. Výsledný návrh



Obr. 74: Autorská tvorba, Produktová řada, vizualizace, 2022

Výsledkem mé práce je produktová řada tepelných čerpadel určená pro výrobu firmou Samsung. Jedná se o splitové tepelné čerpadlo vzduch-voda. Řada se skládá z dvou vnitřních a dvou vnějších jednotek.

Venkovní jednotka je poskytována v několika výkonnostech. Konkrétně se jedná o 6, 8, 10, 12, 14 a 16 kW. Je možné také kaskádového propojení jednotek. To se provádí, pokud je potřeba vyšších výkonů, nebo je žádoucí navýšení výkonu po instalaci první jednotky. Propojují se maximálně 4 jednotky. Opláštění je ve dvou velikostech, vzhledem k větší prostorové náročnosti na komponenty u čerpadel s vyšším výkonem. Obě velikosti jsou esteticky konzistentní.



Obr. 75: Autorská tvorba, Obě venkovní jednotky, vizualizace, 2022



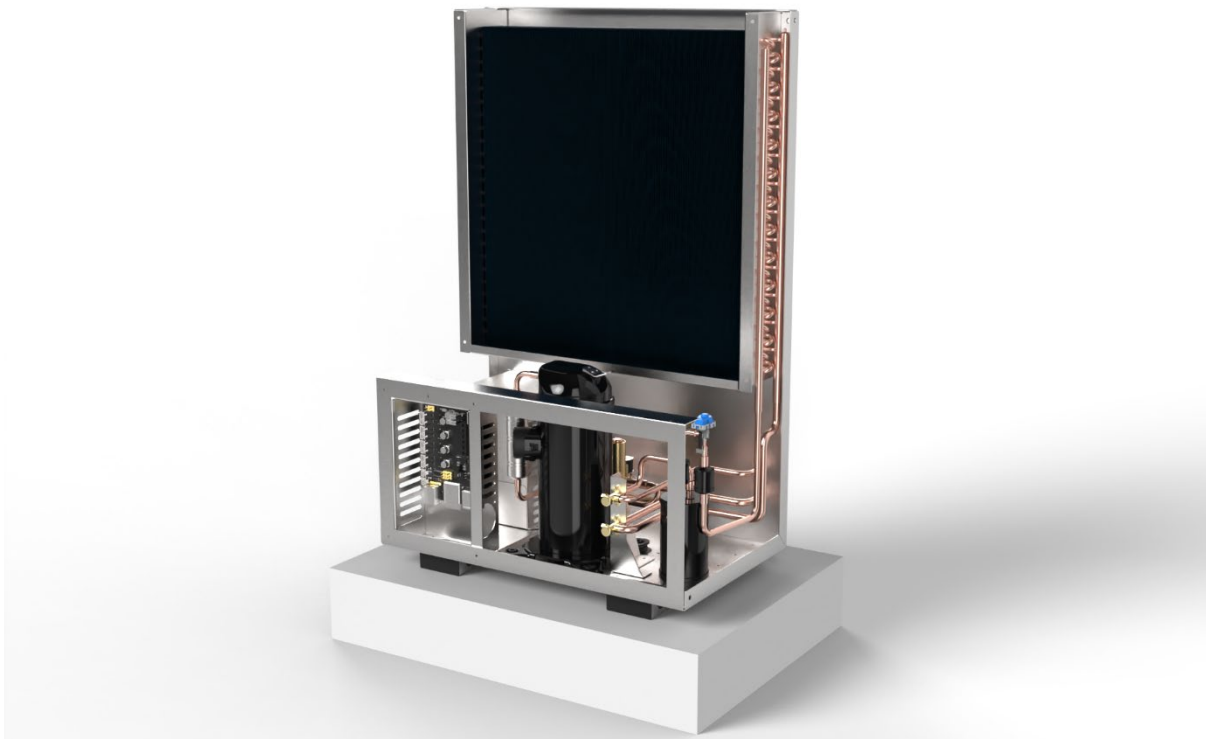
Obr. 76: Autorská tvorba, Opláštění venkovní jednotky, vizualizace, 2022

Během navrhování jsem kladl důraz na výrobní stránku. Pohledová i nosná část opláštění venkovní jednotky je vyrobena z plechu o tloušťce 2 mm. Jednalo by se o magnetickou nerezovou ocel. Proces výroby by se skládal z řezání plechu laserem, ohýbání na CNC ohraňovacím lisu, povrchové úpravy a montážní kompletace. Cílem bylo dosažení minimálního počtu dílů a jejich maximální unifikace. Celá konstrukce se skládá z pěti dílů. Typově se jedná pouze o čtyři díly. Jednotlivé panely jsou vyřešeny včetně všech technologických detailů (lemy, ohyby a úlevy ostrých hran). Střeška je řešena se sklonem 5° kvůli adekvátnímu odvodnění.



Obr. 77: Autorská tvorba, Nosná konstrukce venkovní jednotky, vizualizace, 2022

Technické detaily jsou řešeny i u konstrukčních částí. Zahrnul jsem adekvátní prolisování dna pro odvod vody a ztužení montážních bodů. Součástí modelu je i veškerý spojovací materiál a jemu odpovídající otvory. Pro vyztužení konstrukce lze přidat příčné díly.



