



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ARCHITEKTURY

FACULTY OF ARCHITECTURE

ÚSTAV EXPERIMENTÁLNÍ TVORBY

DEPARTMENT OF EXPERIMENTAL DESIGN

VERTIKÁLNÍ FARMA

VERTICAL FARM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Václav Hurník

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. arch. Ing. Jiří Vítek

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FA-DIP0035/2019
Ústav: Ústav experimentální tvorby
Student: **Bc. Václav Hurník**
Studijní program: Architektura a urbanismus
Studijní obor: Architektura
Vedoucí práce: **Ing. arch. Ing. Jiří Vítek**
Akademický rok: 2019/20

Název diplomové práce:

Vertikální farma

Zadání diplomové práce:

Diplomová práce bude zkoumat úskalí tohoto speciálního zaměření a druhu pěstování. Definuje program, strukturu, technologie a architektonický jazyk pro tento nový typ architektury. Cílem práce je přinést vlastní inovaci do tohoto oboru a netradiční přístup k vytváření těchto farem. Projekt bude simulovat situaci nahrazení veškeré dovážené i místní produkce pro město Brno farmami a pokrýt tak veškerou spotřebu obyvatel. A dále ověřit zda tyto objekty jsou schopné být soběstačnými.

Rozsah grafických prací:

Populační růst lidstva se za poslední milénium podobá exponenciální křivce a nárůst obyvatelstva je od roku 1960 o 5miliard. Urbanizované plochy zabírají stále více místa než plochy pro získání potravin na uživení takového množství populace. Dnes již více než 50% obyvatel planety žije ve městech. V dnešní spotřební společnosti, kde si téměř nikdo nepěstuje vše potřebné pro svou spotřebu na vlastní zahrádce, ale chodíme nakupovat do obchodních domů. Stále zvyšující se poptávka po potravinách způsobuje nehospodárné nakládání s úrodnou půdou, která v tomto důsledku časem degraduje. Kde tedy budeme brát dostatek potravy pro tak početnou populaci v příští generaci, za 5 nebo za 10 generací? Jedním z řešení je právě otázka vertikálního farmaření, které přináší velmi specifický a plně řízený proces růstu rostlin. Díky uzavření od vnějšího světa jsou chráněny před negativními povětrnostními vlivy a nepodléhají napadení škůdců. Pro příklad chování farem v městském urbánním organismu bylo vybráno město Brno.

Povinné výstupy:

Fyzická část

- Fyzický model urbanistického příkladu umístění farmy v urbání struktuře 1:1000
- Architektonický model proto architektury (varianty struktury) 1:250
- Architektonický model 1:100
- Prototyp skleníku (velký) 1:10

Výkresová část

- Situace (napojení na infrastrukturu)
- Laterální řez 1:100
- Dorzální řez 1:100
- Typické kaudální řezy 3 x 1:100
- Perspektivy exteriéru a interiéru
- Detaily 3 x 1:20

Seznam literatury:

- 1 DELEUZE, Gilles a GUATTARI, Félix, 2010, Tisíc plošin, Herrman a synové.
- 2 FREI, Otto, 2008. Occupying and Connecting: Thoughts on Territories and Spheres of Influence with Particular Reference to Human Settlement. Edition Axel Menges.
- 3 LANDA, Manuel De, 2006. Assemblage Theory. New York: Continuum.
- 4 BAUMAN, Zygmunt, 2002. The Liquid Modernity. Mladá fronta.
- 5 SCHUMACHER, Patrik, 2010/2011. Autopoesis of Architecture. Vol. 1,2., London: IO, Wiley.
- 6 DESPOMMIER, Dickson D. The vertical farm: feeding the world in the 21st century. New York: Thomas Dunne Books/St. Martin's Press, 2010. ISBN 03-126-1139-0

Termín zadání diplomové práce: 10.2.2020

Termín odevzdání diplomové práce: 25.5.2020

Diplomová práce se odevzdává v rozsahu stanoveném vedoucím práce; současně se odevzdává 1 výstavní panel formátu B1 a diplomová práce v elektronické podobě.

Anotace

Populační růst lidstva se za poslední milénium podobá exponenciální křivce a obyvatelstvo narostlo od roku 1960 o 5miliard. Urbanizované plochy zabírají stále více místa než plochy pro získání potravin na uživení takového množství populace. Urbanizované plochy zabírají stále více místa v závislosti na tom se zvětšují i zemědělské plochy na úkor zeleně.

Dnes žije více než 50% obyvatel planety ve městech a dnešní spotřební společnost, kde si téměř nikdo nepěstuje vše potřebné pro svou spotřebu na vlastní zahrádce, ale chodí nakupovat do obchodních domů. To má vliv na stále zvyšující se poptávku po potravinách. Ta způsobuje nehospodárné nakládání s úrodnou půdou, která v tomto důsledku časem degraduje.

Kde tedy budeme brát dostatek potravin pro tak početnou populaci za 5 nebo za 10 generací? Na tuto otázku se hledá řešení už nějaké to desetiletí, jedním je právě téma vertikálního farmaření, které přináší velmi specifický a plně řízený proces růstu rostlin. Díky uzavření od vnějšího světa jsou chráněny před negativními povětrnostními vlivy a nepodléhají napadení škůdců. Lze je tedy umístit téměř do jakéhokoli prostředí.

Prohlášení autora o původnosti práce

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci zpracoval samostatně, pod vedením svého vedoucího a použil jen uvedené prameny a literaturu, které jsou součástí této práce.

V Brně dne 25. Května 2020

Podpis autora

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. arch. Ing. Jiřímu Vítkovi za vedení po dobu magisterského studia, přínosné postřehy, debaty v rámci diplomové práce a zprostředkování konzultací s inženýry oboru.

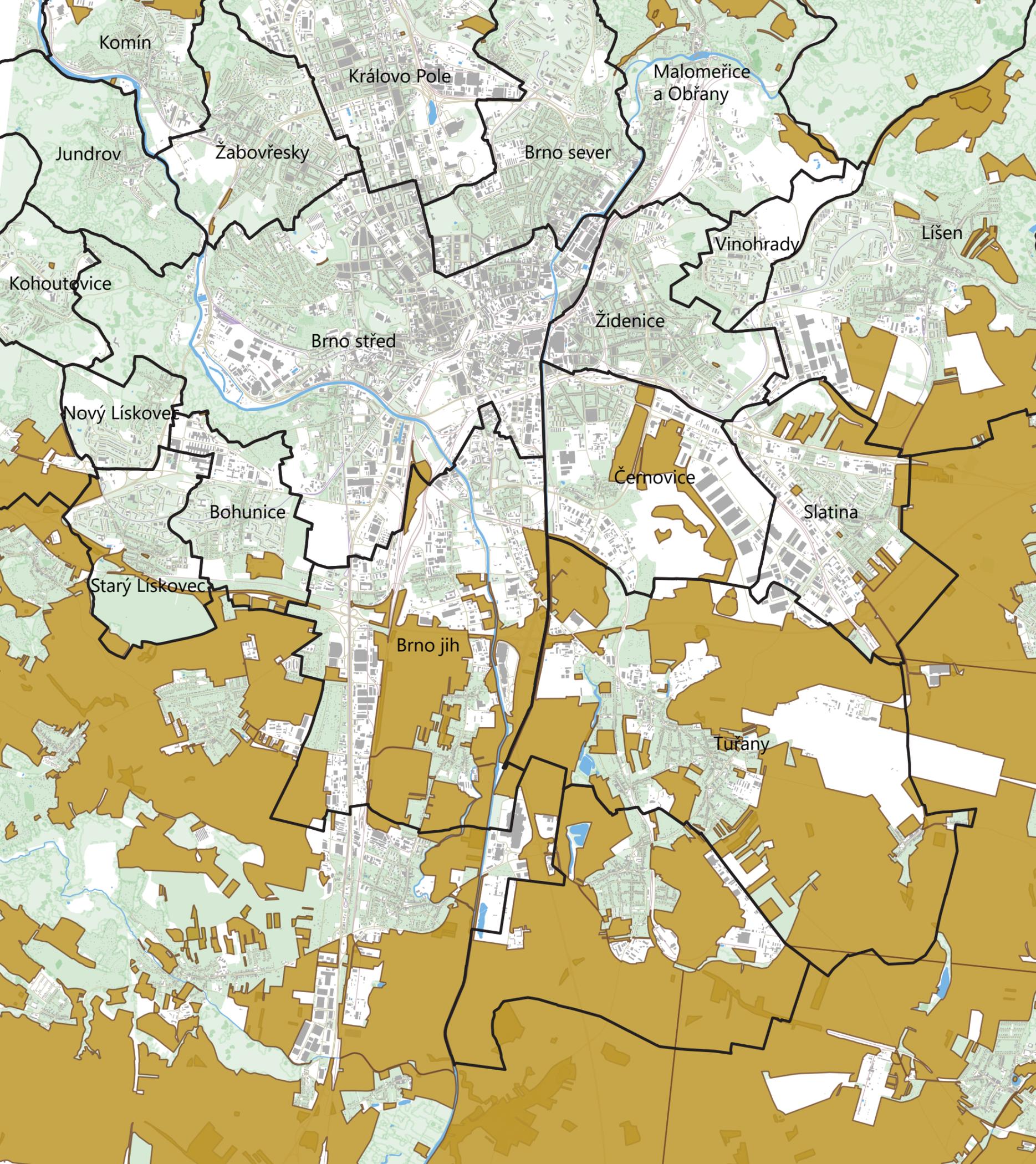
Dále chci poděkovat rodině a přátelům za podporu během práce na diplomové práci.

Cíle práce:

Diplomová práce bude zkoumat úskalí tohoto speciálního zaměření a druhu pěstování. Definovat program, strukturu, technologie a architektonický jazyk pro tento nový typ architektury. Cílem práce je přinést vlastní inovaci do tohoto oboru a netradiční přístup k vytváření těchto farem. Projekt bude simulovat situaci nahrazení veškeré dovážené i místní produkce pro město Brno farmami a pokrýt tak veškerou spotřebu obyvatel. A dále ověřit, zda tyto objekty jsou schopné být soběstačnými.

Motivační úvod

Vertikální farmy, vertikála, slovo popisující podstatu významu tohoto druhu pěstování. Proč tedy stavíme vertikální farmy do oplechových hal a využíváme pouze potenciál regálu kladených nad sebe? Není to pohrdání plochou a potenciálem vertikality? Využijme potenciálu této technologie a velké adaptability rostlin k novému prostředí a vytvořme nový zdroj potravy fungující lokálně a v nepřetržitém provozu. Nejen, že by to přineslo výhodu dostupnosti potravin místních i cizokrajných nezávisle na ročních obdobích nebo měnícím se podnebí, ale změny které by to vyvolalo v ekonomické sféře by měly velký dopad na redukci mezikontinentální a vnitrokontinentální dopravu. Tím by došlo ke snížení uhlíkových emisí a zmenšení zemědělských ploch, které by mohly nahradit lesy, prospěnější životnímu prostředí.



Zemědělské plochy

Obdělávané půdy se objevují okolo lidských sídel už od dob, kdy se z lovce stal pěstitel, zemědělec. Lidstvo přestalo migrovat za potravou, začalo zakládat osady a jejich okolí využívat k získání zdrojů potravy. Jedním z důvodů pro toto chování byl objev možnosti pěstovat plodiny.

Se vznikem volného obchodu se plodina stává směnnou komoditou a to co osada, zemědělec vypěstuje nejde pouze na vlastní užitek. S vývinem tohoto směnného obchodu a redukováním problematiky transportu se plodiny stávají celosvětově obchodovatelnou komoditou.

Prvním stěžejním problémem takového obchodu je, že typ plodin pěstovaných v lokalitě už neurčuje potřeba vlastního užitku, ale tržní cena a výše poptávky. To má za příčinu neekologickou potřebu vysokého počtu transportů plodin do dané lokality / země, jen proto, že lokální zemědělci pěstují plodiny pro vývoz či biopaliva a jiné, namísto plodin pro místní trh. Vše kvůli zisku.

Druhým problémem je navyšující se poptávek a úbytek volného místa v krajině. To vše vlivem zvětšující se lidské populace a rozrůstání lidských sídel. Větší počet lidí zvyšuje poptávku po potravě a tím vytváří tlak na zdroje potravy. Zemědělec, který je zdrojem potravy v oblasti plodin je tak nucen rozšířit svá pole či sady a maximalizovat jejich výnos aby byl schopen poptávku pokrýt. To má za následek nešetrné a degradující zacházení s půdou, která se mdíky tomu může stát až na několik let neobdělávatelnou.

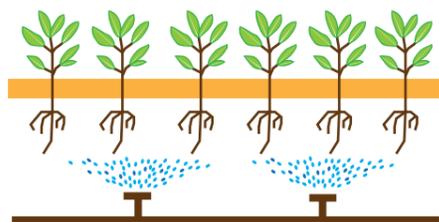
Dále lze zmínit za následky eroze, záplavy, nedostatek vody a další. To vše díky nešetrnému způsobu obdělávání zemědělské půdy.

Vertikální farma

Vertikální farma představuje možnost pěstování plodin uvnitř objektů separovaných od vnějšího okolí. Pěstební plocha je řazena v několika vrstvách nad sebou, tím je dosaženo několikanásobně většího výnosu než na stejné ploše zemědělské půdy. Teplota, přísun vody, živin i světla je řízen počítačem tak, aby podmínky pro daný typ rostlin byly ideální. Pro osvětlení se využívá přirozené sluneční záření nebo LED osvětlení. Tato kombinace kontrolovaných veličin a uzavřenosti prostředí umožňuje kontinuální a chráněnou produkci plodiny. Umožní nám to kontrolovat vegetační fáze rostliny i délku vegetační doby.

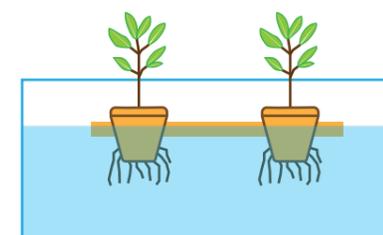


Areoponický systém



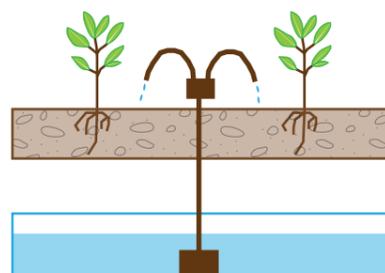
Spočívá v zavěšení rostlin za stonky, kořeny visí volně ve vzduchu a jsou postříkovány mlhou živného roztoku, to je jejich jediný kontakt s vodou a živinami. Pěstební médium se používá jen jako opora rostlin, v některých systémech zajištěna speciálním adaptérem. Kořeny rostlin žijících v aeroponním systému mají přístup k živnému roztoku a kyslíku, díky tomu přijímají dokonce větší množství živin než ručně zavlažované rostliny.

Deep water culture



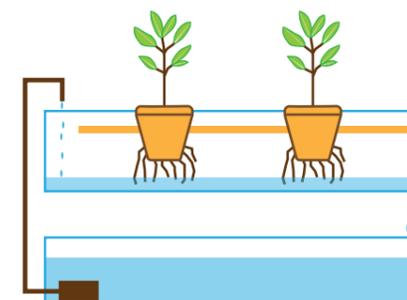
Je jedním z nejjednodušších hydroponických systémů. Princip spočívá v ponoření celých kořenů rostliny do vodného roztoku. Ten musí být prokysličován aby se rostlina netopila. Množství vody přináší výhody v podobě prostoru pro kořeny a stability živného roztoku. Rostliny mají kořeny ponořeny do vody po celou dobu vegetačního období.

Drip system



Systém spočívá v použití neutrálního substrátu, do kterého se násleň přivádějí živiny pomocí vodného roztoku. Jako příklad můžeme uvést třeba kokosový substrát, ten je inertní. V kombinaci s tímto substrátem je vhodné použít minerální hnojiva. Důležitým bodem je pravidelnost zavlažování.

Nutrient film



Princip spočívá v nízké hladině vodného roztoku, kterého se kořeny pouze dotýkají. To zajistí, že horní část kořenů zůstává suchá a bude mít přístup ke kyslíku. Roztok neustále teče přes kořeny, toho se dosahuje pomocí gravitace. V nejnižším bodě roztok stíká do nádržky, odkud je čerpán zpět k rostlinám.

Osvětlení LED

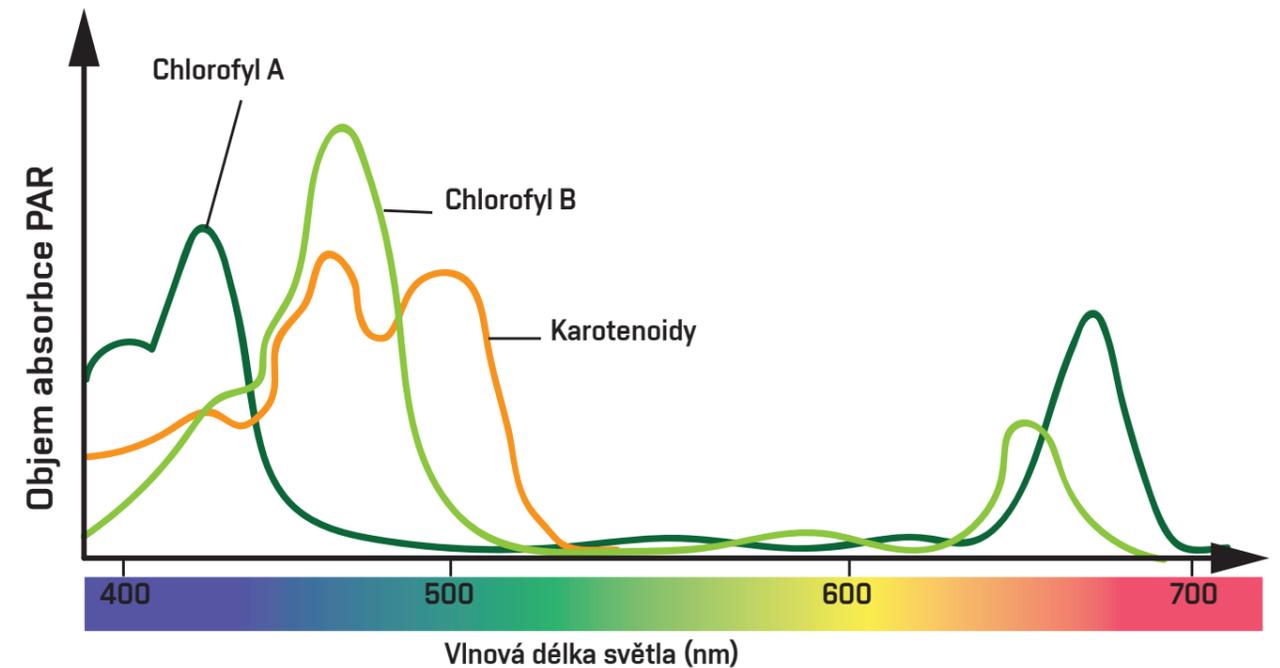
Osvětlení má velkou úlohu při umělém pěstování, vlastně je to hranice mezi úspěchem a nezdarem. Proto je velmi důležité mu věnovat zvýšenou pozornost.

Na osvětlení rostlin nelze použít bílé světlo, je velmi neekonomické, ale taky neposkytuje potřebné hodnoty světelného spektra, které rostlina potřebuje ke svému růstu.

Pro růst rostlin je nejdůležitější chlorofyl A, B a Karotenoidy. Nejvíce tato barviva absorbují světlo při vlnové délce odpovídající modré a červené barvě (vrcholy křivky na vlnové délce 430nm 453nm - modrá barva a 642nm 662nm - červená barva). To je důvod, proč je použití LED osvětlení s možností modifikace hodnoty vlnové délky tak výhodné pro pěstování rostlin. Optimální je střídání modrého a červeného spektra v závislosti na vegetačním období rostlin.

Modrá barva (420-470nm) - pro růst rostlin.

Červená barva (620-700nm) - pro plod a květ a také pro prodlužování stonků a řapíků



Hnojiva

Hnojivo alfou a omegou hydroponického pěstování. Tím, že pěstujeme rostliny na vodě, ve vzduchu nebo neutrálním substrátu (kokosová drt, skelná vata a další) jsou hnojiva jediným způsobem jak dodat rostlině živiny.

Hnojiva v základě dělíme na tablety a tekutá hnojiva. Ideálním řešením jsou tekutá hnojiva, které spolu s roztokem dodávají živiny přímo rostlině. Hnojíme v kratších intervalech.

Při hydroponickém pěstování se začíná hnojit až po adaptaci rostliny. Tu poznáme podle tvorby nových kořenů, které mají typické bílé špičky. Hnojivý roztok se zpočátku připravuje v poloviční koncentraci, teprve v průběhu několika týdnů se zvyšuje na doporučenou dávku.

Roztok musí splňovat tyto požadavky:

- teplota roztoku mezi 16 - 20° C
- pH mezi 5,5 - 6,5
- správné hodnoty EC (elektrická vodivost)

Na základě pH a EC upravujeme dávkování roztoku živinami.

Látky obsažené v hnojivech a jejich vliv na rostliny:

Dusík (N) - růst zelené hmoty.

Fosfor (P) - násada květů a plodů.

Draslík (K) - vyžívání pletiv, tvorba a transport uhlovodíků.

Železo (Fe) - nezbytné při tvorbě chlorofylu.

Hořčík (Mg) - nezbytný při tvorbě chlorofylu.

Zinek (Zn) - katalyzuje chemické reakce .

Bór (B) - syntetizuje bílkoviny v růstových vrcholech.

Potraviny

Pro farmu budoucnosti je třeba najít potravinu, která bude mít dostatečný potenciál, neboli energetickou hodnotu. Při hledání takových potravin jsem narazil na kategorii zvanou Superpotraviny. To je marketingové označení pro potraviny, které mají vysoký obsah látek, které by měly prospívat zdraví. Jde o potraviny s vysokým obsahem vitamínů a minerálních látek prospěšných lidskému tělu.

Patří mezi ně například červená řepa, borůvky, chia semínka, mladý ječmen, nepražené kakaové boby, citrusy, některé ryby, ořechy, semínka (konopná, lněná, slunečnicová, melounová, dýňová) a luštěniny (fazole, čočka, sója), exotické ovoce (avokádo, granátové jablko, mango, kiwi), řasy (chlorella, spirulina), quinoa či kustovnice čínská (goji) a další.

Potraviny byly rozděleny do kategorií podle jejich anatomie, délky vegetační doby (sezóní, několikaleté) a způsobu sklizně.

Seznam použitých superpotravin

Křen	Citrony (keř)
Řepa	Borůvky
Cibule	Paprika
	Ananas
Špenát	
Zelí	Slunečnice
Květák	Ostropestřec semena
	Sezamová semínka (Sezam indický)
Chřest	Divizna
Meduňka	
Jahody	Rajčata
Jitrocel	Arónie
	Šípky
Mrkev	Fazole
Medvědí česnek	Ostružiny
Česnek	
	Rakytník
Echinacea	Lískové ořechy
Limetky	Banány
	Meruňka
Čočka	Madle
Bazalka	Broskev
Cherry Rajčata	Černý bez
Růžičková kapusta	
Chilli	Švestky
Kale (kadeřávek)	Hloh
Kopřiva	jablka
Kapusta	Pomeranče
Brokolice	Avokádo
	Třešně
Artyčoky	Vlašské ořechy
Chia semínka	
Lněné semínka	

Inspirace

Sběrač Rosný (*Onymacris unguicularis*)

Africký pouštní brouk z čeledi poterníkovitých, z rodu *Onymacris*. Je známý hlavně tím, že dokáže přijímat tekutiny z mlhy, která se mu usazuje na těle. Je nelétavý a endemický, vyskytuje se pouze na území Namibie.

Základním principem jak Sběrač rosný chytá vodu je, že dokáže snížit teplotu svého těla pod rosný bod okolního prostředí, vzduchu. Následně díky povrchu svých krovek a těla zachytí částice vody ve vzduchu proudícího okolo něj. Kapky vody ztékají po jeho těle směrem k hlavě. Pocit brouka při tomto procesu bychom mohli přirovnat pobytu v sauně.

Inspirací pro mě byl princip proces sběru vody tedy využití zdrojů z okolního prostředí pro vlastní užitek. Další inspirací bylo dosažení co největšího povrchu na co nejmenší ploše, stejně u krovek Sběrače Rosného.



Vertikální truhlík

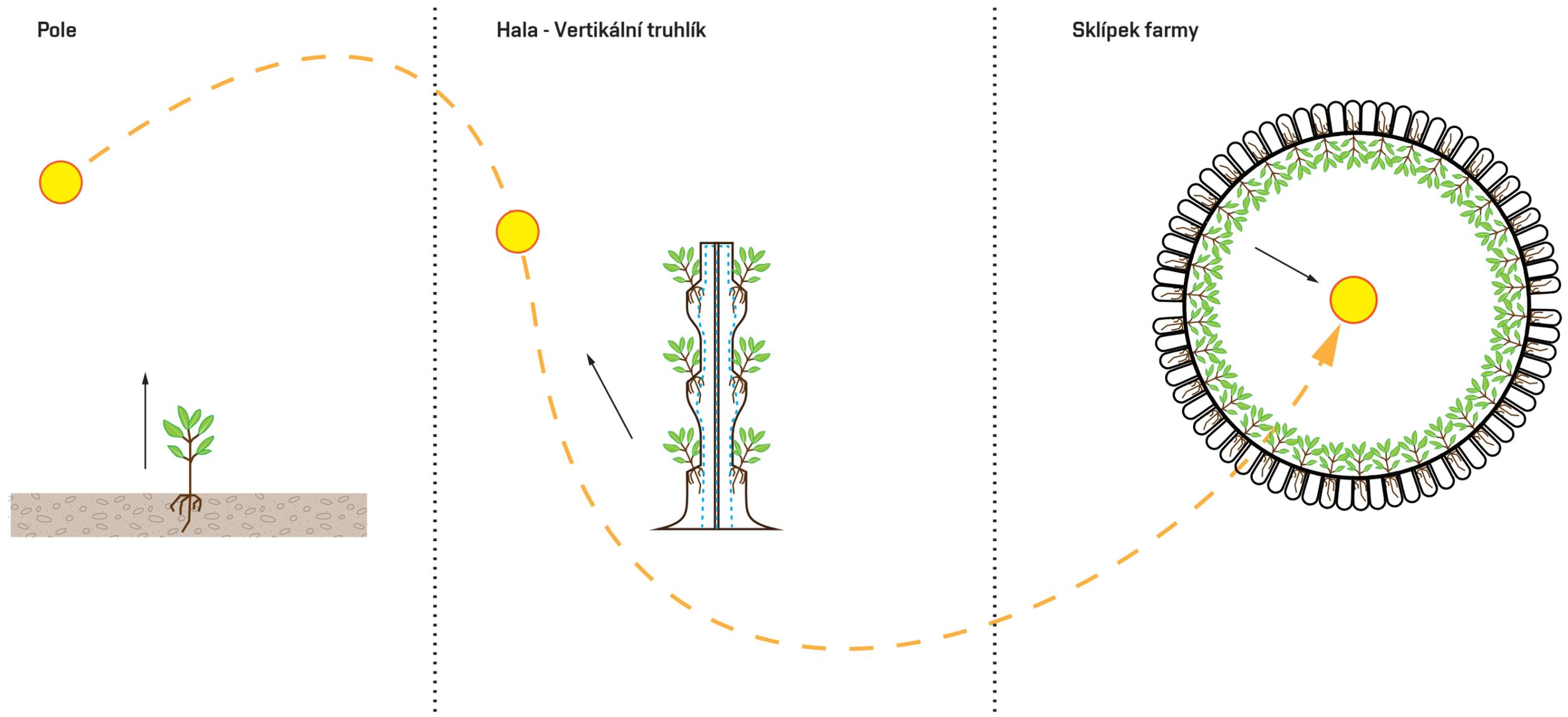
Využití vertikálního prostoru pro umístění rostlin a v kombinaci s hydroponickým pěstováním přináší obrovský potenciál do budoucna.

Co kdyby to šlo posunout ještě o krok dál?



Poloha rostlin - Teorie gravitace

„Rostlina sama o sobě popírá gravitaci tím jak roste a směr růstu určuje poloha světelného zdroje.“

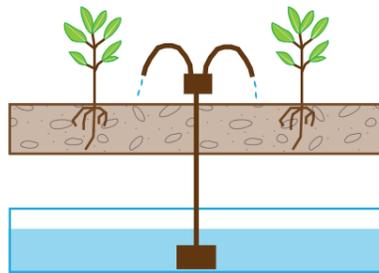


System hydroponie

Aby bylo možné pěstovat plodiny podle teorie popření gravitaci, zvolil jsem systém pěstování hydroponii typu Drip systém. Díky inertnímu substrátu vyřeším problém s gravitačním vlivem na vodu, substrát nasaje a vodný roztok a zabrání jeho unikání z truhlíku.

Živiny jsou přiváděny prostřednictvím vytvořeného roztoku smícháním vody a hnojiv.

Drip system



Substrát

Jako „kotvící těleso“, nasávač vodného roztoku a inertní substrát jsem zvolil minerální vlnu. Primárně z důvodu tvarové stability, která zabrání vypadnutí rostliny z Truhlíku.

Výhody

- pojme velké množství vody
- udrží dostatečnou vzdušnost
- pevná vláknitá struktura pomáhá udržet rostlinu ve stabilní poloze

Nevýhody

- citlivá na výkyvy pH

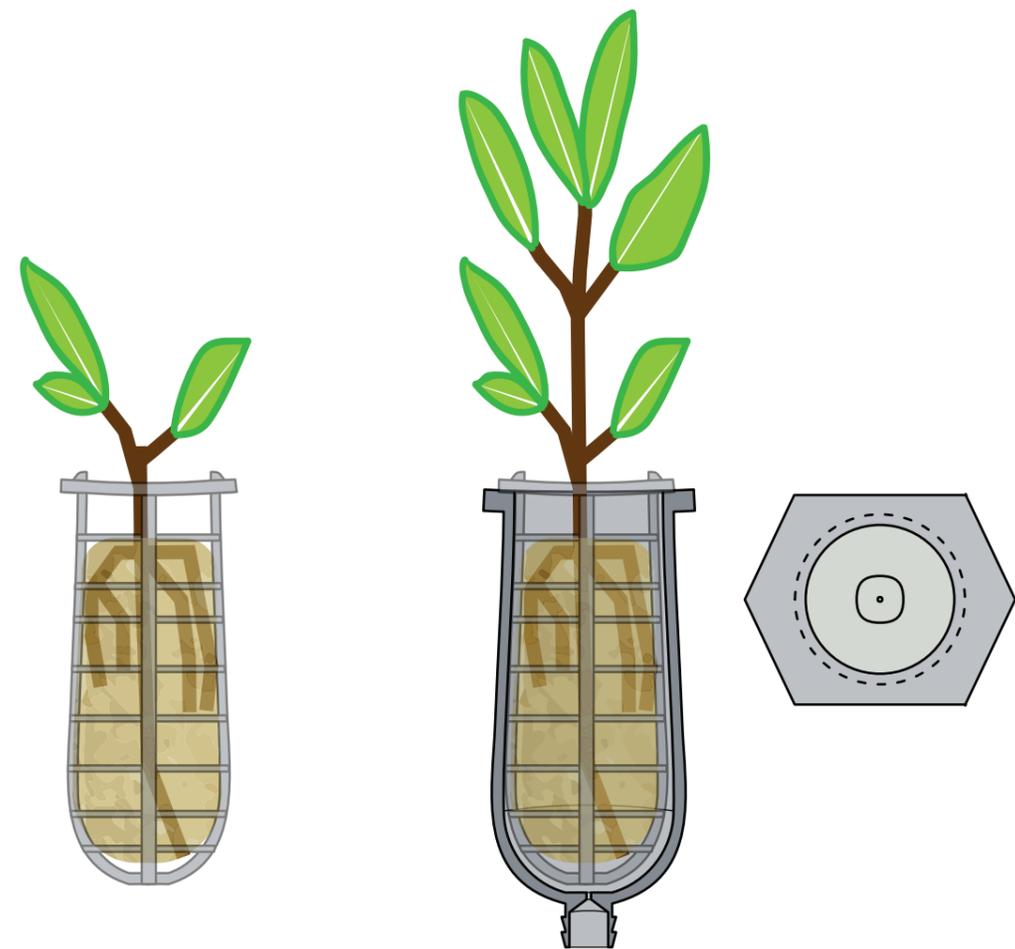


Truhlík

Do trojkombinace typu hydroponie a substrátu už stačí přidat pouze třetího člena. aby bylo možné aplikovat teorii popření gravitace. Tím je truhlík, který díky stabilnímu tvaru substrátu (minerální vlny) dokáže udržet rostlinu ve správné poloze a umožní jí růst směrem za zdrojem světla.

Truhlík je válcovitého tvaru s užším hrdlem a rozšiřujícím dnem, uzavřen je kulovitým tvarem. Tento tvar způsobí vzpříčení kostky substrátu uvnitř truhlíku. V případě větších a váhově náročnějších rostlin lze na otvor truhlíku namontovat krytku, která pomůže udržet substrát na svém místě.

Truhlík je v místě dna napojen na zavlažovací systém. Vodný roztok je přiváděn do truhlíku kapénkovým způsobem, který je regulován tlakem v přívodním potrubí.



Košík pro přepravu zasazené rostliny

Truhlík pro pěstování

Hledání formy

Po stanovení teorie popření gravitace jsem si otevřel možnosti práce s formou a začalo dlouhé hledání a objevování možnosti generování prostoru.

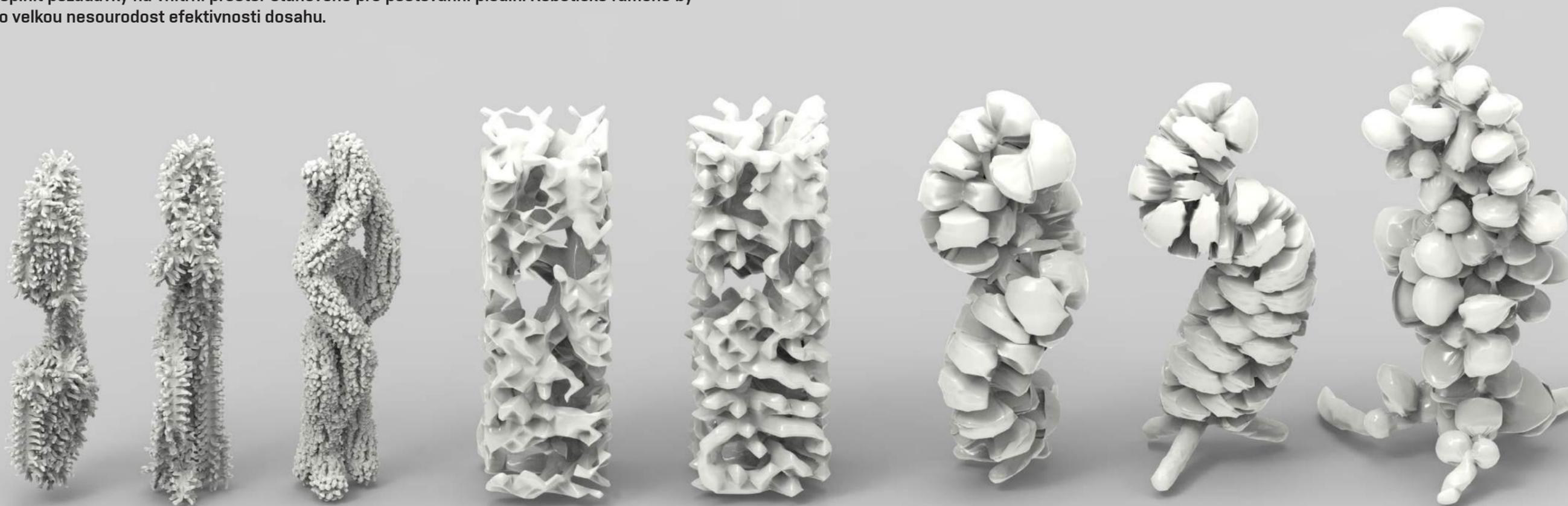
Cílem byla forma postavená na maximální efektivitě vnitřního prostoru.

Fáze 1.

Hledání způsobu generování prostoru

Test chování geometrických struktur meshe, začíná ze základní osové geometrie a na základě algoritmu byly vertexy (body) struktury vytahovány do prostoru.

Ačkoliv bylo dosaženo velmi pozitivních výsledků co se týče bohatosti struktury a její výsledné plochy závěr první fáze byl, že struktura nevyhovuje požadavkům pro farmu operovanou robotickým ramenem s určitým rádiusem dosahu. Sklípky (výběžky) neze plně kontrolovat a tím splnit požadavky na vnitřní prostor stanovené pro pěstování plodin. Robotické rameno by mělo velkou nesourodost efektivnosti dosahu.

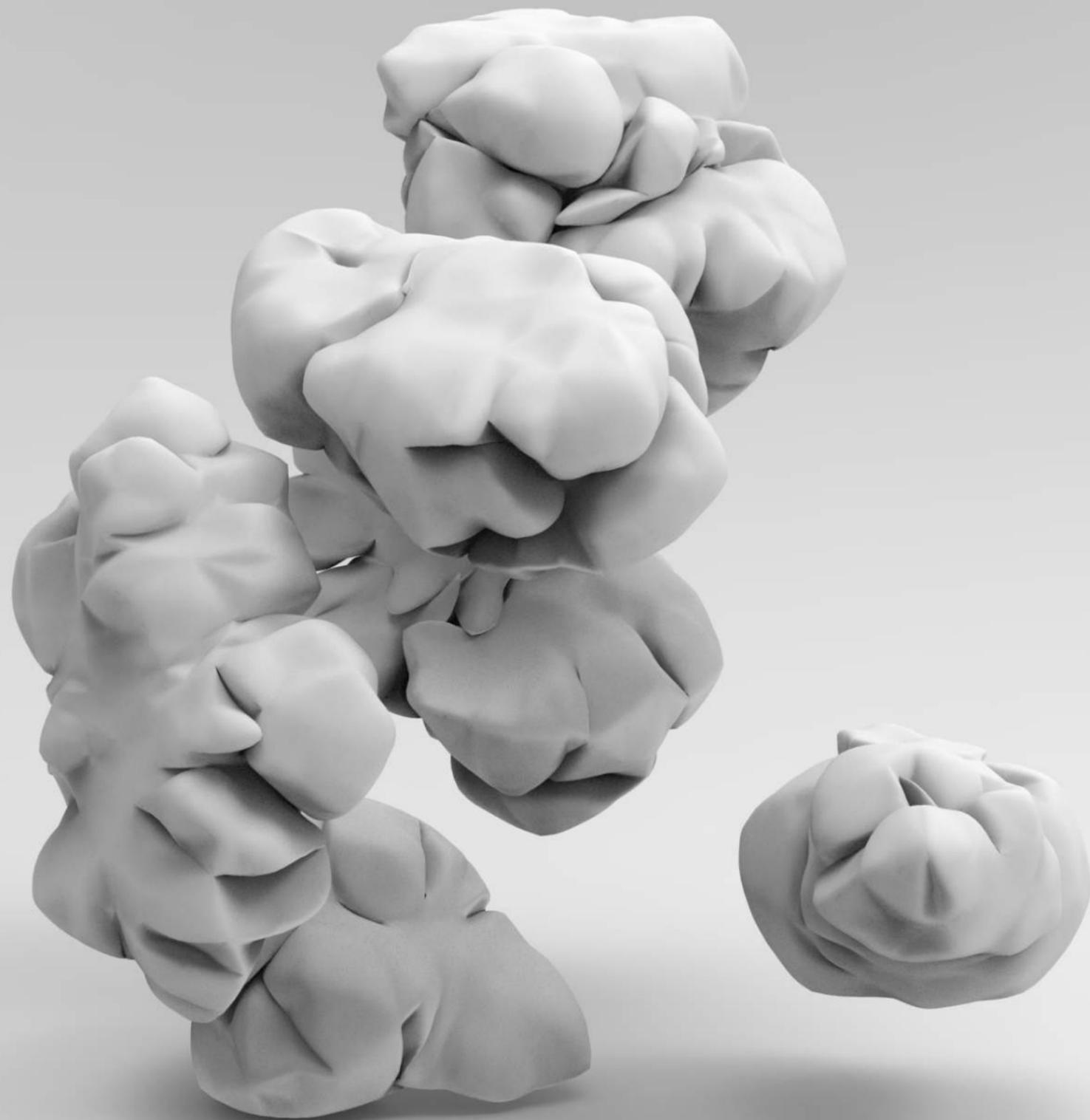
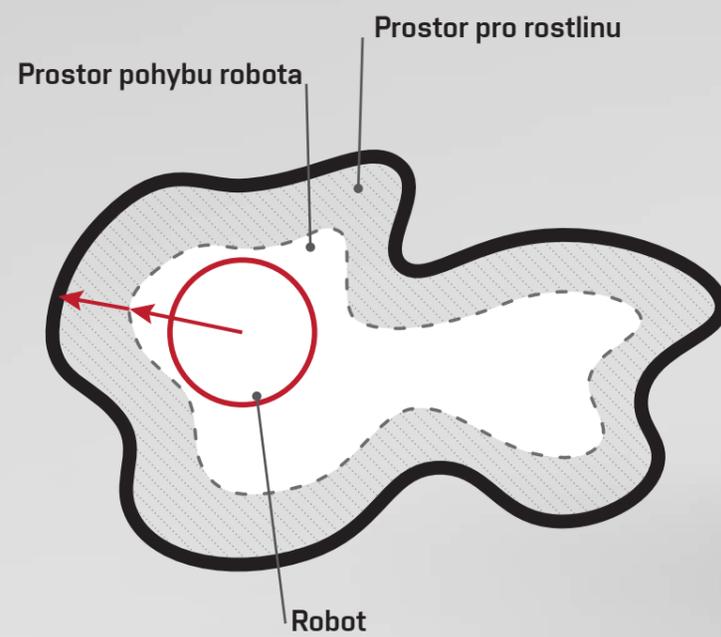


Fáze 2.

Definování správných podmínek pro chování algoritmu při generování prostoru. Stanovení a aplikování růstových vlastností geometrie. Vytvoření striktních podmínek vnitřního prostoru.

Parametry pro struktury.