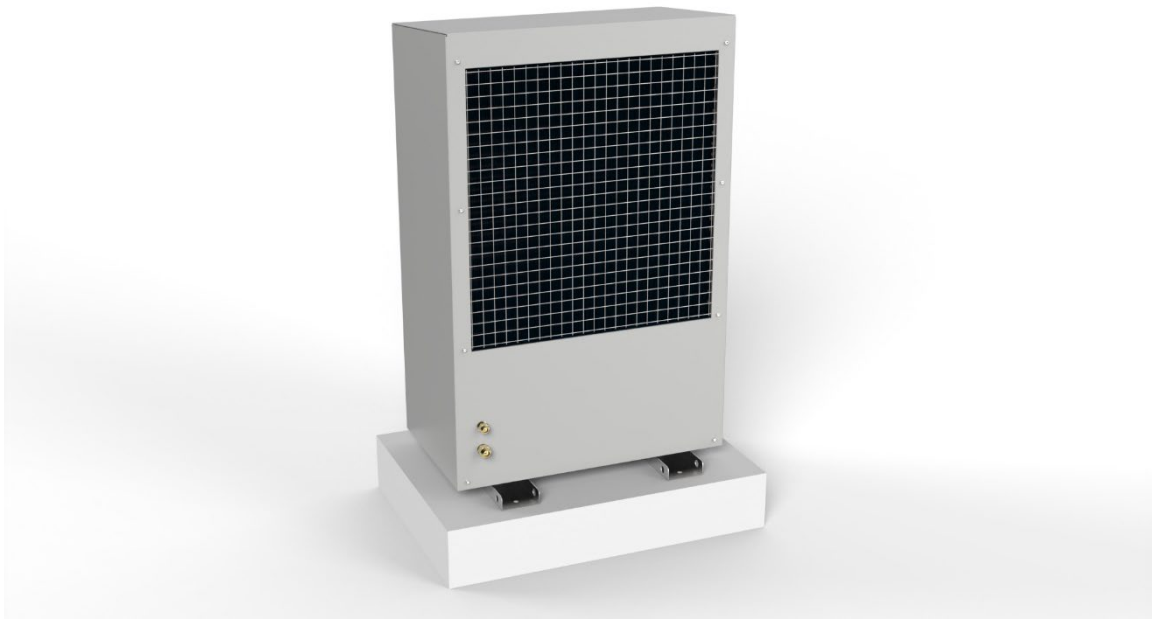
Obr. 78: Autorská tvorba, Chladicí oběh venkovní jednotky, vizualizace, 2022

Byla zajištěna kompatibilita s komponenty pro všechny typy výkoností. Součástí návrhu je i řídicí elektronika a invertor.



Obr. 79: Autorská tvorba, Servisní přístup venkovní jednotky, vizualizace, 2022

Servisní přístup je ve spodní části čelní plochy. Jeho velikost je adekvátní a umožňuje přístup ke všem nezbytným součástem. Těmi jsou řídicí jednotka, servisní ventily a instalační otvory pro upevnění jednotky.



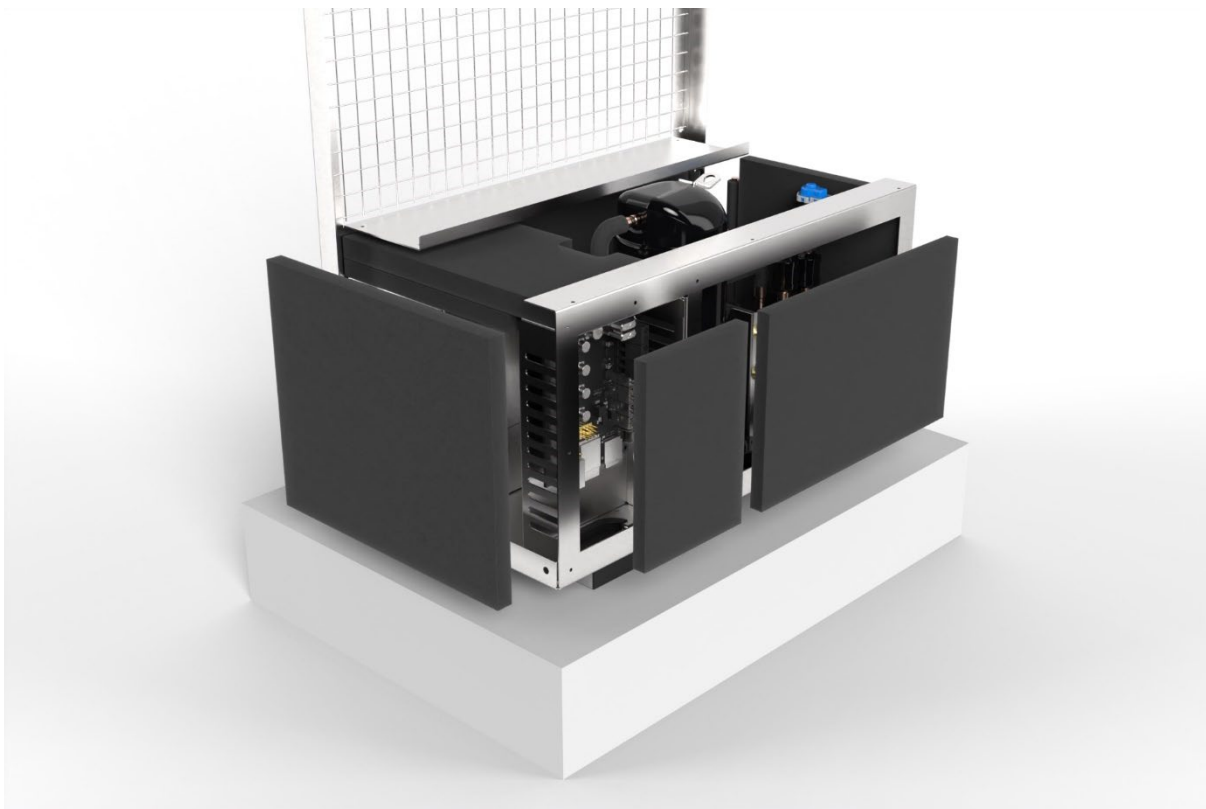
Obr. 80: Autorská tvorba, Zadní strana venkovní jednotky, vizualizace, 2022

Instalace zařízení se provádí na vyvýšený betonový základ. Doporučuje se jednotku vyvýšit o 10 až 20 cm nad okolní terén. Zároveň se jednotka umísťuje 40 cm od fasády domu. Zařízení je již vyvýšeno o 4 cm kvůli montážním dílům. Do základů se čerpadlo šroubuje skrze otvory v servisním přístupů a ze zadní strany čerpadla. Otvory uvnitř čerpadla a na čelní části montážních dílů jsou zaslepené odnímatelnými krytkami.