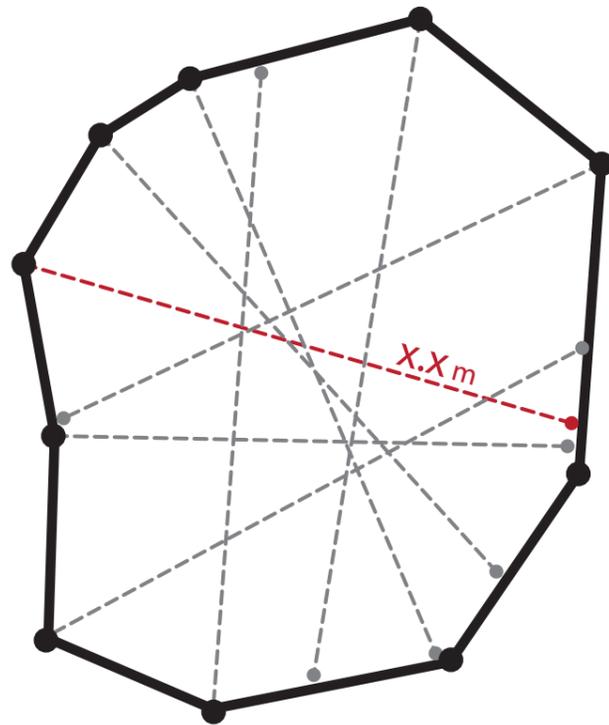
Vnitřní prostředí je definováno prostorem pro pohyb robota a max. výškou dosažitelnou daným typem pěstěné rostliny.



Fáze 2.

Kontrola parametrů

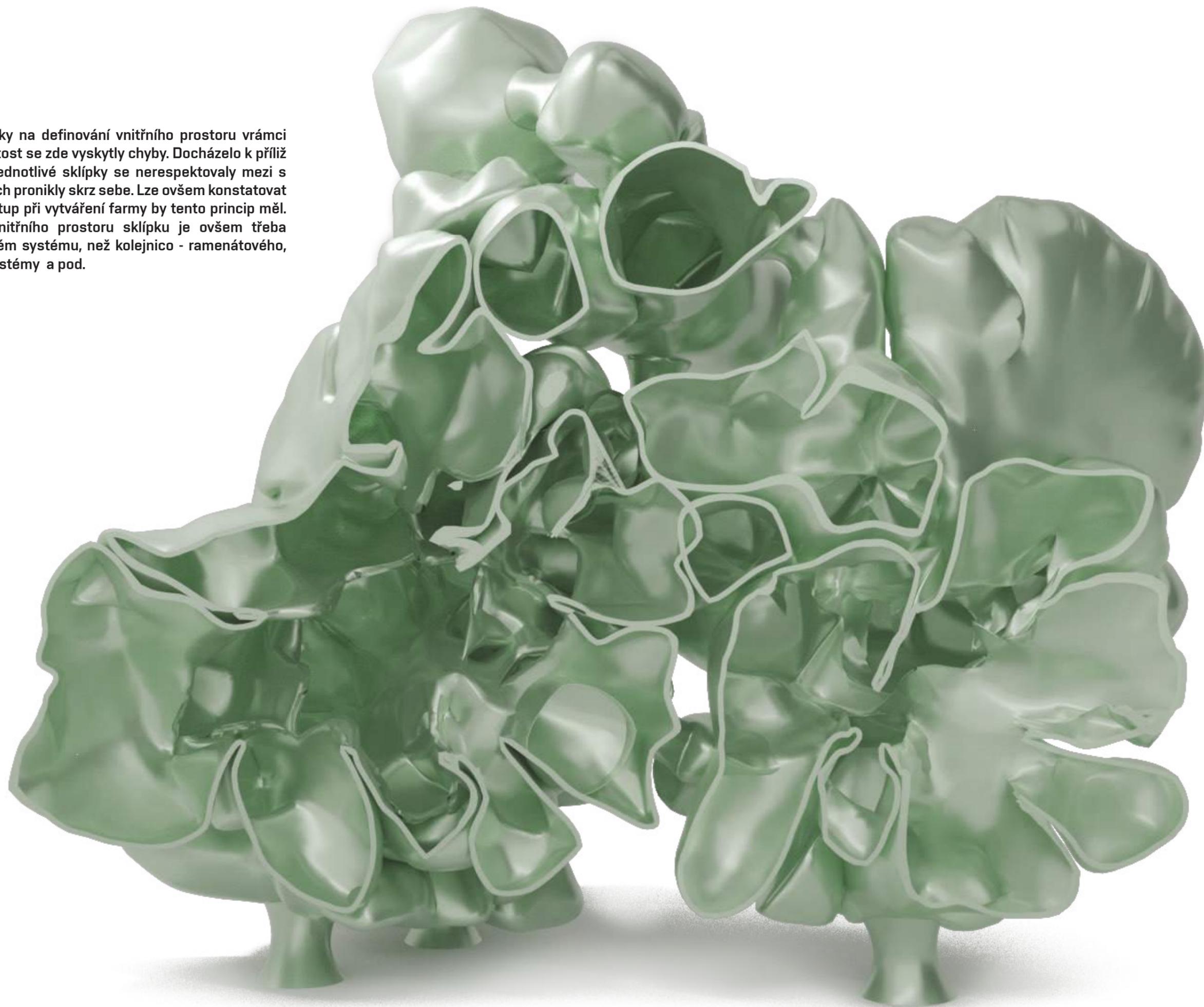
Sečtením výšky prostoru pro pohyb robota a max. výšky pěstěné rostliny dostane kontrolní hodnotu prostoru $X.X$ (m). Kontrola probíhá v místě každého vertexu (bodu) geometrie. Z tangenty bodu je vedena kontrolní linie, kdy je měřena její délka a v případě dosažení požadované hodnoty (kontrolní hodnoty), je pohyb bodu zastaven. Tím dojde k rozpínání a změně chování okolních bodů.



Fáze 2.

Závěr

Algoritmus splnil požadavky na definování vnitřního prostoru v rámci možností. I přes svou složitost se zde vyskytly chyby. Docházelo k příliš prudkým ohybům formy, jednotlivé sklípky se nerespektovaly mezi sebou a v některých místech pronikly skrz sebe. Lze ovšem konstatovat, že potenciál pro další postup při vytváření farmy by tento princip měl. Vzhledem ke složitosti vnitřního prostoru sklípku je ovšem třeba uvažovat o jiném robotickém systému, než kolejnico - ramenátového, např. drony, samohybné systémy a pod.



Vliv technologie

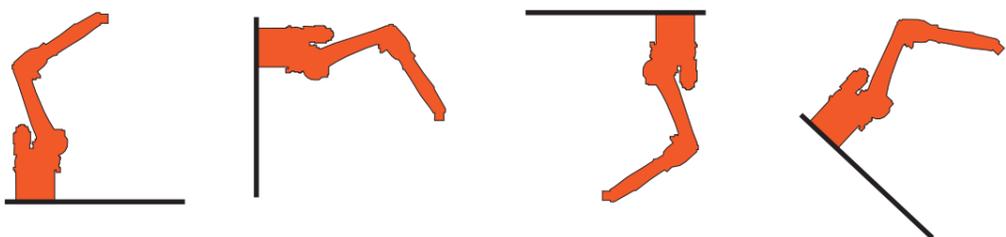
Jak jde vidět u definice prostoru u fáze.2 (hledání formy) má typ robota pro obstarávání činností okolo pěstování rostliny velký vliv na definování vnitřního prostoru sklípku. Jak na jeho velikost, tak i na tvar.

Jednou z možností bylo využití dronů, ale ve chvíli kdy přestává být pěstební plocha pouze horizontální, ztratí dron schopnost obhospodařit jednotlivé sklípky.

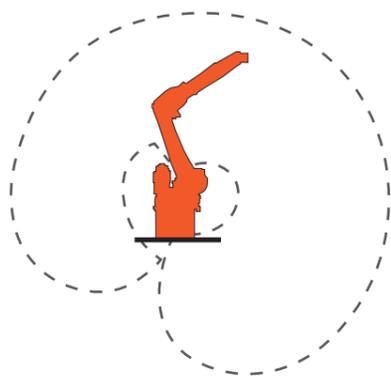
Nejvýhodnější technologií pro různě směřované polohy truhlíků vycházelo použití robotického ramene, které je velmi adaptabilní vůči vnitřnímu prostoru.

Výhody robota

Poloha robota

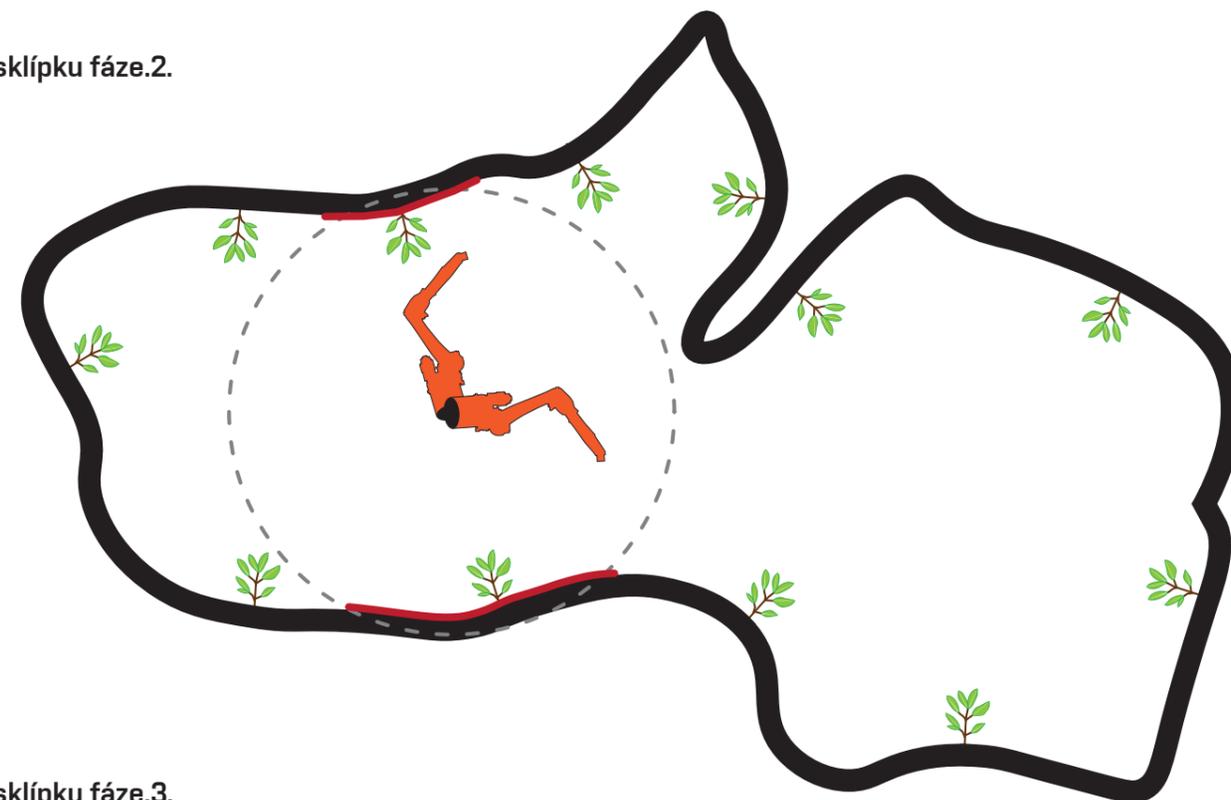


Dosah robota



Efektivita robota ve struktuře

Průřez sklípku fáze.2.



Průřez sklípku fáze.3.



Efektivní plocha v průřezu sklípku v dané pozici robota



Závěr a poučení po fázi hledání vhodné struktury.

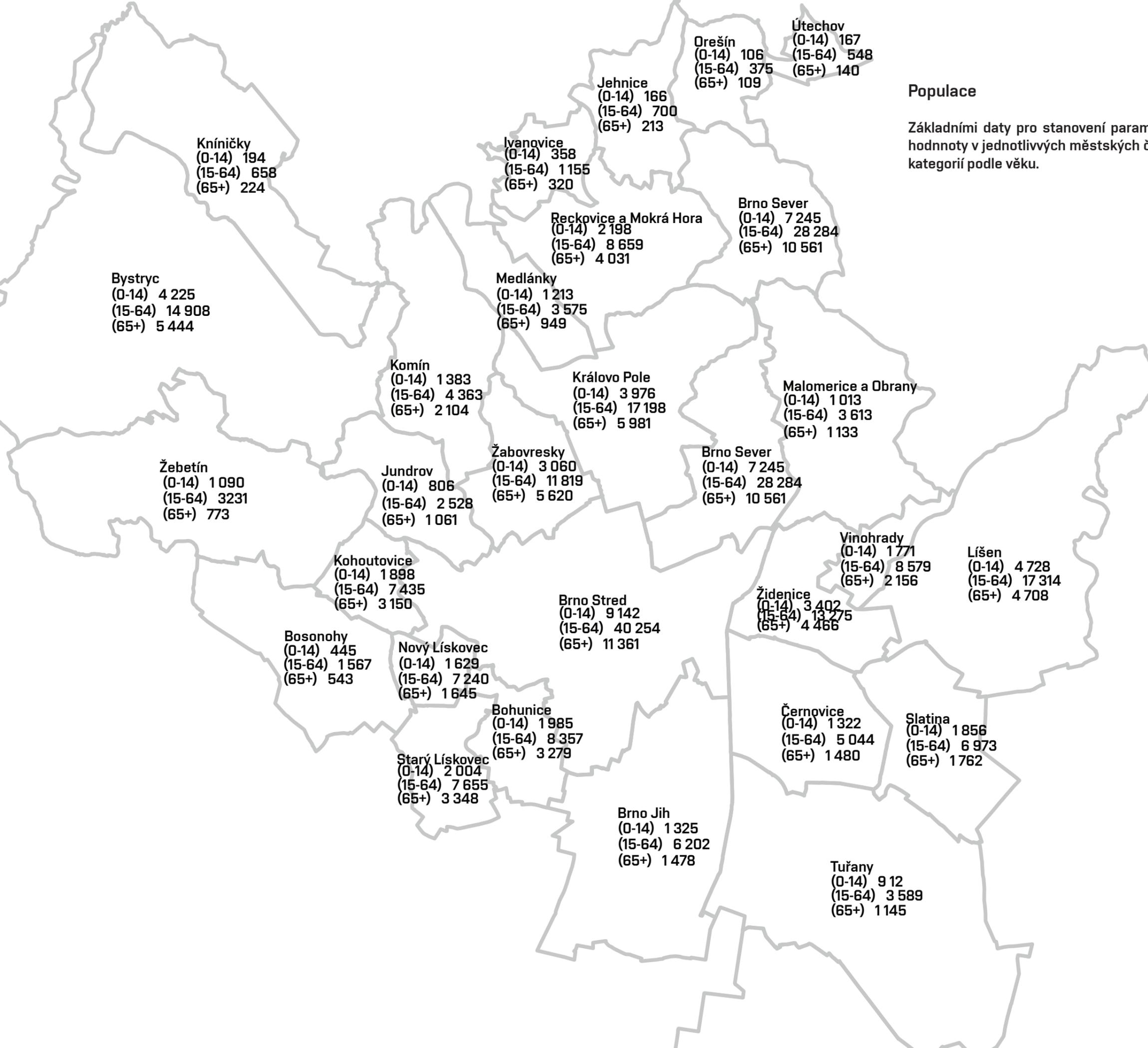
Algoritmus fáze.2. splnil veškeré požadavky stanovené na vnitřní prostor farmy, při testu efektivity ve vztahu k technologii, která bude plodiny obhospodařovat se ukázal nevhodný. Mnohem lépe by efektivitu splňoval prostor kruhového průřezu označená jako fáze.3. , kde efektivní plocha pokrývá celý povrch průřezu.

Protože robot má velký vliv na dimenzování vnitřního prostoru. Ztráta efektivního prostoru, tedy plochy kterou obslouží robot z daného místa, má značný vliv množství neefektivního prostoru který ve sklípku vzniká. Z toho důvodu vychází lépe prostor s kruhovým průřezem.

Z toho vyplynulo ponaučení pro další vývoj orientovat se na prostory s kruhovým průřezem.

Dimenze

Testovaným prostředím pro diplomovou práci bylo vybráno město Brno, bylo nutné najít vhodné parametry pro výpočet a stanovení požadované plochy pro jednotlivé městské části.



Populace

Základními daty pro stanovení parametru farmy byly vybrány populační hodnoty v jednotlivých městských částech. Data jsou rozdělena do třech kategorií podle věku.

Kalorie

Další proměnnou která do výpočtu dimenze vstupila jsou kalorie. Důvodem pro toto rozhodnutí bylo nedostatečné množství informací o spotřebě plodin pro město Brno ze Českého statistického úřadu. Také absence hodnot pro většinu potravin, které byly pro budoucí farmu zvoleny.

Vhodnou alternativou a nejspíše i přesnějši bylo využití kalorií. Kdy po stanovení průměrných hodnot kalorií potřebných na den v závislosti na věku získáme denní množství zkonsumovaných kalorií v jídle pro danou městskou část.

Výpočet probíhá tak, že počet obyvatel dané věkové skupiny vynásobíme hodnotou kalorií pro věkovou kategorii a následně sečteme všechny tři hodnoty množství kalorií věkových skupin a dostaneme denní množství kalorií městské části.

Vzor tabulek použitých pro výpočet

Zastoupení pohlaví del věkových kategorií obyvatelstva

Věk	Muži	Ženy	Celkem
0-14	29 964	28 708	58 672
15-64	122 442	121 172	243 614
65+	31 642	46 753	78 395

Množství potřebných kalorií na den

Kategorie	kcal/den
Ženy sed. zaměstnání, starší mládež	1 470
Děti, dosp. dívky, muži sedav. zaměstnání, aktivní ženy	2 150
Dospívající chlapci, aktivní muži	2 440

Zprůměrované hodnoty kalorií dle věku na den

Věk	Muži	Ženy
0-14	1 810	1 810
15-64	2 295	2 150
65+	2 150	1 810

Příklad výpočtu množství kalorií

Městská část

Brno-Bohunice

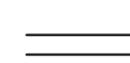
Počet osob dle kat. věku

0 - 14	15 - 64	65+
1985	8 357	3279



Prum. kalorie dle kat. věku

0 - 14	15 - 64	65+
1 810	2 225	1 980



Potřebné množství kalorií

28 649 595 [kcal/Den]

Tabulka denních hodnot kalorií městských částí

	Počet obyvatel dle věkových kategorií			Množství kalorií / DEN [kcal]				Množství kalorií / DEN náležití zelenině a ovoci [kcal] 50%
	0-14	15-64	65+	0-14	15-64	65+	Celkem	
Brno-Bohunice	1985	8357	3279	3 592 850	18 594 325	6 492 420	28 679 595	14 339 798
Brno-Bosonohy	445	1567	543	805 450	3 486 575	1 075 140	5 367 165	2 683 583
Brno-Bystrc	4225	14908	5444	7 647 250	33 170 300	10 779 120	51 596 670	25 798 335
Brno-Černovice	1322	5044	1480	2 392 820	11 222 900	2 930 400	16 546 120	8 273 060
Brno-Ivanovice	358	1155	320	647 980	2 569 875	633 600	3 851 455	1 925 728
Brno-Jehnice	166	700	213	300 460	1 557 500	421 740	2 279 700	1 139 850
Brno-jih	1325	6202	1478	2 398 250	13 799 450	2 926 440	19 124 140	9 562 070
Brno-Jundrov	806	2528	1061	1 458 860	5 624 800	2 100 780	9 184 440	4 592 220
Brno-Kníničky	194	658	224	351 140	1 464 050	443 520	2 258 710	1 129 355
Brno-Kohoutovice	1898	7435	3150	3 435 380	1 6542 875	6 237 000	26 215 255	13 107 628
Brno-Komín	1383	4363	2104	2 503 230	9 707 675	4 165 920	16 376 825	8 188 413
Brno-Královo Pole	3976	17198	5981	7 196 560	38 265 550	11 842 380	57 304 490	28 652 245
Brno-Líšeň	4728	17314	4708	8 557 680	38 523 650	9 321 840	56 403 170	28 201 585
Brno-Maloměřice a Obřany	1013	3613	1133	1 833 530	8 038 925	2 243 340	12 115 795	6 057 898
Brno-Medlánky	1213	3575	949	2 195 530	7 954 375	1 879 020	12 028 925	6 014 463
Brno-Nový Lískovec	1629	7240	1645	2 948 490	16 109 000	3 257 100	22 314 590	11 157 295
Brno-Ořešín	106	375	109	191 860	834 375	215 820	1 242 055	621 028
Brno-Řečkovice a Mokrá Hora	2198	8659	4031	3 978 380	19 266 275	7 981 380	31 226 035	15 613 018
Brno-sever	7245	28284	10561	13 113 450	62 931 900	20 910 780	96 956 130	48 478 065
Brno-Slatina	1856	6973	1762	3 359 360	15 514 925	3 488 760	22 363 045	11 181 523
Brno-Starý Lískovec	2004	7655	3348	3 627 240	17 032 375	6 629 040	27 288 655	13 644 328
Brno-Stary Lískovec	9142	40254	11361	16 547 020	89 565 150	22 494 780	128 606 950	64 303 475
Brno-střed	912	3589	1145	1 650 720	7 985 525	2 267 100	11 903 345	5 951 673
Brno-Tuřany	167	548	140	302 270	1 219 300	277 200	1 798 770	899 385
Brno-Útěchov	1771	8579	2156	3 205 510	19 088 275	4 268 880	26 562 665	13 281 333
Brno-Vinohrady	3060	11819	5620	5 538 600	26 297 275	11 127 600	42 963 475	21 481 738
Brno-Žabovřesky	1090	3231	773	1 972 900	7 188 975	1 530 540	10 692 415	5 346 208
Brno-Žebětín	3402	13275	4466	6 157 620	29 536 875	8 842 680	44 537 175	22 268 588
Brno-Židenice	59619	235098	79184	107 910 390	523 093 050	156 784 320	787 787 760	393 893 880
Celkem								551 451 432

Kategorizace rostlin do sklípků na základě anatomie rostliny a způsobu sklizně

Výška nad truhlík (m)	TYP	Název plodiny	Pozice plodu vůči truhlíku	Sázecí košík (V; Prum. o.; Prum. s.) [cm]	Sklizená část	Metoda sklizení	Počet cyklů plodiny	Teplota (°C)	Vlhkost	Světlo	Pěstební plocha na 10 m délky sklípku [m ²]	Počet truhlíků na 10 m délky sklípku [ks]	Průměr sklípku (světly prům. / kční. prům.) [m]	
0.1 - 0.3	S01-A	Křen	pod	50; 10 ; 12	celá	sklízecí stroj	1	-	střední	plné	67,836	4 005	2,16	
		Řepa			celá		1	-	střední	plné			3,56	
		Cibule			list/celá		1	15 - 30	střední	plné				
	S01-B	Špenát	nad	15; 7 ; 8	listy/celá	sklízecí stroj a robotické rameno + „košíky“	1	-	vyšší	plné	64,074	6 309	2,04	
Zelí			celá	1	18		normální	plné						
Květák			celá	1	-		normální	plné						
Chřest	nad	15; 7 ; 8	listy/výhonky	N	20									
		Meduňka			listy	N	20	vyšší	plné				2,74	
		Jahody			plody	N	-							
		Jitrocel			listy	N	-	sucho	plné					
0.4 - 0.7	S02-A	Mrkev	pod	50 ; 10 ; 15	celá	sklízecí stroj	1	16	vyšší	plné	94,534	5 101	3,01	
		Medvědčí česnek			celá		1	12 +	vyšší	plné			4,41	
		Česnek			celá		1	12 +						
	S02-B	Echinacea	nad	50 ; 20 ; 30	listy	sklízecí stroj a robotické rameno + „košíky“	N		střední	plné	108,643	2 286	3,459	
	Limetky			plody	N		15++	vyšší	plné	4,859				
	S02-C	Čočka	nad	30 ; 10 ; 15	plod		1		střední	plné			94,534	5 101
Bazalka				nat	2		10°+	vyšší	plné					
Cherry Rajčata				plody	1		20°-26°+		plné					
Růžičková kapusta				nat	1		15-20°	střední	plné					
Chilli				plody	1	29°	vyšší	plné						
Kale (kadeřávek)			listy/celá	1			plné							
Kopřiva			nat	1			plné							
Kapusta			nat	1			plné							
Brokolice			plody/celá	1	10-25°	střední	plné							
1.0 - 1.5	S03-A	Artyčoky	nad	30 ; 10 ; 15	nevykvetlé plody	robotické rameno + „košíky“	1	teplo	střední	plné	152,339	7 461	4,85	
		Chia semínka			plody		1	25°+	nízká	plné			5,85	
		Lněné semínka			plody		1		střední	plné				
	S03-B	Citrony	nad	50 ; 30 ; 35	plody		N	23°	vyšší	plné			171,151	1 684
Borůvky			plody	N	20°	vyšší	plné	6,848						
Paprika			plody	1	20°	vyšší	plné							
Ananas			plody	1(3)	25°	suchý	polostín							
2.0 - 3.0	S04-A	Slunečnice	nad	25 ; 15 ; 18	plod/celý	sklízecí stroj robotické rameno + „košíky“	1	21°	vyšší	plné	268,258	7 490	8,539	
		Ostropěstřec semena			celý		1	25°+	vyšší	plné			9,439	
		Sezamová semínka			květ/ plod		1		vyšší	plné				
		Divizna			celé		1(2)		sušší	plné				
		Rajčata			plody		1	15-25°	vyšší	plné				
	Fazole			plody	1			sušší	plné					
S04-B	Arónie	nad	50 ; 50 ; 55	plody	N	20°+	střední	plné/polostín	321,909	1 231	10,247			
Šípky			plody	N		sušší	plné	11,147						
Ostružiny			plody	N	22°	sušší	plné							

Hodnoty sezóních výnosů rostliny a kalorií plodu

Název plodiny	Výška nad truhlík (m)	TYP Sklípku	Množství kalorií na 100g		Prum. váha plodů [g/truhlík]		
			Kcal	Prum.		Prum.	
Křen	0.1 - 0.3	S01-A	75	58,3	60	180	
Řepa			57		400		
Cibule			43		70		
Špenát		S01-B	25	83,29	4 000	1 030	
Zelí			31		500		
Květák			30		500		
Chřest			25		200		
Meduňka			154		450		
Jahody			35		1 000		
Jitrocel			283		500		
Mrkev	0.4 - 0.7	S02-A	35	60,3	50	280	
Medvědčí česnek			19		150		
Česnek			127		80		
Echinacea		S02-B	156	58,4	110	1 705	
Limetky			40		3 300		
Čočka		S02-C	117	58,4	350	2 101	
Bazalka			23		770		
Cherry Rajčata			22		4 000		
Růžičková kapusta			51		7 700		
Chilli			40		130		
Kale (kadeřávek)	47		500				
Kopřiva	60		3 460				
Kapusta	48		1 500				
Brokolice	38		500				
Artyčoky	1.0 - 1.5		S03-A		65		343,6
Chia semínka		495		690			
Lněné semínka		471		630			
Citrony (keř)		S03-B	36	44,8	6 250	4 110	
Borůvky			54		5 000		
Paprika			35		3 690		
Ananas			54		1 500		
Slunečnice		2.0 - 3.0	S04-A	585	469,8	1 800	452
Ostropěstřec semena				502		2	
Sezamová semínka (Sezam indický)				664		2	
Divizna	128			4			
Rajčata	S04-B		22	236	4 500	3 634	
Arónie			89		8 000		
Šípky			180		3 500		
Fazole			119		170		
Ostružiny			62		2 000		

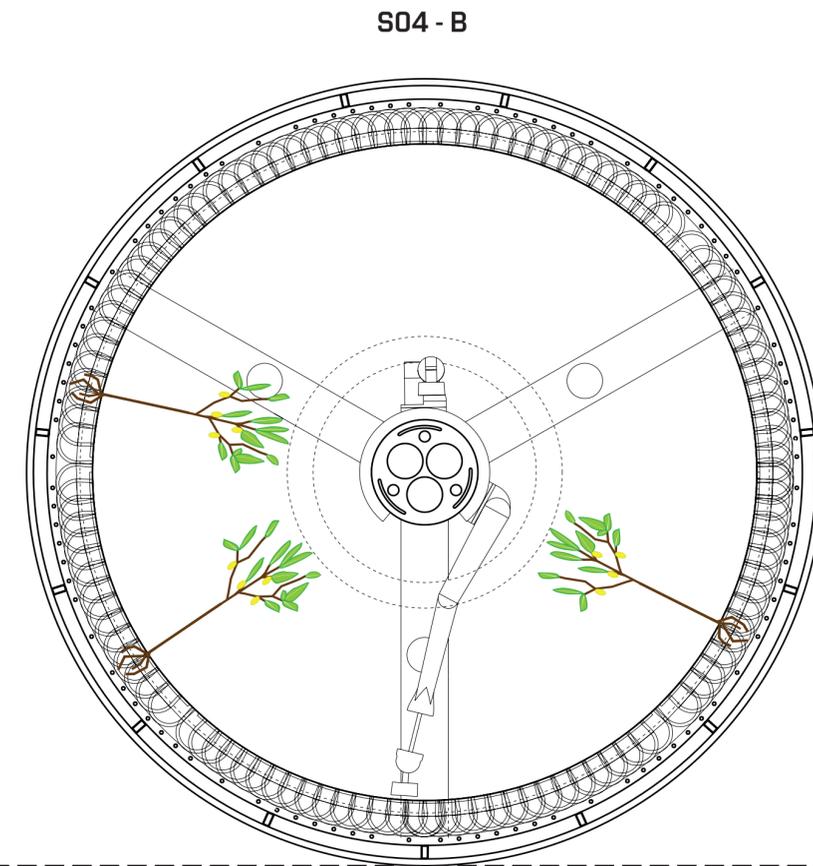
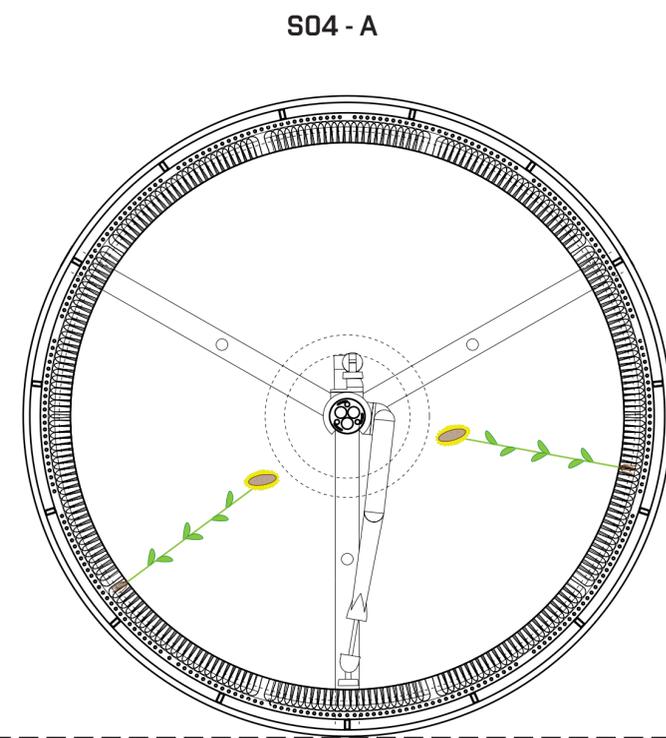
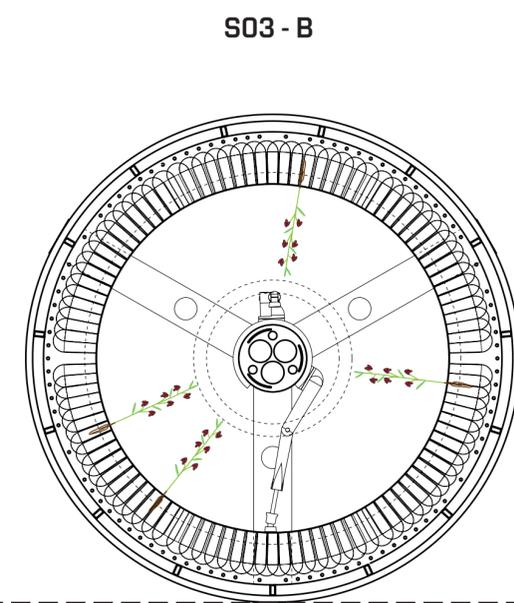
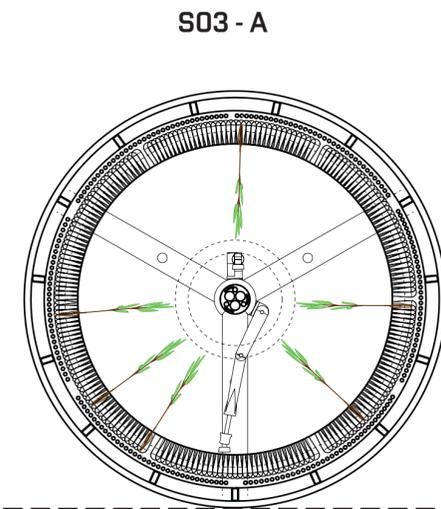
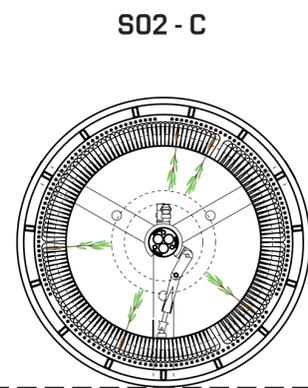
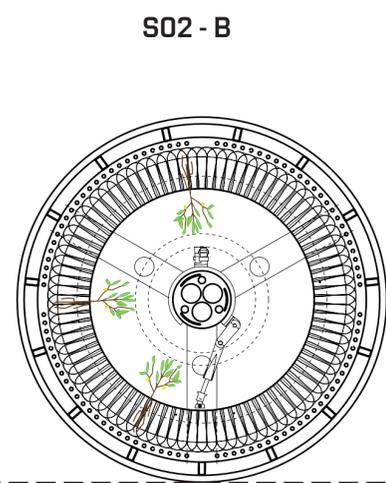
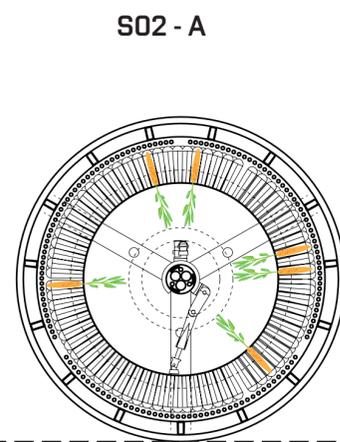
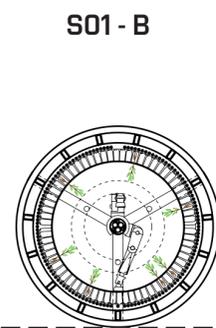
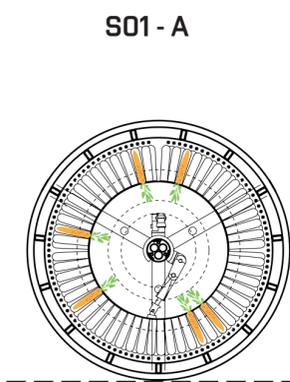
Výpočet potřebné velikosti sklípku na základě denní spotřeby kalorií

Kalorie na den	Koeficient	Zastoupení O a Z v kalorické denní dávce	Množství kalorií na sklípek %	Požadované množství kalorií na jeden sklípek / den	Prům. hodnota kalorií plodin daného typu sklípku	Potřebná hmotnost plodin na den	
28 649 595 [kcal/Den]	x 0,5	=	20 075 717 [kcal/Den]	/ N =	1 433 980 [kcal/Den]	/ 60 [kcal/100g] =	2 389 967 [g]

Potřebné množství truhlíku / rostlin	Prům. hodnota hmotnosti plodu / rostlina	Skutečné množství truhlíku / rostlin	Počet truhlíků na 10 m délky sklípku	Požadovaná délka sklípku / den
2 389 967 [g]	/ (180g)	= 13 278 [ks]	/ 4005 [ks]	= 33.15 [m]

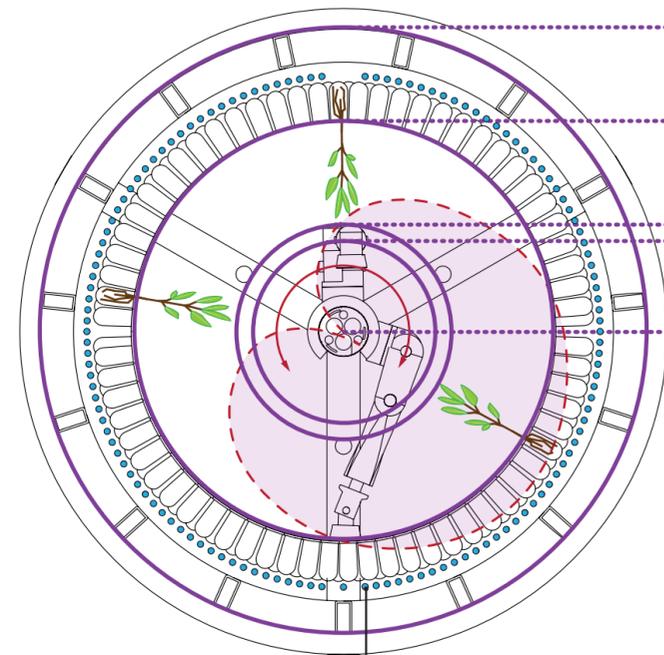
Požadovaná délka sklípku / den	Prům. počet dní v měsíci [den]	Prům. délka pěstování [měsíc]	Skutečná délka sklípku [m]
33.15 [m]	x 30,436	x 5	= 5 045 [m]

Vzorové průřezy sklípků

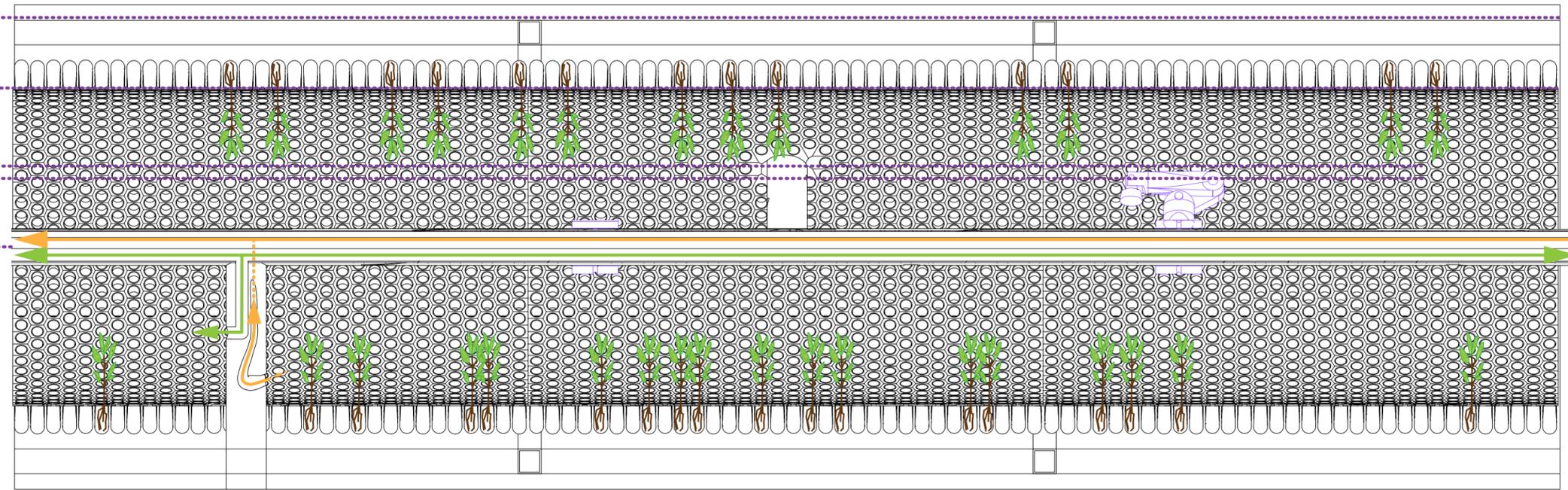


Popis sklípky/stroj

Příčný řez sklípkem



Podélný řez sklípkem



Hloubka sklípku

Výška rostrliny

Rezerva pohybu

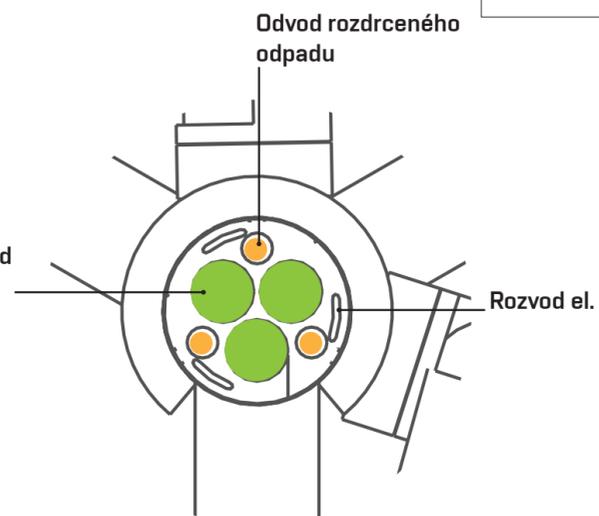
Nulový prostor

Potrubí pro rozvod
vodného roztoku do
truhlíku

Přívod sazenic a odvod
sklizených plodin

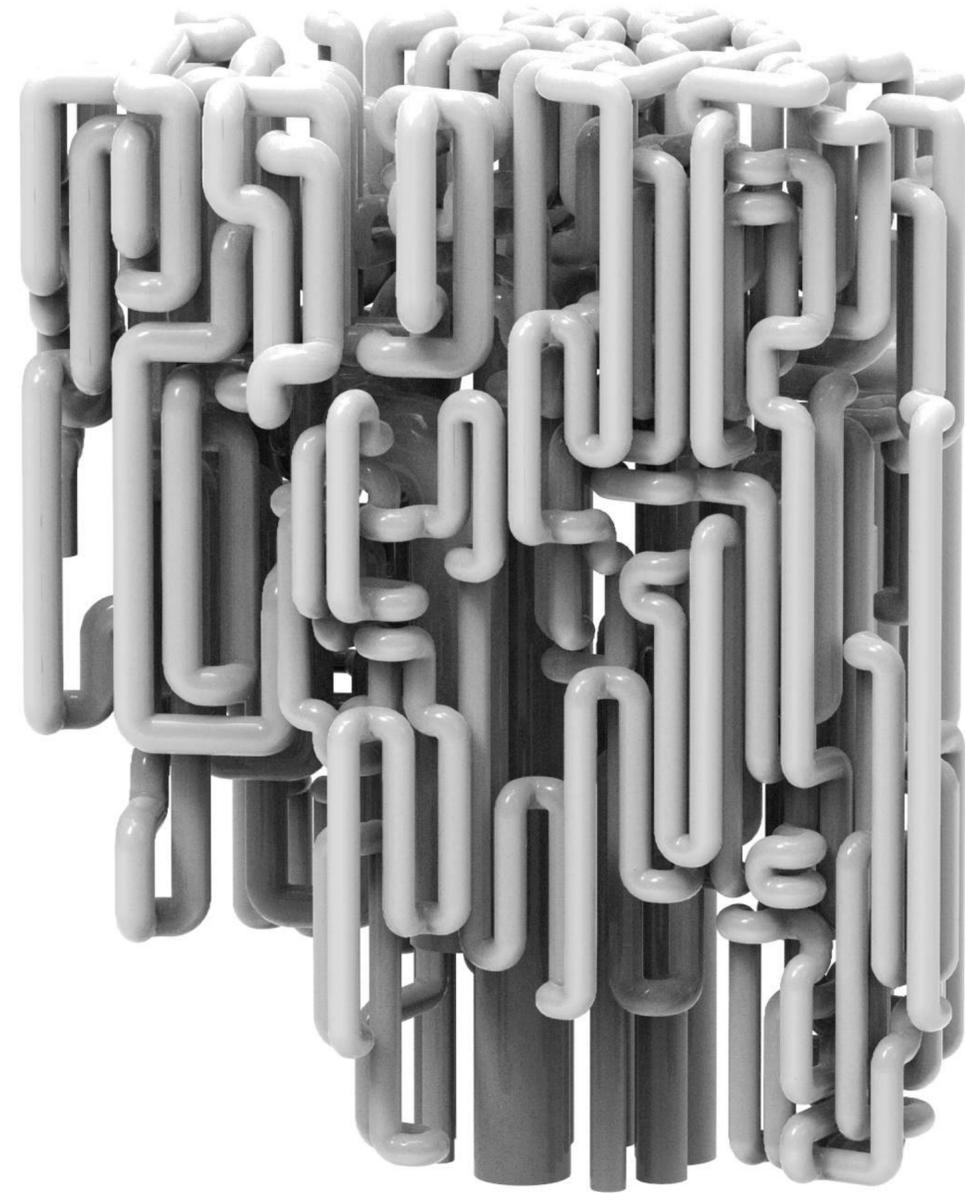
Odvod rozdrčeného
odpadu

Rozvod el.