Kromě standardní montáže na zem se může provádět i montáž na konzolu. Vývody chladiva jsou proto umístěné na zadní straně úplně na boku jednotky, aby se k nim zajistil přístup i při tomto způsobu montáže. Na zadní stranu čerpadla je do otvoru pro výparník přidána pletivová mřížka z bezpečnostních důvodů.



Obr. 81: Autorská tvorba, Větrák a EPP díl, vizualizace, 2022



Obr. 82: Autorská tvorba, Tepelná a zvuková izolace, vizualizace, 2022

Větrák je zasazen do dílu z EPP, který funguje jako konstrukční část. Zároveň však větrák i zbytek čerpadla tepelně i zvukově izoluje. Díl se upevňuje na výparník a v přední části je podepřen nosnou konstrukcí.

Ostatní tepelná a zvuková izolace je řešená pomocí pěnových panelů a obalování trubek. Panely zároveň i zastřešují elektroniku proti vniknutí vody.



Obr. 83: Autorská tvorba, Mřížka venkovní jednotky, vizualizace, 2022

Mřížka je dominantním estetickým prvkem čerpadla. Zároveň plní splňuje i funkční a bezpečnostní vlastnosti. Vyráběla by se z plastu. Upevňuje se pomocí 4 šroubů do dílu z EPP. Je navržena tak aby v co nejširším úhlu pohledu zakrývala větrák uvnitř čerpadla. Zároveň při různých úhlech pohledu vytváří zajímavý optický efekt.

Povrchová úprava je řešena práškovým lakováním. Standardní barevnost opláštění je RAL 7047 jelikož jsem shledal, že se jedná o neutrální odstín, který zapadne do celé řady různých prostředí. Zákazníkovi může být poskytnuta flexibilita ve výběru libovolné barvy ze vzorníku RAL. Tato služba by ale musela být zpoplatněna pro pokrytí zvýšených nákladů obtížnější logistiky. Takováto možnost je vhodná vzhledem k různorodosti prostředí. Zároveň se jedná o aspekt často přehlížený konkurencí. Implementace takového řešení může poskytnout zásadní tržní výhodu.

Plastová mřížka by byla vyráběna pouze v jedné barevnosti. Vyrábění více variant mřížky je ekonomicky nerealistické. Zvolenou barvou je Pantone 446 C. Tato barva odpovídá nejtmašším barvám využívaným v kontextu exteriérů architektury. Zároveň zachovává optický charakter efekt a poskytuje dostatečně kontrastní podklad pro logo.



Obr. 84: Autorská tvorba, Obě vnitřní jednotky, vizualizace, 2022

Vnitřní jednotka je poskytována ve dvou variantách – velká a malá. Větší varianta obsahuje veškeré součásti topného systému domácnosti, jako například čerpadlo a zásobník teplé vody. Jedná se o kompletní řešení, které je vhodné pro novostavby. Na zákazníka, který problematice nerozumí, může působit méně děsivě. Zároveň dochází se skrytí veškerých součástí oběhu topné vody, což umožňuje estetickou kultivaci a zpřehlednění realizace.

Druhou variantou je malá, závěsná jednotka. Ta se využívá pro napojení na existující topný systém. Neobsahuje zásobník a integrované čerpadlo je pouze sekundární. Je tedy vhodná pro využití například při modernizaci, kde už máme existující topný systém. Po vzhledové stránce odpovídá větší variantě, pro vytvoření konsistentního produktového portfolia.

Obě jednotky se skládají z pěti dílů o čtyřech různých typech. Jednotlivé panely jsou řešeny individuálně. Tímto se zjednodušuje výroba ze standardních rozměrů plechu 3000 x 1500 mm. Zároveň je skladování takovýchto plochých součástí jednodušší.



Obr. 85: Autorská tvorba, Komponenty vnitřní jednotky, vizualizace, 2022



Obr. 86: Autorská tvorba, Připojení vnitřní jednotky, vizualizace, 2022

Hlavním konstrukčním prvkem velké jednotky je dno. Přípojky pitné a topné vody jsou na zadní ploše a řešil jsem je modulárně. Dvojitá záda poskytují možnost vyvedení trubek nahoru nebo do obou stran. Vývody chladiva jsou na horní ploše.



Obr. 87: Autorská tvorba, Konektory a montážní prvky malé vnitřní jednotky, vizualizace, 2022

U malé jednotky je konstrukce řešena podobně. Jednotka se ale věší za zadní plochu na lišty. Přípojky chladivového i topného oběhu jsou na spodní ploše. Toto je z důvodu, že se jedná o závěsnou jednotku, která se typicky umísťuje nad zásobník teplé vody. Takovéto řešení je tedy prostorově úspornější. Přípojky jsou ve standardní poloze, abych zajistil kompatibilitu s existujícími řešeními a pohodlnou instalaci.



Obr. 88: Autorská tvorba, Servisní přístup vnitřní jednotky, vizualizace, 2022

Veškeré panely jsou řešeny včetně technologických detailů a montážních prvků. Vnitřní jednotka by byla vyráběna z magnetické nerezové oceli o tloušťce 1,5 mm. Je zajištěna kompatibilita se všemi potřebnými komponenty. To platí i pro vyšší výkonnosti, které se vejdou do stejného opláštění. Zároveň je součástí návrhu i prostor pro tepelnou izolaci.