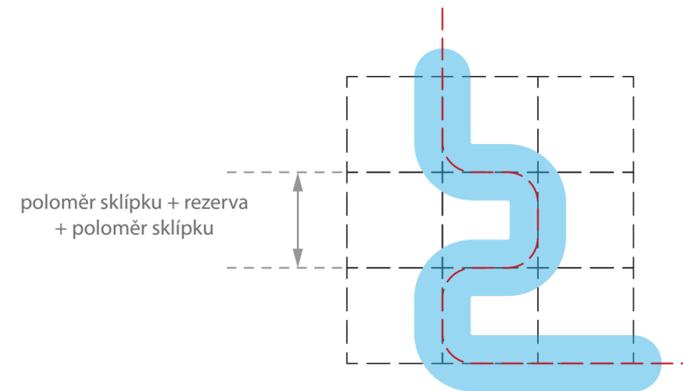
Forma jako socha

Lokální produkce potravin je nevyhnutelná budoucnost nové městské typologie. Industrializace a robotizace farmy inklinuje k novým formám ve městské kontuře. Vytvářím objekt jako spektakulární zážitek propojující architekturu s mechanickou vrstvou, která komunikuje současný stav disciplíny. S důrazem na vizuální atraktivnost generuji objekt v koherentním architektonickém jazyku, vrstevnatě s hlubokou perspektivností a s orientací na manifestaci samotného objektu, jako nové formy nesoucí svůj programový význam.

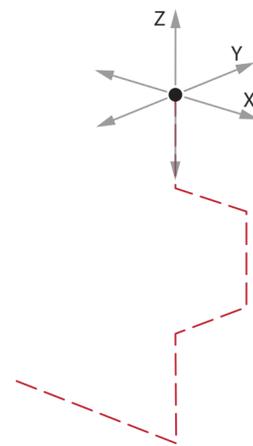


Algoritmus generování struktury

Každý sklípek (pipe) se generuje na vlastní prostorové pravouhlé síti. Pravouhlá síť pro generování byla zvolena z důvodu přesněji vytvářené geometrie v místech ohybu sklípku. Rozměry čtverců pravouhlé sítě jsou dimenzované podle jednotlivých poloměrů sklípků.



Algoritmus pracuje s osou sklípku, kdy agnetem se stávám bod na konci křivky, tomu je přiřazeno 6 směrů pohybu.

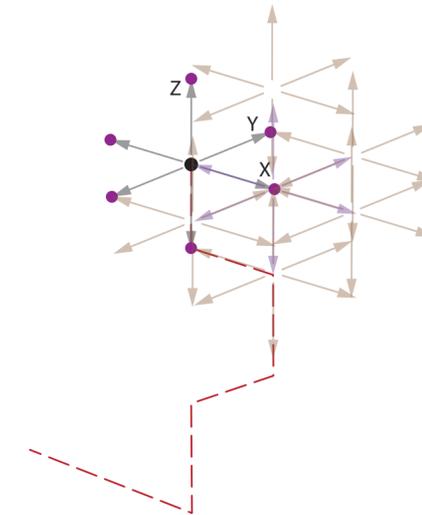


Vektory mají čtyři druhy řazení. Kombinace jsou utvářeny pomocí změny polohy směru Z v datovém listu. Kladný směr Z převažuje, aby se zajistil význam vertikály ve finální struktuře farmy.

Z	Z	X	-Z
X	-Z	-Y	X
Y	Y	-X	Y
-X	X	Y	-X
-Y	-Y	Z	-Y
-Z	-X	-Z	Z

Pro výběr typu řazení byla vytvořena číselná řada. Ta na základě počtu kroků, které algoritmus udělal vybírá typ řazení sklíplů. Číselná řada má zásadní vliv na konečnou podobu struktury. Její změnou dostane farma jiný výraz struktury.

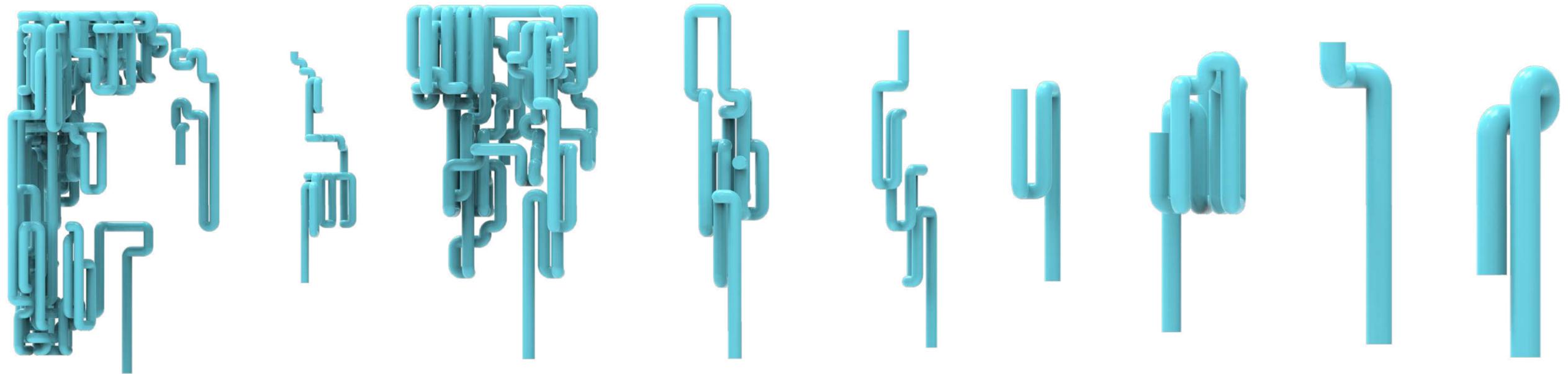
Iteračně jsou provedeny kontroly, aby došlo ke správnému výběru směru pro daného agenta. Algoritmus vytvoří pro agenta (bod) fiktivní posun v každém možném směru posunu. Zkontroluje zda se fiktivní agent nenechá v zakázaných zónách, jako jsou sklípky a mimo obálku parcely. Následně pro fiktivního agenta předpoví dva kroky dopředu a ty vyhodnotí stejným způsobem. Získané informace jsou vyhodnoceny a algoritmus vybere nejvhodnější směr posunu a skutečného agenta (konečný bod) posune podle vybraného vektoru o vzdálenost mřížky naležící danému sklípku.

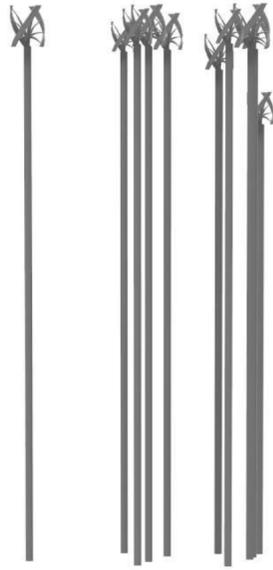


Na konci každého cyklu algoritmus zkontroluje délku osy sklípku a porovná ji s požadovanou délkou pro konkrétní sklípek. Pokud sklípek nesplní požadovanou délku, pošle ho zpět do výpočtu, když délku splní z výpočtu jej vyřadí.

Algoritmus pracuje v reálném čase a s všemi devíti sklípky najednou. Díky tomu jsou sklípky schopny na sebe reagovat a vytvářet tak složité struktury.

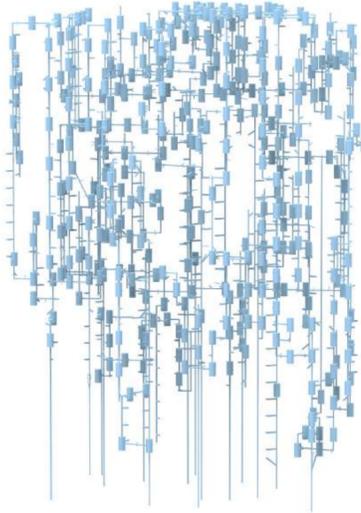
Vygenerované podoby sklípků





Rozložení jednotlivých částí farmy

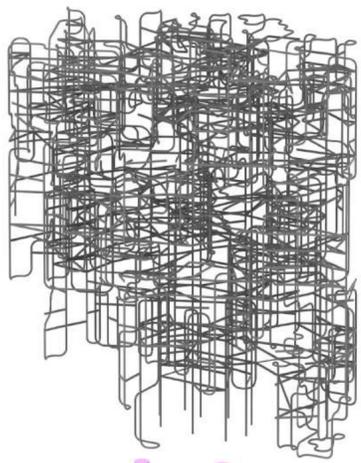
Vertikální větrné turbíny umístěné na pilíře, které slouží jako dodatečné podpory pro ztužující konstrukci farmy.



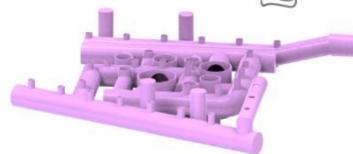
Rozvod vody, hnojiv a tepla k jednotlivým přechodovým stanicím, které zásobují jednotlivé úseky sklípků.



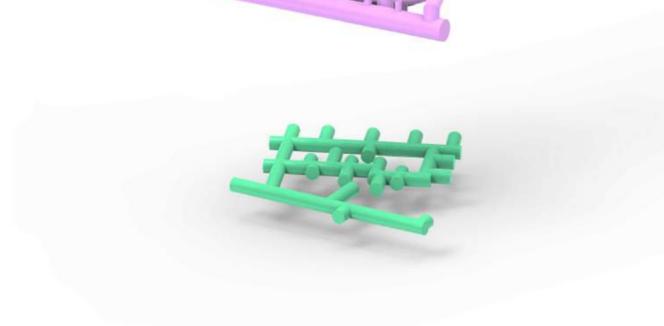
Struktura devíti typů sklípků.



Ztužující konstrukce farmy, propojuje jednotlivé sklípky v horizontálních liniích a je doplňena zavětrováním.

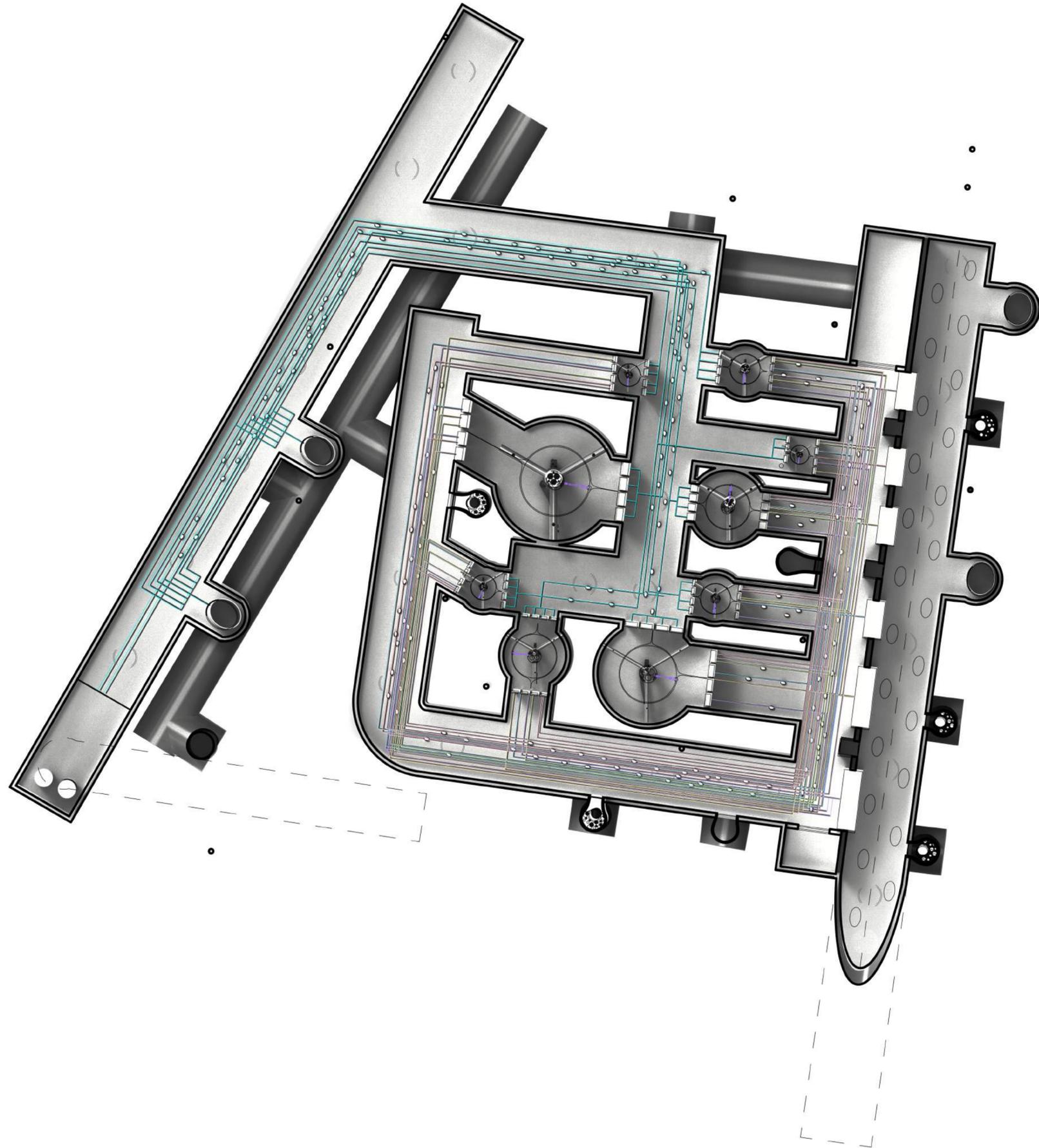


Zázemí import a export, obchod, vstupy sklípků.

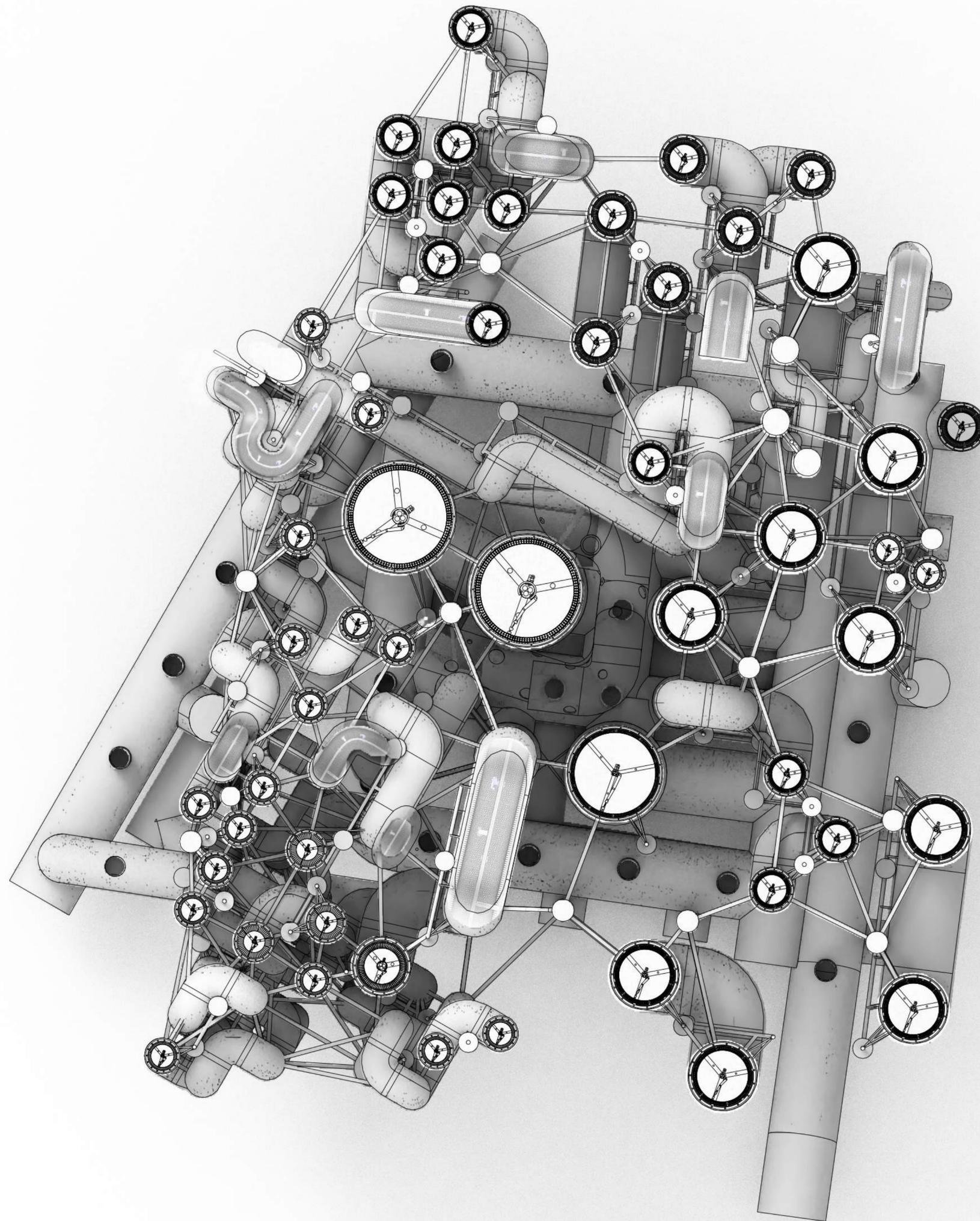


Technické zázemí farmy, sklady baterií.