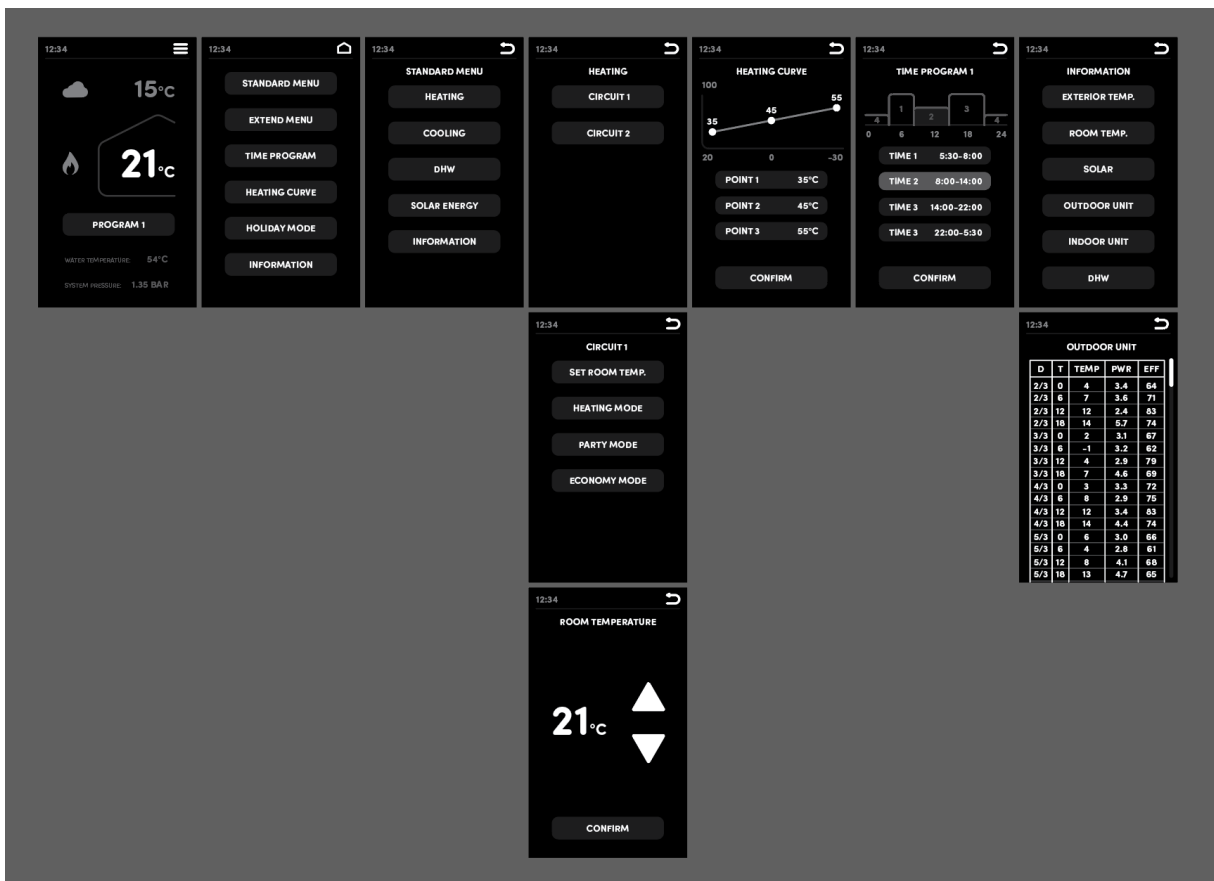
Servisní přístup je u obou jednotek řešen pomocí sundávání čelního panelu. Ten lze odejmout v jednom díle. Na konstrukci se nasouvá pomocí čepů a je upevněn šrouby na vrchní i spodní hraně. Displej je ale fixní součástí čerpadla.



Obr. 89: Autorská tvorba, Otočení čelního panelu vnitřní jednotky, vizualizace, 2022

Displej je orientovaný na výšku a umístěný do svislého černého pole. To je výrazovým prvkem a zároveň sjednocuje displej s celkem návrhu. Vzhledem k asymetrickému umístění displeje je potřeba zajistit flexibilitu ve zvolené straně. Toto by se muselo řešit už ve výrobě, jelikož to ovlivňuje polohu loga na čelním panelu. Díly jsou pro takovéto otočení uzpůsobené.

Povrchová úprava je řešena práškovým lakováním, stejně jako tomu je u venkovní jednotky. Zvolenými barvami čerpadla jsou RAL 9016 a RAL 9017. Typ povrchu je hedvábný lesk. Toto řešení působí elegantně a zároveň schovává drobné imperfekce způsobené výrobním procesem. Interiérové prostory bývají ve svém řešení univerzálnější. Nejčastější barvou stěn je bílá. Zároveň se zde vyskytují jiné spotřebiče s obdobnou barevností. Barevnou flexibilitu u vnitřní jednotky tedy nepovažuji za důležitou.

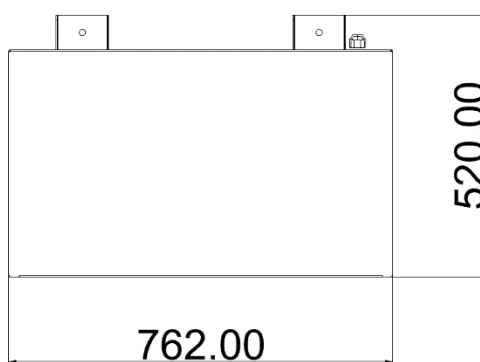
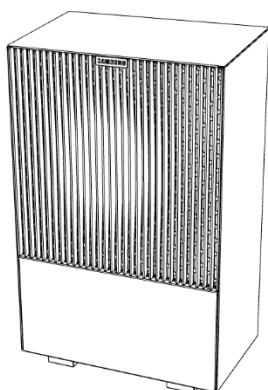
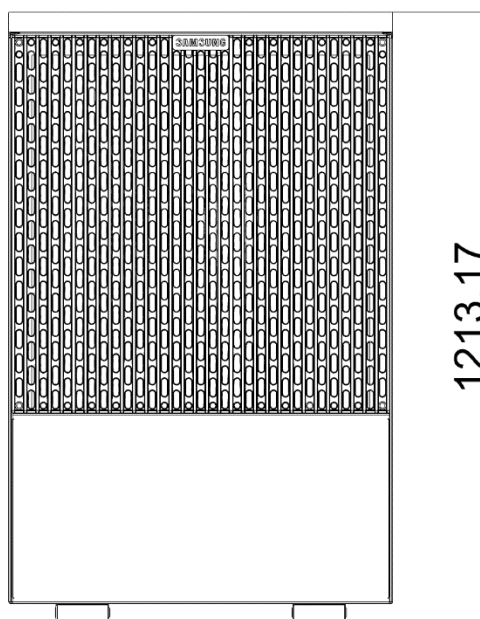
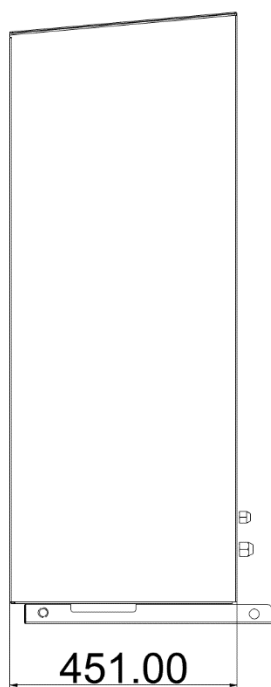


Obr. 90: Autorská tvorba, Finální řešení uživatelského rozhraní, interaktivní prototyp, 2022

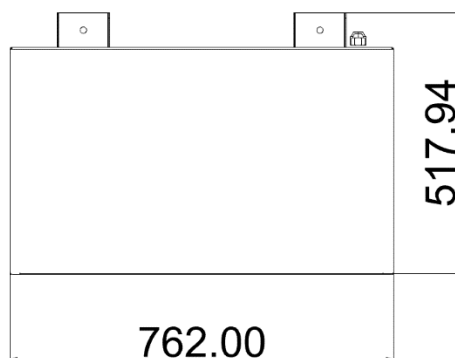
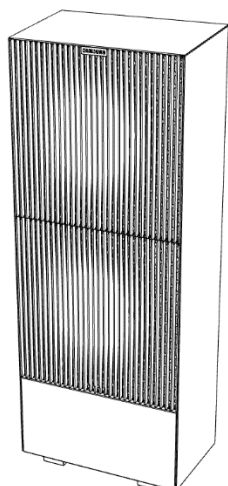
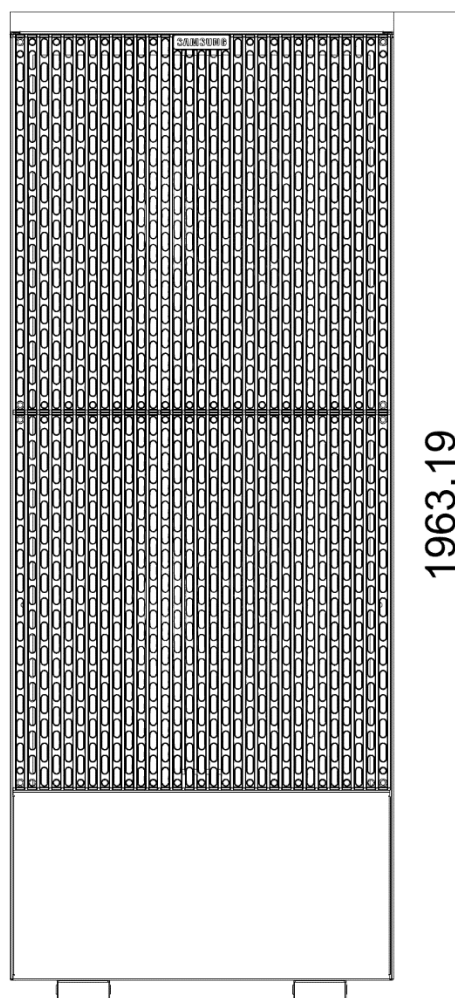
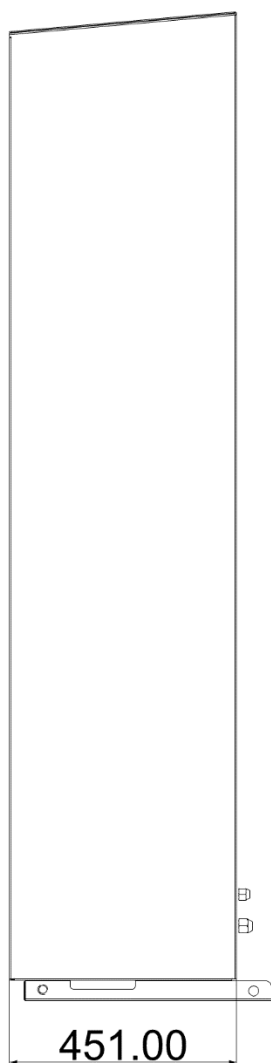
Součástí projektu je i návrh řešení uživatelského rozhraní. Cílem bylo optimalizovat interakci s čerpadlem a poskytnout vzhledově příjemnější a přehlednější řešení než konkurence.