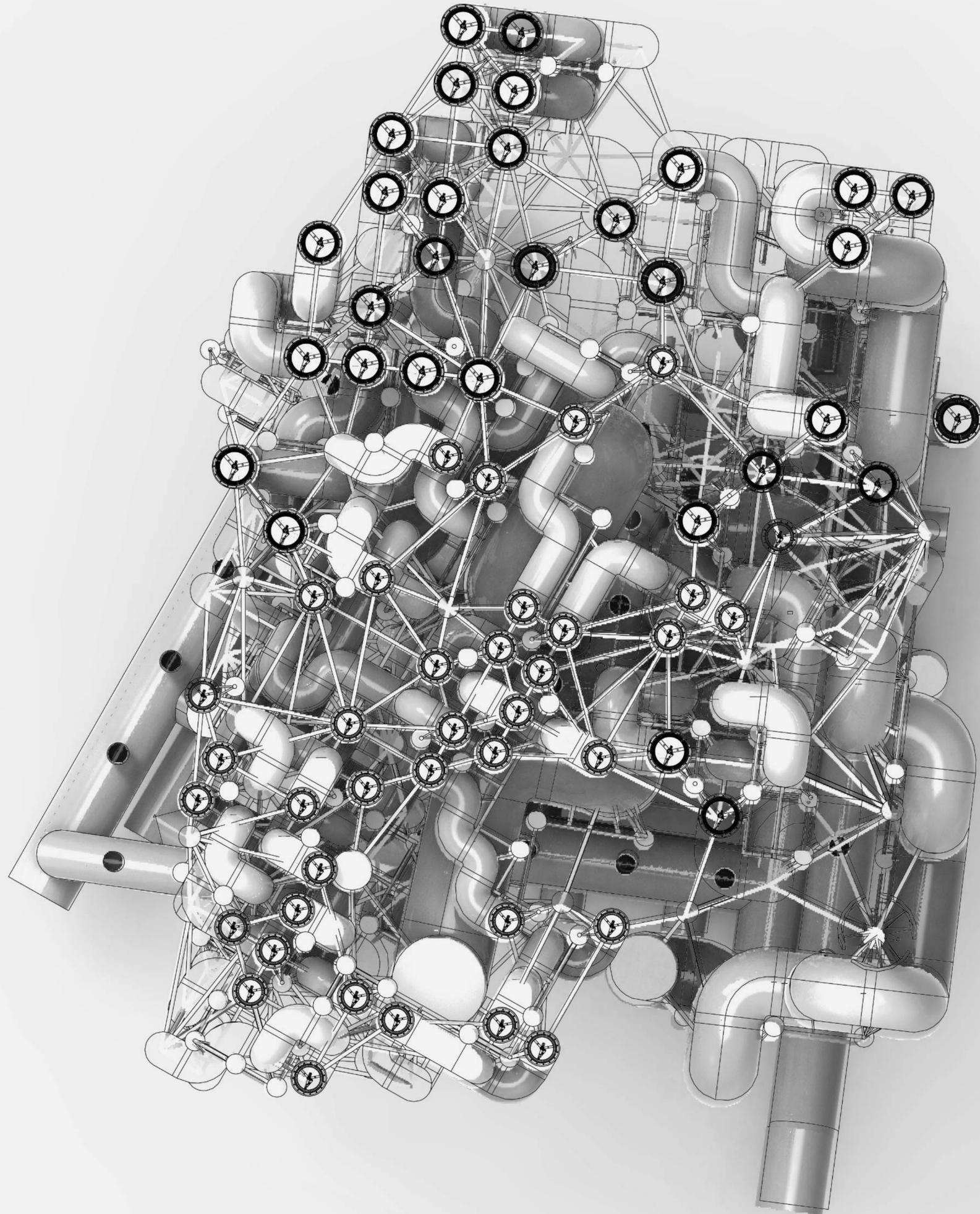
Řez kauduální - zázemí farmy 1:300



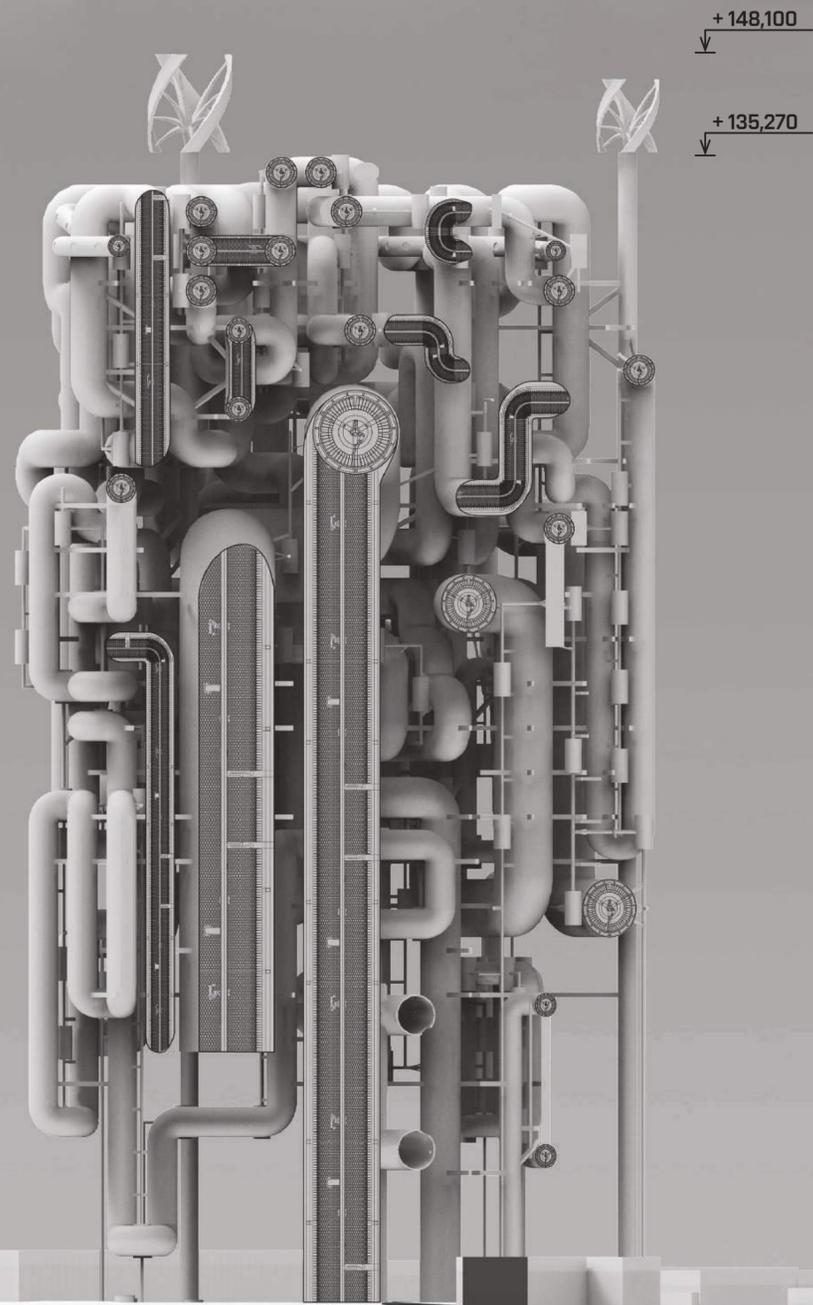
Řez kauduální 1:300



Řez kauduální 1:300



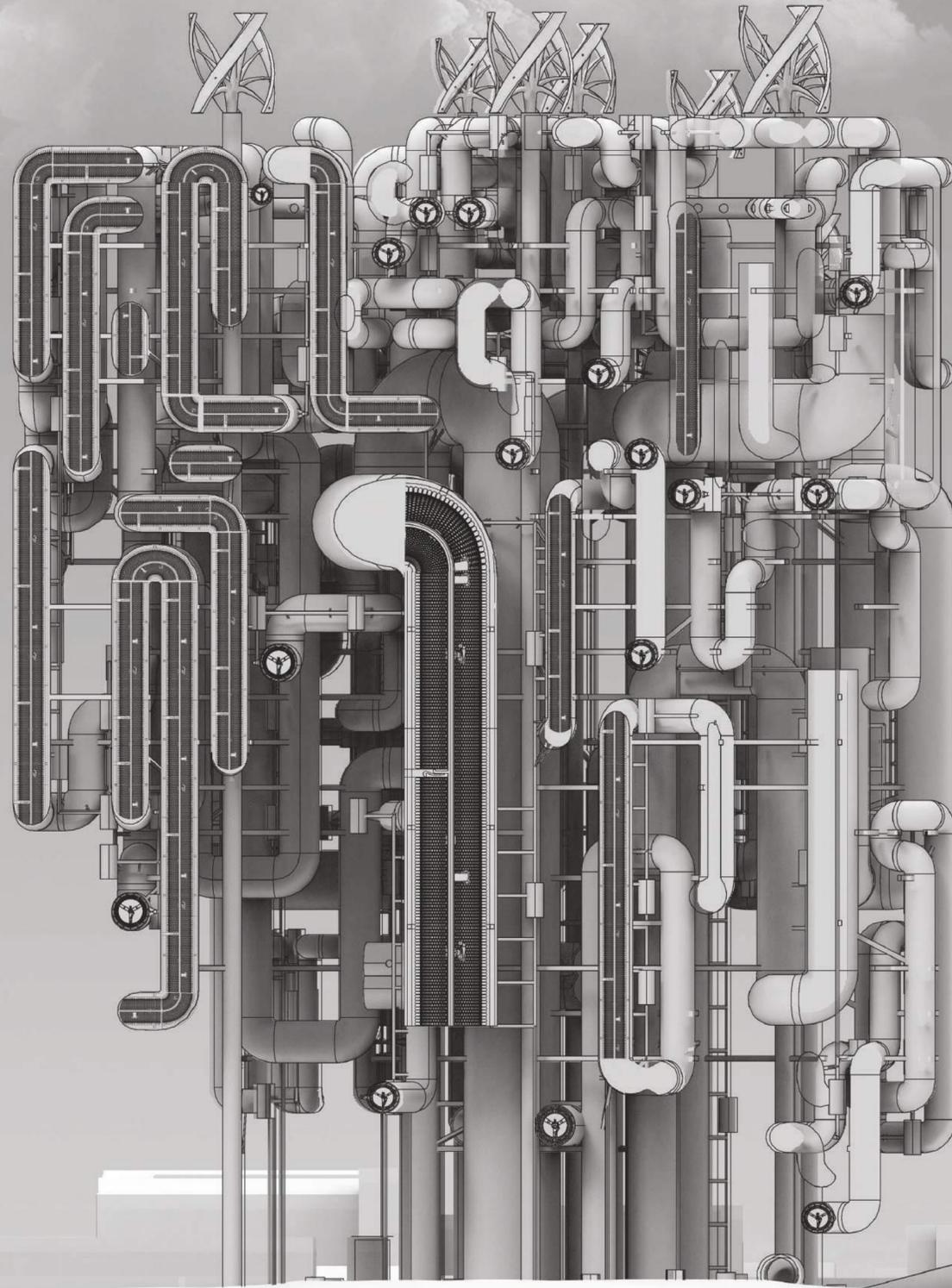
Řez dorzální



Řez laterální

+148,100
↓

+135,270
↓



Pohled od Severu

+148,100



+135,270



+4,400

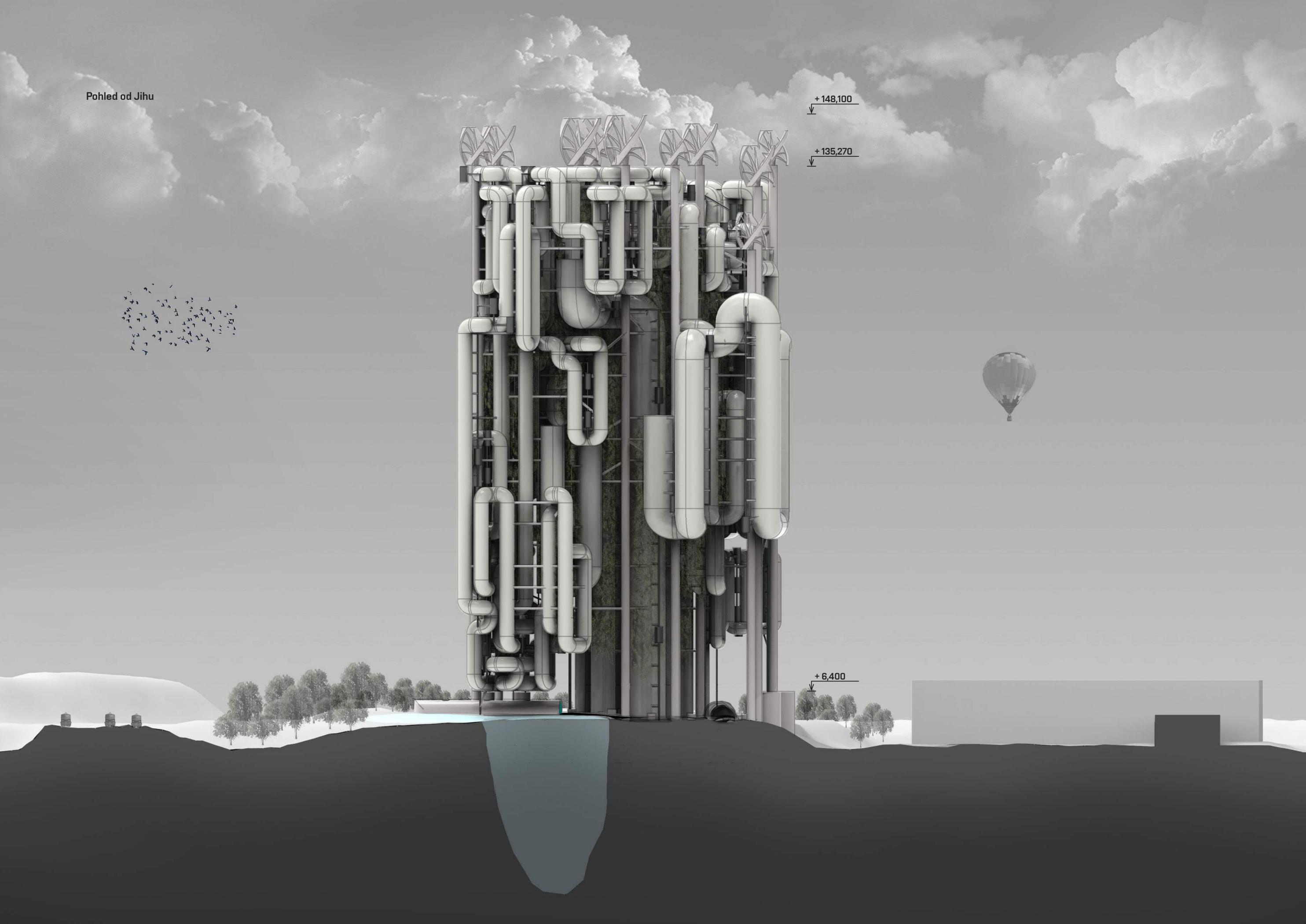


Pohled od Jihu

+ 148,100

+ 135,270

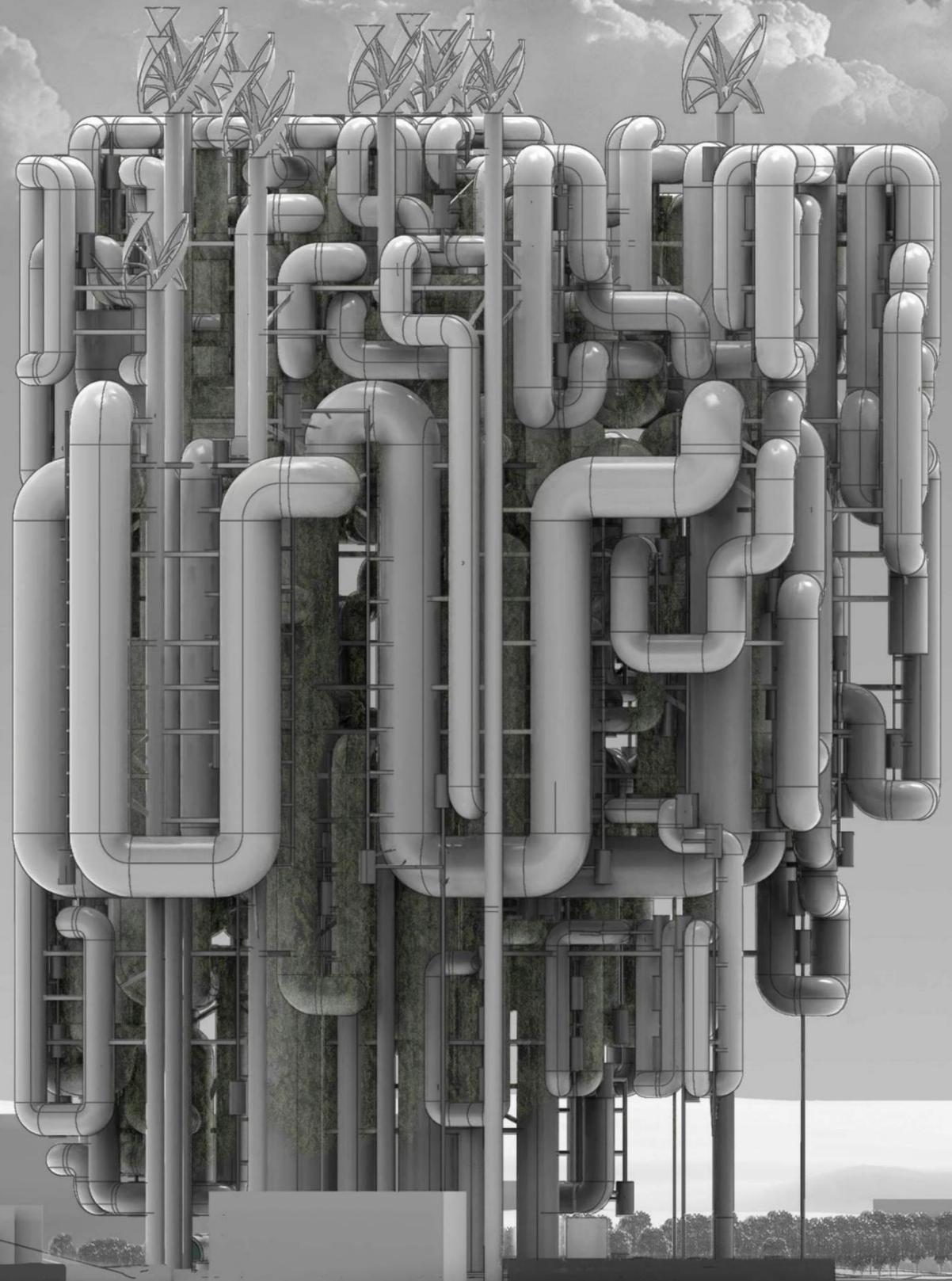
+ 6,400



Pohled od Východu

+148,100
↓

+135,270
↓

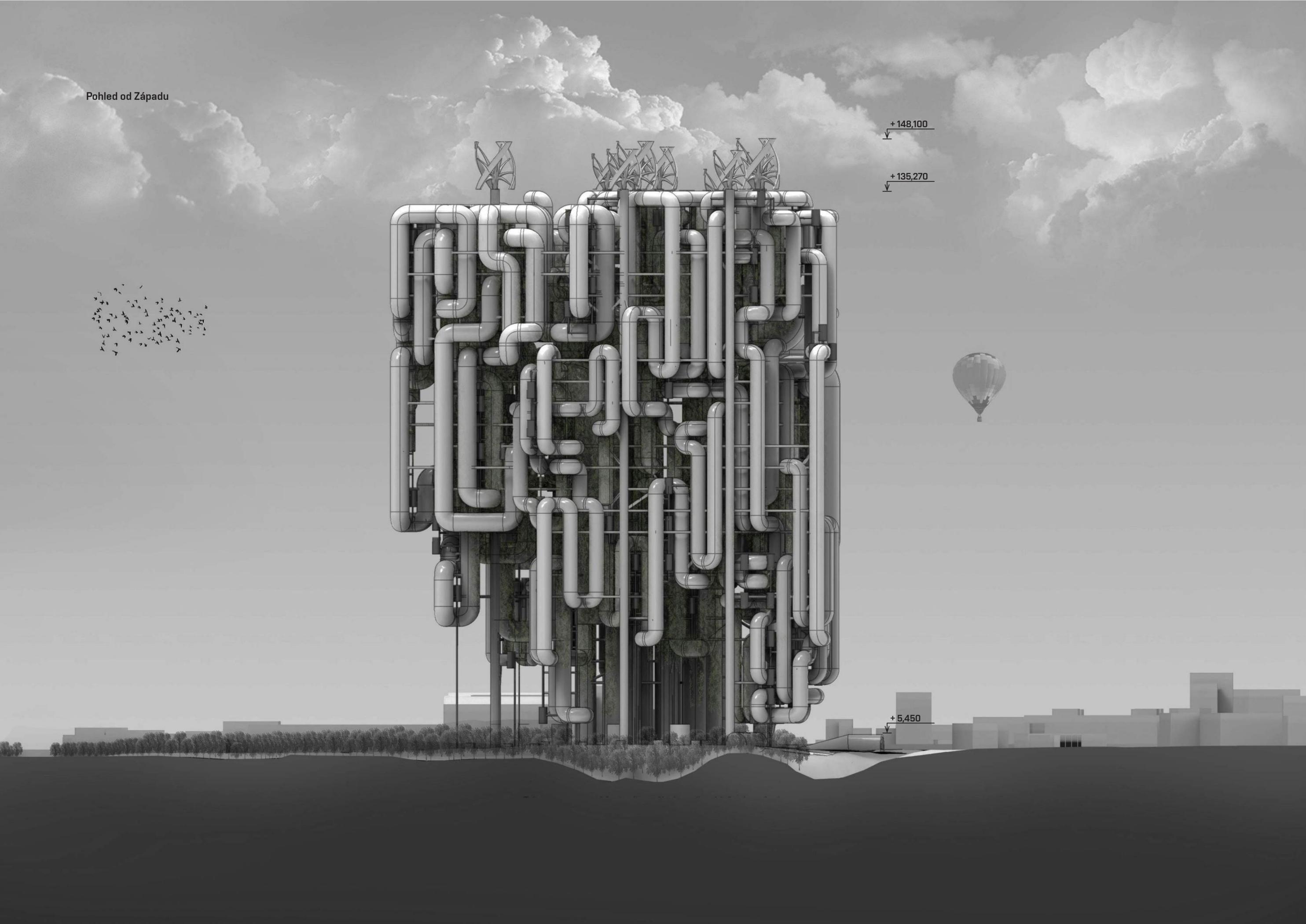


Pohled od Západu

+148,100

+135,270

+5,450





export

import

export

import

🛒

Košuljčeva

0 5 10 20 30 50m
1:500



směr - Brno hlavní nádraží

směr - Brno dolní nádraží

směr centrum

směr centrum

směr - dálnice

Košulčova

vlakové nádraží
Brno - Horní Heršpice

směr - vjezd z Brna

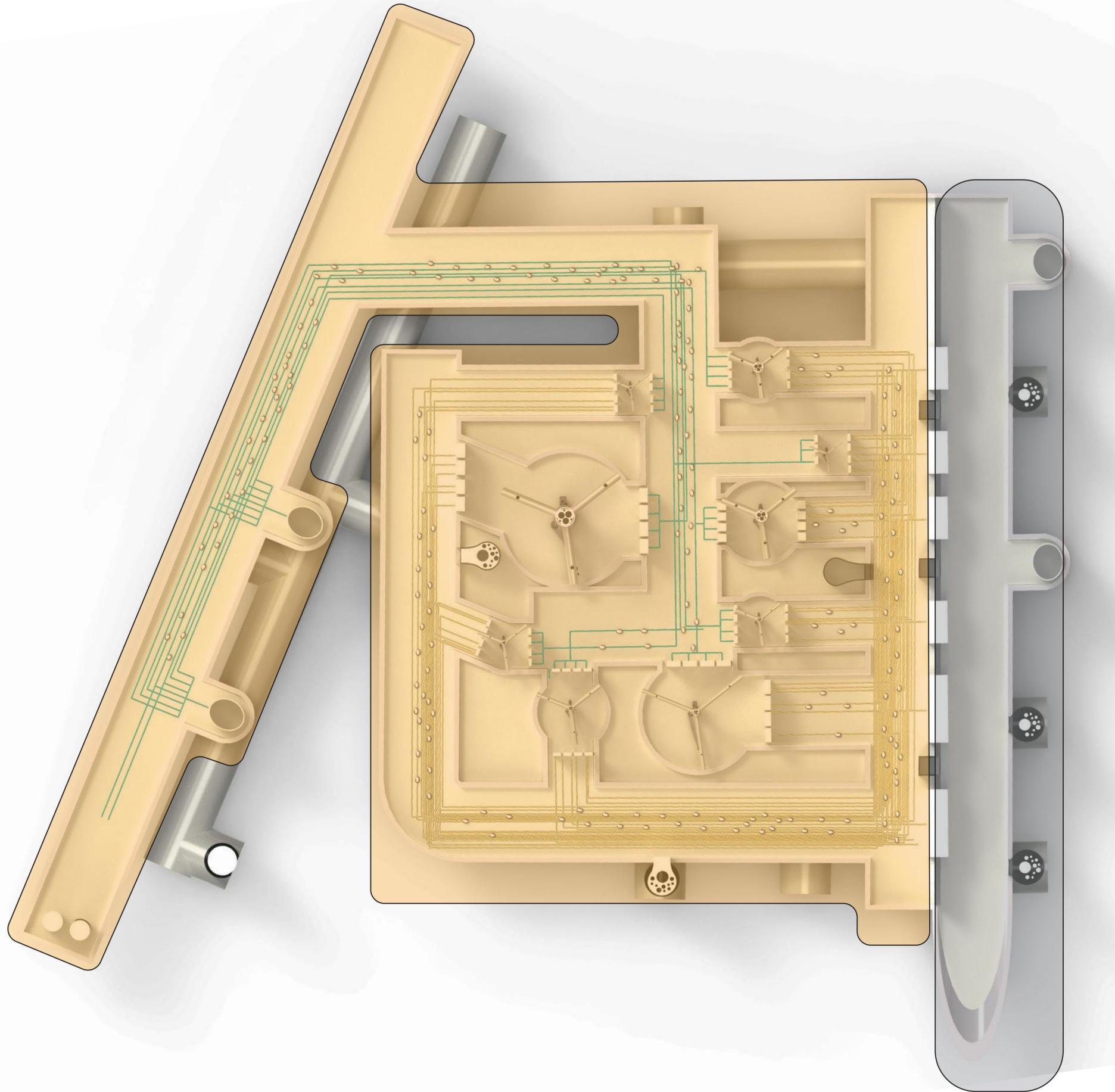
0 10 20 50 100

1:1750
200m

Zóny farmy

Čistá zóna

Špinavá zóna



Provozní schéma zázemí farmy

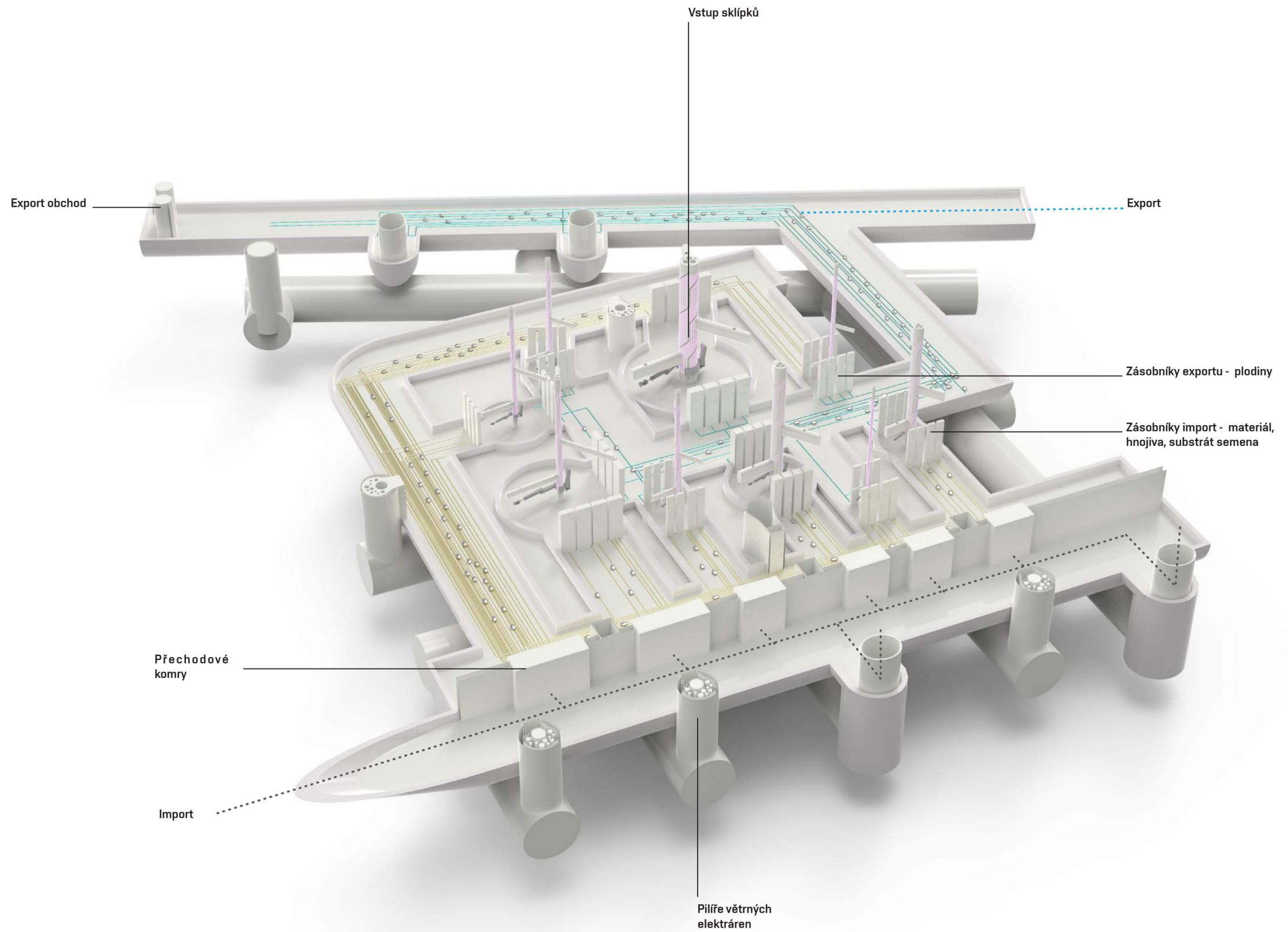


Schéma rozvodu vody

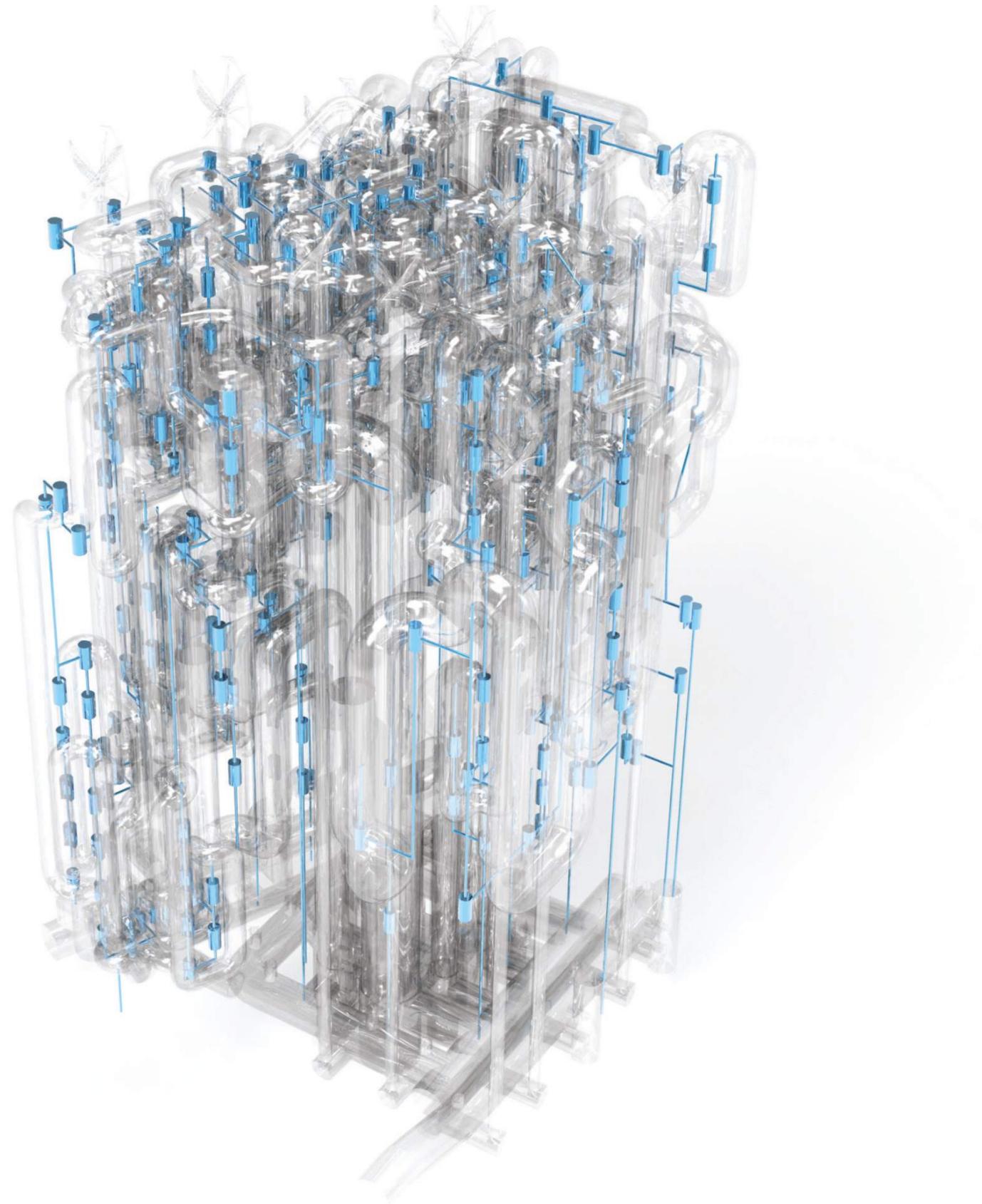
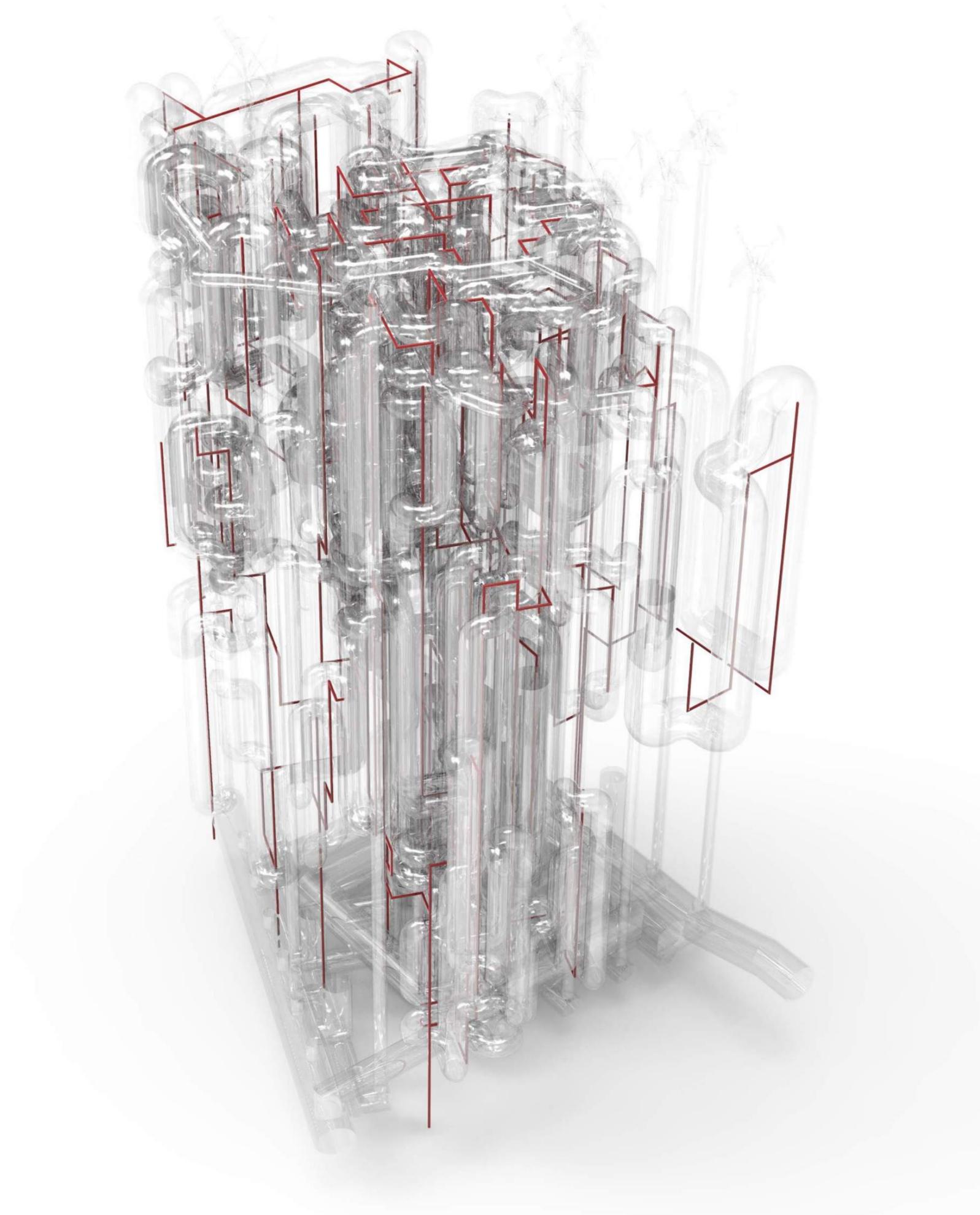
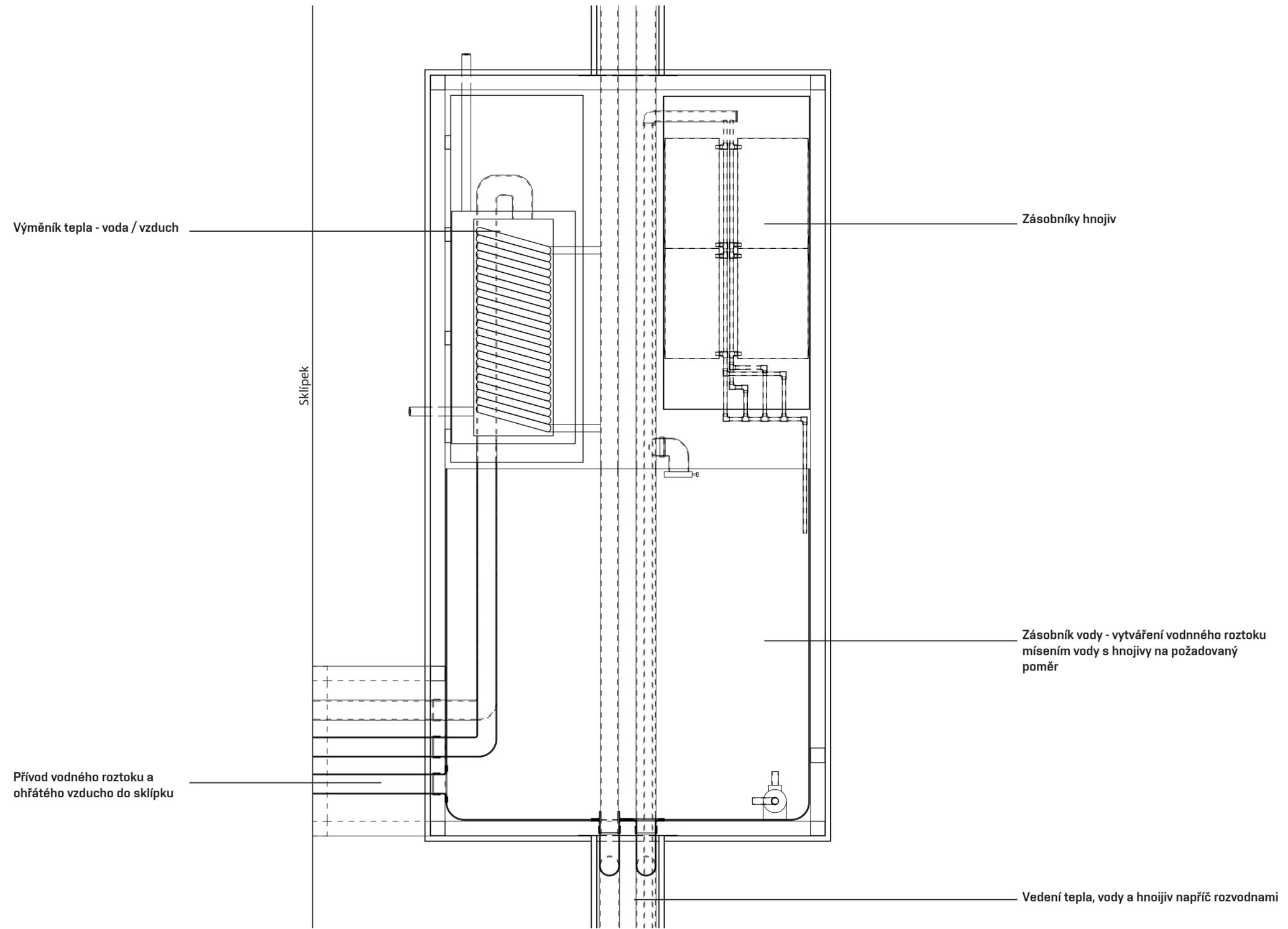


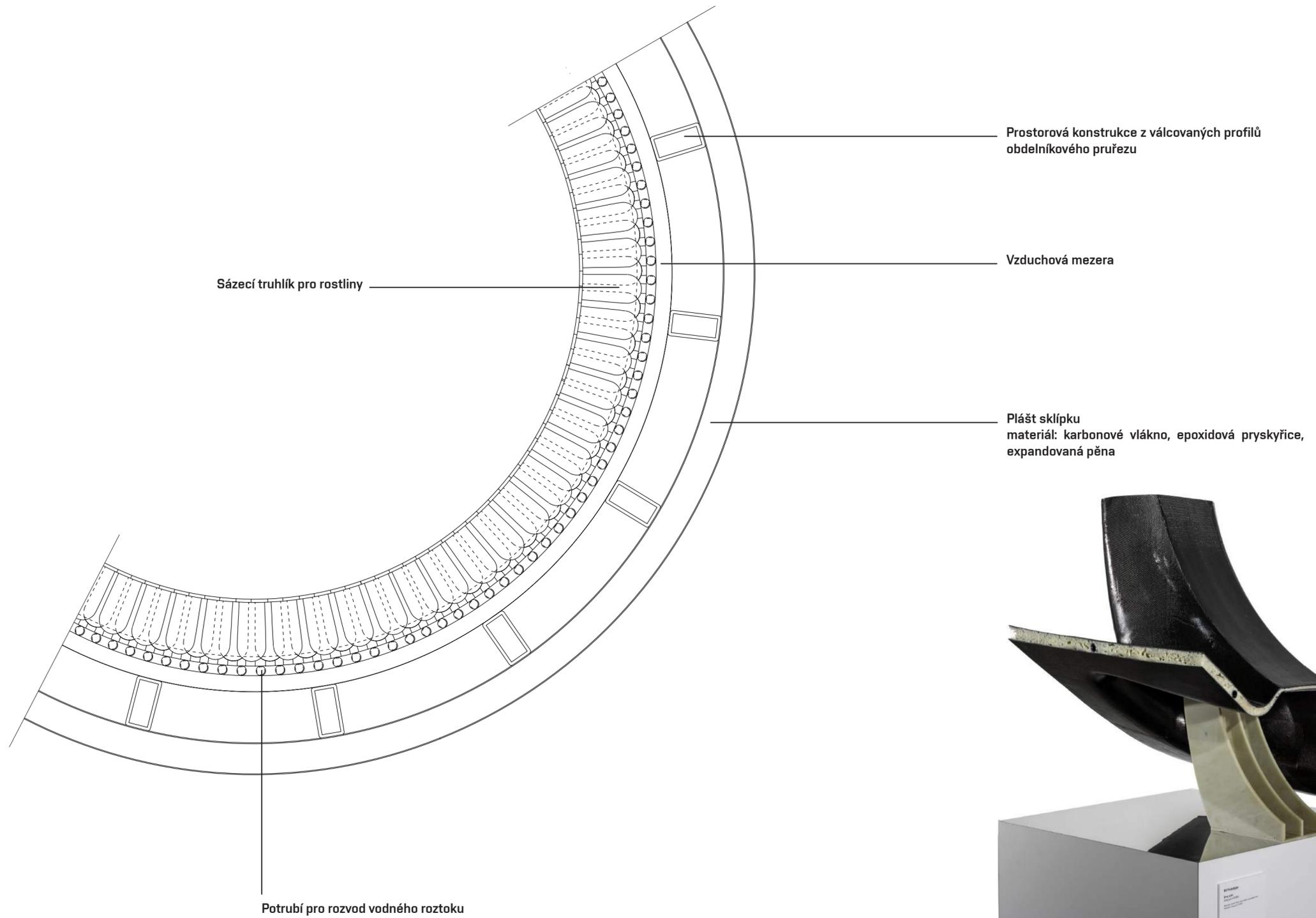
Schéma rozvodu tepla



Detail rozvodny vody a tepla 1:20



Detail pláště sklípku 1:10



Detail průřezu sklípku 1:10

Plášť sklípků je pokrytý solární fólií, nebo vegetací přispívající sběru vody.