7. Technická dokumentace

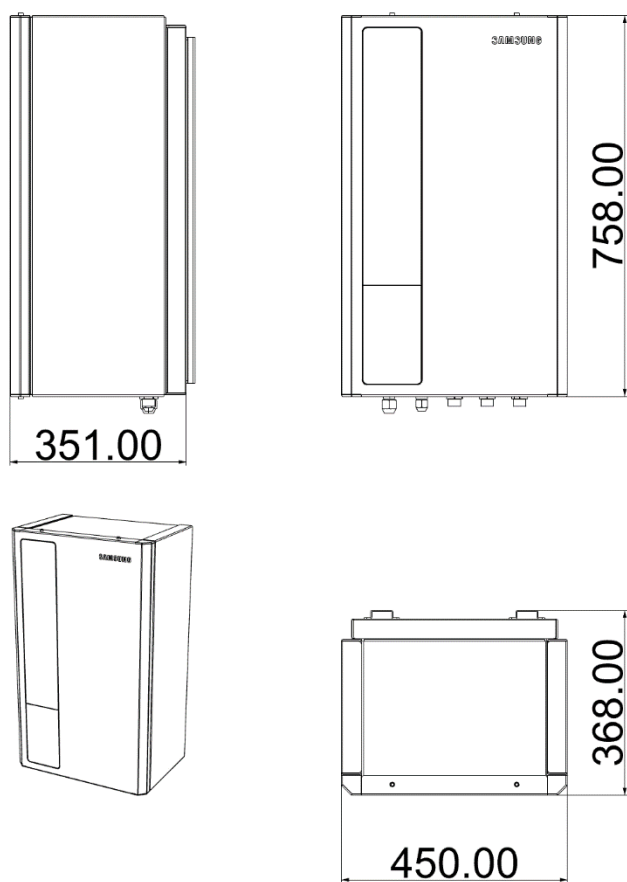
7.1 Malá venkovní jednotka, 1:15



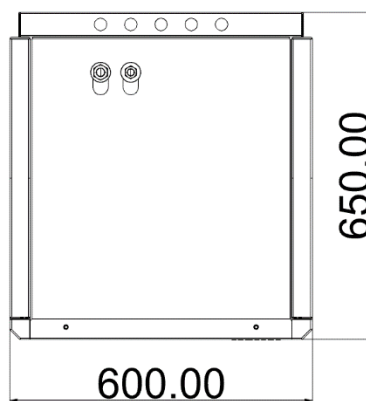
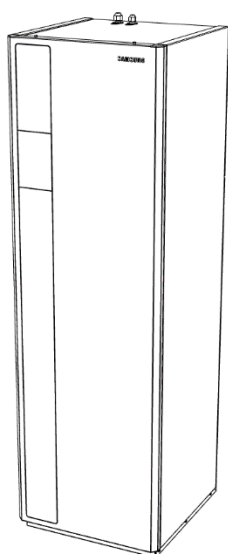
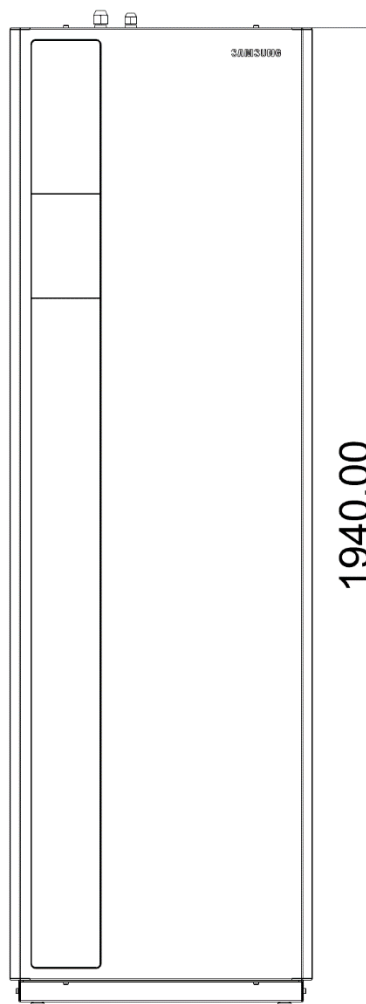
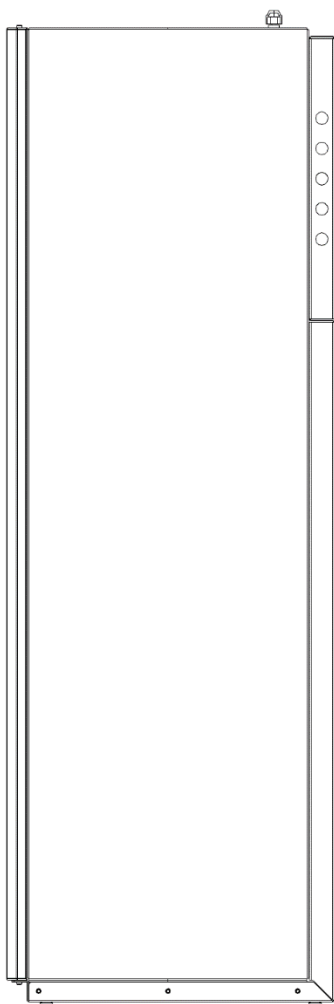
7.2 Velká venkovní jednotka, 1:15



7.3 Malá vnitřní jednotka, 1:15

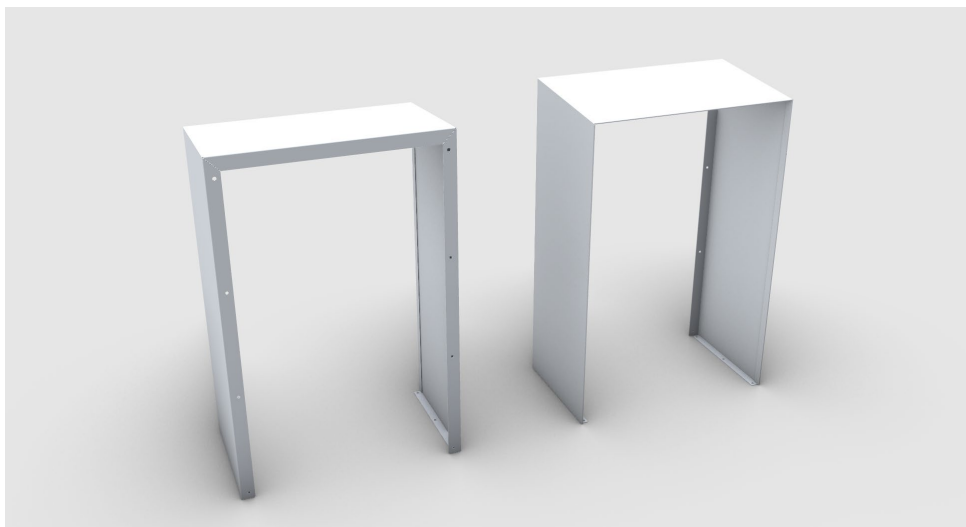


7.4 Velká vnitřní jednotka, 1:15



8. Závěr a reflexe

Záměr projektu jsem naplnil ve vysoké míře. Mezi klíčové očekávání nastolené v úvodu projektu patřila výroba a ekonomické hledisko, zajištění funkce a kvalitní estetické zpracování s přidanou hodnotou.