Multifunkční robotické rameno kotvené na tepnu sklípku pomocí kolejnic. Napájeno el. proudem.

Programovatelné LED osvětlení.

Kotevní a ztužující pilíř obdelníkového průřezu slouží k uchycení tepny sklípku, ztužení prostorové konstrukce a zprostředkovává přístup robotovi k rozvodu zasetí a odvodu odpadu.

Tepná sklípku, nejdůležitější část prostoru. Zajišťuje přísun zasetí, odvod odpadu, rozvod elektrické energie. Umožňuje pohyb robota po sklípku. Její povrch je pokryt programovatelnými LED světly, ty poskytují rostlinám potřebné spektrum světla.

Pojzdová kolejnice pro robota.

Lehký sendvičový plášť z karbonových vláken, epoxidové pryskyřice a polyuretanové pěny.

Prostorové konstrukce z válcovaných obdelníkových profilů, tl. plechu 4 - 8 mm.

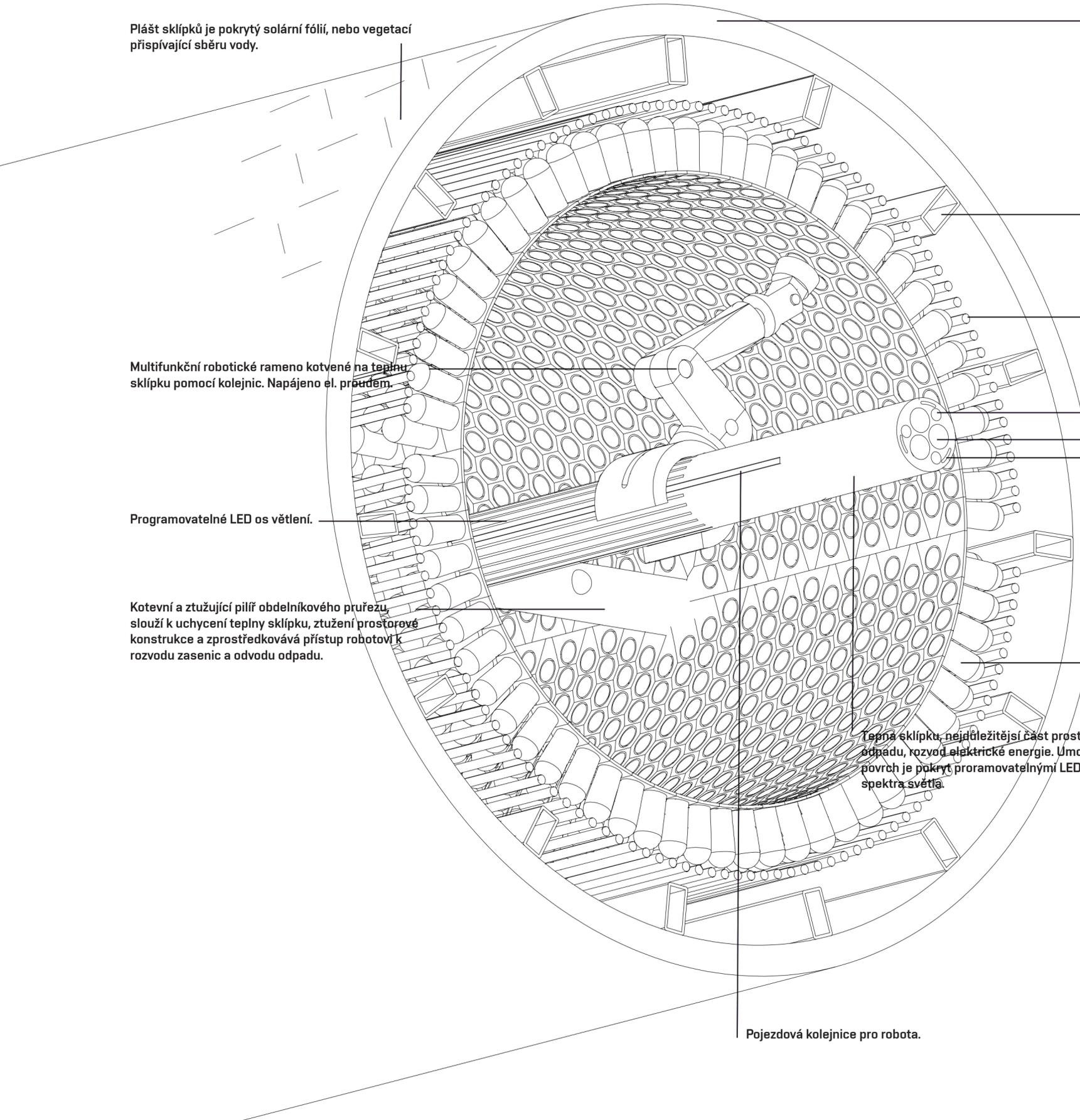
Rozvodné potrubí vodního roztoku, materiál pvc, průměr 20 - 50 mm, napojené na truhlíky přes spojky s kapénkovou vlastností.

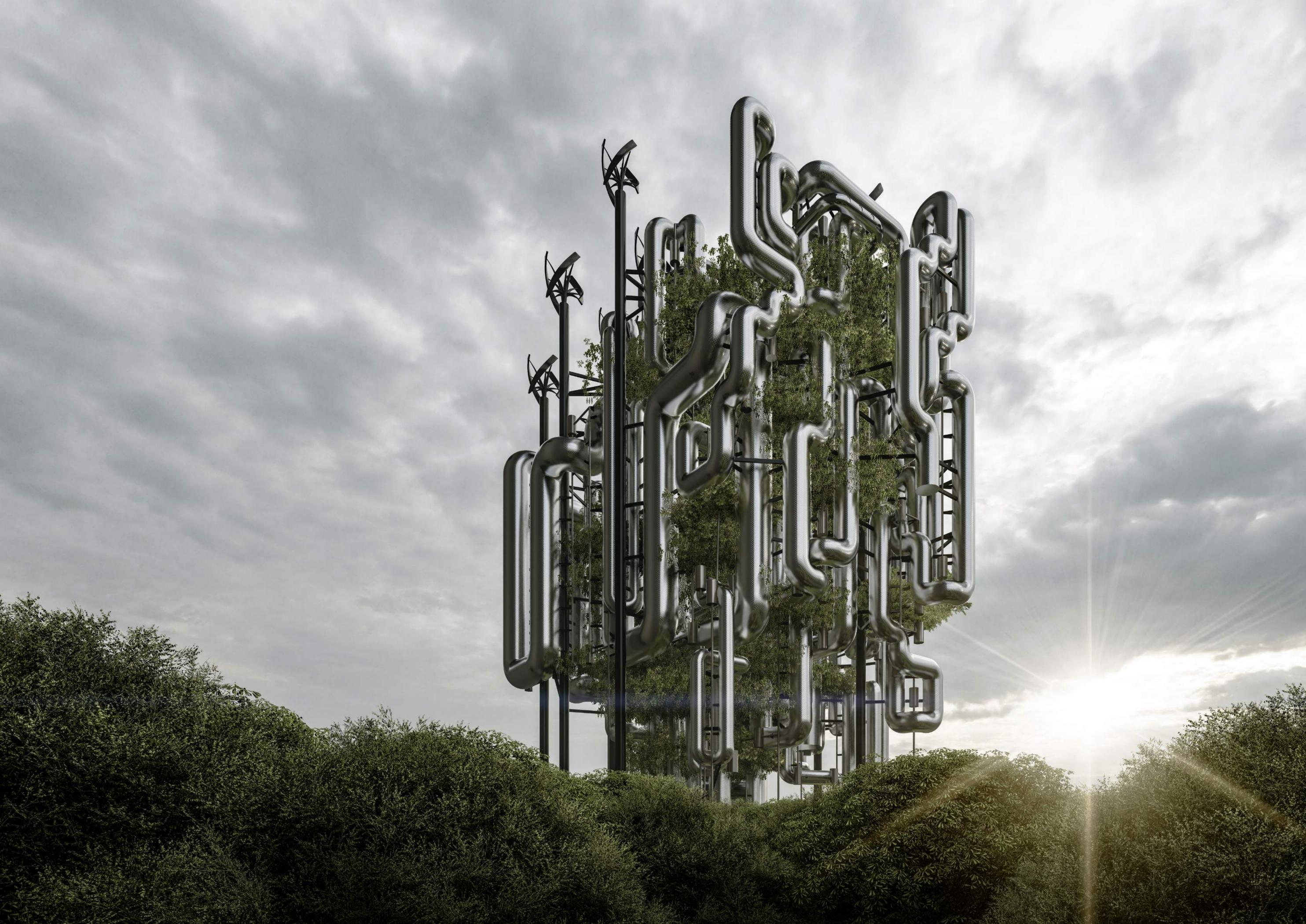
Odvod odpadů ze sklípku. Na počátku trubicového vedení je umístěn drtič, který rozemezel odpad z rostlin na jemné částice. Ty jsou odvedeny do kompostéru pod počátek sklípku.

Přívodní potrubí košíků se sazenicemi a odvod vypěstovaných plodin.

Prostor pro elektrické rozvody.

Kompozitový plát s vylisovanými truhlíky o tl. 10 - 30 mm.

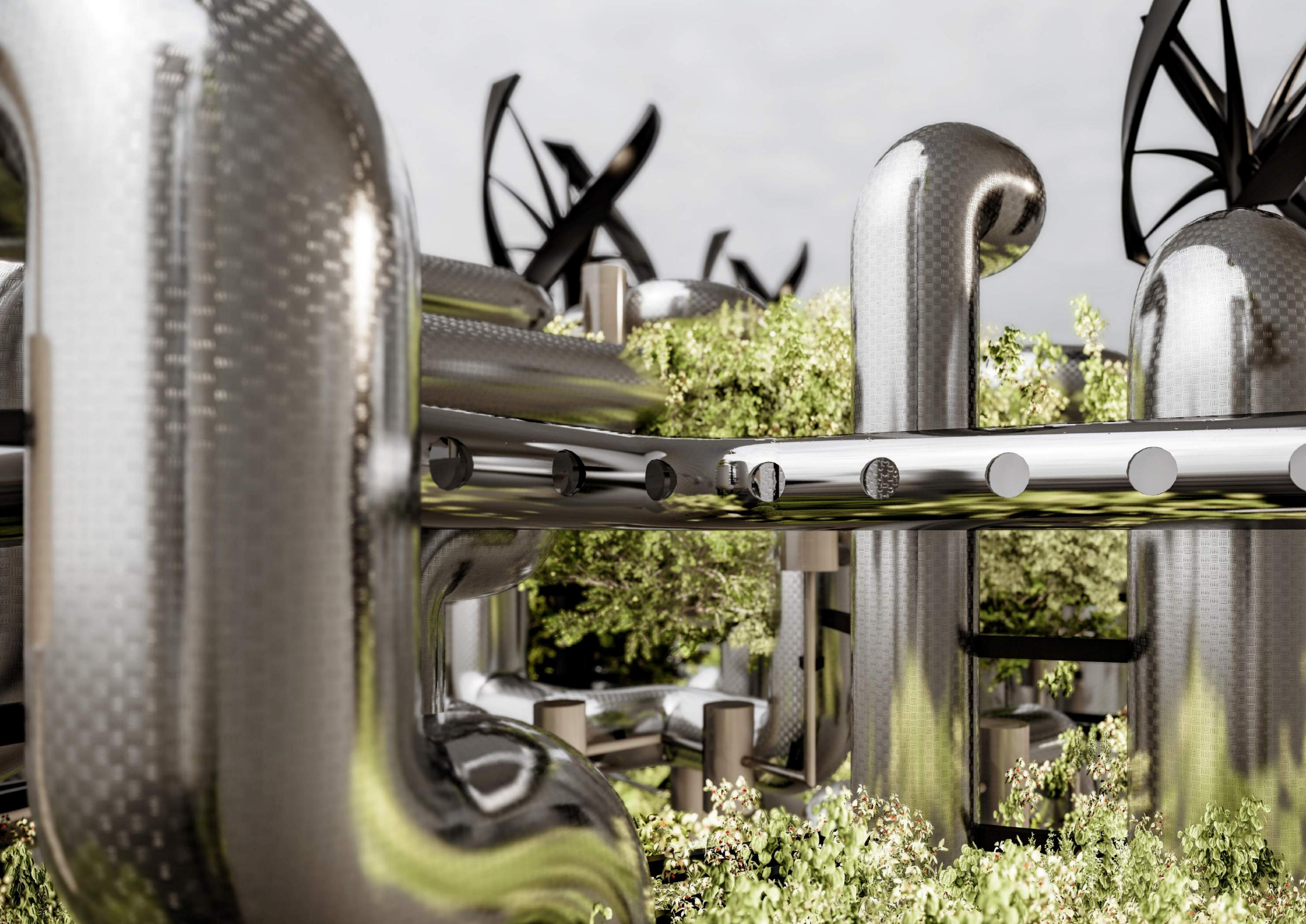




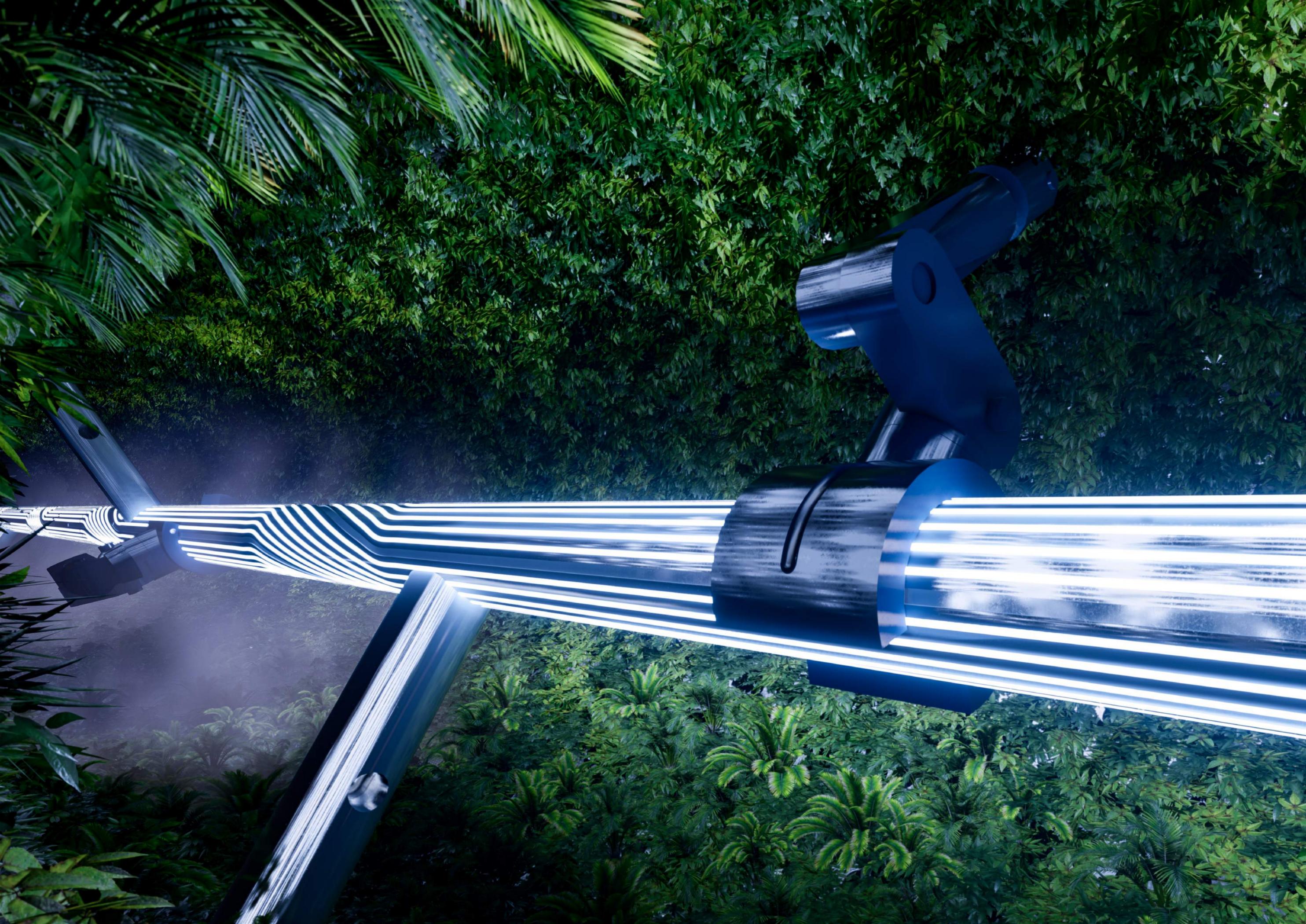


Vizualizace vyhlídka











Seznam literatury

- 1 DELEUZE, Gilles a GUATTARI, Félix, 2010, Tisíc plošin, Herrman a synové.
- 2 FREI, Otto, 2008. Occupying and Connecting: Thoughts on Territories and Spheres of Influence with Particular Reference to Human Settlement. Edition Axel Menges.
- 3 LANDA, Manuel De, 2006. Assemblage Theory. New York: Continuum.
- 4 BAUMAN, Zygmunt, 2002. The Liquid Modernity. Mladá fronta.
- 5 SCHUMACHER, Patrik, 2010/2011. Autopoiesis of Architecture. Vol. 1,2., London: IO, Wiley.
- 6 DESPOMMIER, Dickson D. The vertical farm: feeding the world in the 21st century. New York: Thomas Dunne Books/St. Martin's Press, 2010. ISBN 03-126-1139-0

Zdroje:

- <https://magazin.specialnizahradnictvi.cz/jaka-hnojiva-se-hodi-pro-hydroponii-a-daji-se-necim-nahradit/>
<https://www.epicgardening.com/deep-water-culture-get-started/>
<https://www.youtube.com/watch?v=fFzWG-KGGU>
<https://www.youtube.com/watch?v=bAdqazixuRY>
<https://www.youtube.com/watch?v=QCKl9RMd5-s>
<https://www.kuka.com/cs-cz/produkty.-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty>
<https://www.treehugger.com/green-architecture/urbanana-latest-vertical-farm-soa-goes-bananas-les-champs-elysees.html>
<http://algorithmicbotany.org/papers/tissues.fsmp2004.pdf>
<http://algorithmicbotany.org/papers/owensa.th2016.pdf>
<http://algorithmicbotany.org/papers/smithco.dis2006.pdf>
<https://www.ehsanbaharlou.com/?p=636>
<https://www.ehsanbaharlou.com/?p=600>
https://issuu.com/matthewtibballs/docs/earthbook_m.tibballs_638803
https://issuu.com/matthewtibballs/docs/air_sketchbook_final
https://issuu.com/matthewtibballs/docs/m.tibballs_journal_final
https://issuu.com/pabloherrera/docs/generative_algorithms_f07be9052a219d
https://www.youtube.com/watch?v=V17Lp1X0_ao
<https://www.youtube.com/watch?v=9HI8FerKr6Q>
<https://www.youtube.com/watch?v=nAA0DfAdiLU>
<https://www.youtube.com/watch?v=3ifZLQGtoic>
https://www.youtube.com/watch?v=CVa_IzVzUoc
<https://entagma.com/differential-line-growth/>
<https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/>
<https://www.softsecrets.com/cz/zabava/technika/pestovani-s-led/>
<https://www.softsecrets.com/cz/zpravy/jak-snadno-zacit-pestovat-indoor/>
<https://www.ireceptar.cz/zahrada/pestovani-citrusu-v-kvetinaci-rady-pro-zacatecniky.html>
<http://www.verticalfarminstitute.org/services/#research-consultancy>
<http://www.verticalfarminstitute.org/vertical-farming/>
<https://smartfarmers.eu/en/installations/microgreen-farm/>
<http://www.mestozen.cz/jak-pestovat-limetky/>
<https://www.treehugger.com/green-food/do-vertical-farms-make-sense.html>
<https://www.treehugger.com/green-architecture/urbanana-latest-vertical-farm-soa-goes-bananas-les-champs-elysees.html>
<https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2007/cislo-12/sberac-rosny-druha-termodynamicka-veta-rozpini-vesmiru.html>