Obr. 91: Autorská tvorba, Alternativní opláštění venkovní jednotky, vizualizace, 2022

Se zpracováním výrobního projektu jsem převážně spokojen. Návrh minimalizuje počet potřebných dílů oproti konkurenčním řešením. Tyto díly jsou jednoduše výrobitelné a díky převážně plochému tvarování i dobře skladovatelné. Díky tomu, že se finální model vyráběl shodnou technologií jsem si mohl proveditelnost ověřit. Ve zpracování konstrukčního řešení a výroby produktu však shledávám jeden zásadní nedostatek. Opláštění venkovní jednotky je řešeno neefektivně, jelikož dochází ke dvojitému překrytí zadní plochy. Řešení, které by se skládalo pouze z bočních ploch a zastřešení je materiálově méně náročné. Zároveň se tím vyhnu potřebě svařování konstrukce podél hran zastřešení. Tento nedostatek jsem si uvědomil až po převzetí vyrobeného modelu. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl doposud ukazované řešení zachovat v původní variantě. Nově navržené řešení by šlo pro účely potenciální výroby jednoduše implementovat pomocí vytvoření nových řezů a výkresů pro ohranění.

Řekl bych, že zpracování ekonomičnosti je také adekvátní. Pomocí podrobné rešerše trhu jsem byl schopen poukázat na silné stránky i nevýhody konkurenčních řešení. Vhodné řešení jsem ve svém projektu dále využíval a zefektivňoval, a slabé stránky naopak měnil. Zpracoval jsem i nákladovost výroby, aby odpovídala realistickým požadavkům potenciálního výrobce a nejednalo se o ztrátový produkt. Tímto jsem byl schopen dosáhnout konkurenceschopného návrhu.

Požadavky cílové skupiny jsem splnil. Jak jsem během práce naznačoval, cílová skupina může být velice různorodá. Pomocí efektivnější zástavby se mi podařilo

dosáhnout kompaktního řešení. Čerpadlo zabere méně plochy než konkurenční návrhy a bylo by tedy vhodnější i pro stísněné prostory. Celkové tvarování a standardní barevnost je maximálně neutrální z důvodu zajištění vhodnosti pro nejširší množství uplatnění. Zároveň je variabilita prostředí řešená barevnou flexibilitou. Exteriér budovy může být u realizací velice odlišný a zákazník může dosáhnout více personalizovaného řešení zvolením odpovídající barvy. Díky poskytnutí dvou typů vnitřních jednotek je možné čerpadlo využít jak pro novostavby, tak i pro modernizace.

S řešením funkčního hlediska jsem částečně spokojen. U venkovní jednotky považuji úroveň zpracování za vysokou. Ověřil jsem kompatibilitu s vnitřní zástavbou pomocí reálně využívaných komponentů. Zajistil jsem adekvátní tvarování dílů pro jejich maximální unifikaci mezi různými výkonnostními třídami. Jako prostor pro zlepšení návrhu vidím řešení tepelné a zvukové izolace. Jedná se o klíčový aspekt, který zákazník zvažuje při výběru vhodné jednotky. Řešení této problematiky je však komplikované a nad moje technické dovednosti. Zároveň by takovéto zlepšení bylo potřeba testovat na funkčním prototypu. U vnitřní jednotky považuji navržené řešení za slabší. Nepodařilo se mi k vnitřní dispozici této jednotky zjistit tolik informací. Většina součástí vychází pouze z konkurenčních řešení, nebo z aproximace na základě výkresů. Pro realizaci projektu by bylo tedy třeba tuto jednotku více prověřit.

S provozními aspekty čerpadla, jako například odolností, instalací a servisem jsem spokojen.

Jako silnou stránku projektu vnímám koncepci uživatelského rozhraní. U existujících tepelných čerpadel je tato část opomíjena i přes to, že pro uživatele se může jednat o jeden z nejdůležitějších bodů. Zvolená koncepce UI (orientace na výšku) je na základě zjištěných požadavků vhodnější. Obecně se ale jedná o komplexní disciplínu, která by si zasloužila více péče. Uživatelské rozhraní je potřeba rozsáhle testovat a zároveň by bylo možné vylepšit i grafickou úpravu.

Vzhled jednotky je dle mého názoru jednou z vlastností s prostorem k většímu zkoumání. Očekávání stanovená v úvodní části projektu jsem sice naplnil. Návrh je neofensivní, konzervativní a univerzálně se hodí do velkého spektra realizací. Z části to je dané i technologií výroby. Vnímám to však i jako nevýhodu. Tím že jsem se striktně držel těchto požadavků, nedošlo v práci k volnější experimentaci. I kdyby z toho nevzešlo nosné řešení, považoval bych za vhodné něco takového do projektu zahrnout.

Obecně jsem však s výsledkem práce spokojen. Nosné koncepty považuji za kvalitní a zmiňované slabší stránky by mohly být dořešené při případné realizaci projektu.

9.Zdroje – literatura

- ¹ ARNAUD, JACQUES; Et al. Carnot cycle for an oscilátor [online]. 2002 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/23/5/306/meta>
- ² HOU, XISEN. Carnot cycle [online]. 2020 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Thermodynamics/Thermodynamic_Cycles/Carnot_Cycle](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Thermodynamics/Thermodynamic_Cycles/Carnot_Cycle)
- ³ KANGOLU, MEHMET. Refrigeration cycles [online]. 2011 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: http://coe3.uniten.edu.my/Download/Thermo/Chap_11.pdf
- ⁴ EMMANUEL, R. A renewable heat solution for water ingress in the Glasgow subway tunnel system [online]. 2014 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/286358619_A_renewable_heat_solution_for_water_ingress_in_the_Glasgow_subway_tunnel_system
- ⁵ HODBOŇ, JOSEF. Tepelná čerpadla – základní informace [online]. 2021 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/23093-tepelna-čerpadla-zakladni-informace>
- ⁶ MATUŠKA, TOMÁŠ. Parametry pro hodnocení efektivitu tepelných čerpadel: COP a SCOP [online]. 2015 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivitu-tepelnych-čerpadel-cop-a-scop>
- ⁷ TONG, Y; Et al. Greenhouse heating using heat pumps with a high coefficient of performance [online]. 2010 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1537511010000929>
- ⁸ BERTSCH, STEFAN; Et al. Two-stage air-source heat pump for residential heating and cooling applications in northern U.S. climates [online]. 2008 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140700708000273>
- ⁹ NULITE. About HP [online]. Datace neznámá [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.ne01-e.com/abouthp/>
- ¹⁰ HEPBASLI, ARIF; Et al. A review of heat pump water heating systems [online]. 2009 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032108001032>
- ¹¹ OECD. Living space [online]. 2021 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.oecd.org/els/family/HC2-1-Living-space.pdf>
- ¹² STAFFELL, IAIN; Et al. A review of domestic heat pumps [online]. 2012 [cit. 2. 6. 2022]. S. 9291 - 9306. Dostupné z: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/ee/c2ee22653g/unauth>
- ¹³ MCKAY, BECKY. Monobloc vs Split Air Source Heat Pumps: Which is Best? [online]. 2022 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.boilerguide.co.uk/air-source/monobloc-vs-split-air-source-heat-pumps-which-is-best>
- ¹⁴ HEATPUMPS HQ. Review of Heat Pump Parts [online]. Datace neznámá [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.heatpumpshq.com/parts.html>
- ¹⁵ DAVID, PETR. Kompresory pro tepelná čerpadla [online]. 2015 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-čerpadla>
- ¹⁶ HEATPUMPSHQ. Heat Pump Compressor Guide [online]. Datace neznámá [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.heatpumpshq.com/heat-pump-compressor.html>
- ¹⁷ REGULUS. Výměníky tepla [online]. Datace neznámá [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/vymeniky-tepla>
- ¹⁸ DANFOSS. ETS electric expansion valves [online]. Datace neznámá [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en/products/dcs/valves/electric-expansion-valves/ets-electric-expansion-valves/#tab-product-range>
- ¹⁹ DANFOSS. Components for heat pumps – part 5: four-way reversing valves [online]. 2012 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-stories/dcs/components-for-heat-pumps-part-5-four-way-reversing-valves/>
- ²⁰ EBPPAPST. Fans for air/water heat pumps [online]. 2020 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.ebmpapst.com/de/en/newsroom/press-releases/2020/fans-for-air-water-heat-pumps1.html>
- ²¹ MARKETS AND MARKETS. Heat Pump Market by Type, Refrigerant, Rated Capacity, End User, Region [online]. 2022 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/heat-pump-market-153294991.html>

²² EON. Kolik stojí tepelné čerpadlo? [online]. Datace neznámá [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/vytapeni-a-vetrani/tepelna-cerpadla/kolik-stoji-tepelne-cerpadlo/>

²³ RHEEM. Heat Pumps [online]. Datace neznámá [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.rheem.com/products/residential/heating-and-cooling/heat-pumps/>

²⁴ VIESSMANN. Vitocal 200-A [online]. Datace neznámá [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.viessmann.co.uk/products/heat-pumps/air-source-heat-pumps/vitocal-200-a>

²⁵ CRAFT. Viessmann Werke stock price, funding rounds, valuation and financials [online]. 2020 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://craft.co/viessmann-werke/metrics>

²⁶ PARK, BYUNG-HUN. Viessmann Group to invest EUR 1 billion in heat pumps & green solutions [online]. 2022 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z:

<https://www.viessmann.family/en/newsroom/company/viessmann-group-to-invest-eur-1-billion-in-heat-pumps-and-green-solutions>

²⁷ VIESSMANN. The figures of our success [online]. Datace neznámá [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.viessmann.family/en/who-we-are/facts-and-figures>

²⁸ BOSCH THERMOTECHNOLOGY. Nomenclature de pièces détachées [online]. 2016 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: [https://pieces-detachees.partedis.com/assetsac/pieces-](https://pieces-detachees.partedis.com/assetsac/pieces-detachees.com/explorateur_pdf_marque/BOSCH/ENR/POMPES%20A%20CHALEUR/AIR-EAU/)

[detachees.com/explorateur_pdf_marque/BOSCH/ENR/POMPES%20A%20CHALEUR/AIR-EAU/](https://pieces-detachees.com/explorateur_pdf_marque/BOSCH/ENR/POMPES%20A%20CHALEUR/AIR-EAU/)

²⁹ TZBINFO. Servis, opravy a výhody dálkové správy tepelných čerpadel [online]. 2022 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23426-servis-opravy-a-vyhody-dalkove-spravy-tepelnych-cerpadel>

³⁰ DANFOSS. Heat Pump Components – selection guide [online]. 2014 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://assets.danfoss.com/documents/94982/AD137186428477en-020501.pdf>

³¹ SAMSUNG. Lettermark [online]. Datace neznámá [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.samsung.com/us/about-us/brand-identity/logo/>

³² VIESSMANN. Vitocal 200-A [online]. Datace neznámá [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-vzduchvoda/vitocal-200-a-mb.html>

³³ VIESSMANN. System examples 2014 [online]. 2013 [cit. 2. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/975629/Viessmann-Vitocal-222-G.html>