



Vodopád s jezírkem v pavilonu goril – Rezervace Dja
Waterfall with pond in gorila house – Dja Reserve

Foto/Photo Petr Hamerník

Úspěšný příklad biotopové expozice v novém pavilonu goril – Rezervaci Dja – v Zoo Praha

KATEŘINA CHVOSTOVÁ¹⁾ & EDUARD CHVOSTA^{1),2)}

¹⁾ Zoologická zahrada hl. m. Prahy, U Trojského zámku 120/3, 171 00 Praha 7

²⁾ Botanická zahrada Střední odborné školy Jarov, Pod Táborem 17, 190 00 Praha 9

Corresponding author: Kateřina Chvostová (chvostova@zoopraha.cz)

Abstrakt

Moderní světové zoo (např. San Diego) v poslední době preferují koncept vytváření ucelené podoby prostředí, v němž zvířata ve své domovině žijí. Tato pravdivost se netýká jenom živočišné říše (kombinace několika chovaných druhů), ale i říše rostlinné včetně neživé složky prostředí. I pražské zoo se v posledních letech podařilo věrně napodobit přírodní biotopy v Rákosové pavilonu (papoušci) nebo v Darwinově kráteru (tasmánská fauna). Nový pavilon goril je výslednicí zkušeností s těmi předchozími. Unikátní architektonická koncepce stavby a požadavek na věrné ztvárnění tropického deštného afrického lesa vyžadovalo pro zajištění základních životních podmínek rostlin výjimečnou technickou vybavenost.

Keywords

planting, origin plants, horticulture, gorilla house, zoo exhibit, Prague Zoo

Druhové složení rostlin v Rezervaci Dja

Skladba použitá v interiéru pavilonu goril plně respektuje geografickou příslušnost místa výskytu goril nížinných v jejich domovině v Kamerunu či Kongu. Snaží se tak vytvořit návštěvníkovi pravdivý obraz přítomnosti v africkém rovníkovém pralese.

V návštěvníckém prostoru tvoří stromovou kostru věrné betonové imitace pralesních velikánů s typickými lišovitými a chůdovitými kořeny ukotvující obrovskou hmotu dřevin ve vlhké půdě deštného pralesa. Z živých stromů zde spatříte především fikusy *Ficus lyrata* s velkým kožovitými listy ve tvaru kytarového těla a *Ficus cyathistipula* s listy drobnějšími vejčitými. Plody obou druhů se podobají fíkům, ale nevyužívají se k potravinovým účelům. Životní strategie těchto „stromů“ začíná v koruně jiných dřevin, kde fikusy spouštějí své kořeny k zemi a těsně obepínají hostitelskou rostlinu, až jí zcela zaškrtní. Odtud pramení lidový název strom škrtič. Zvláštností z živočišné říše jsou stravovací návyky goril, které požírají listy těchto stromů i přes bílý jedovatý latex, jenž je při poranění vylučován jako obrana proti býložravcům. V zoologických zahradách jsou listy fikusů často zkrmovány.

Keřové patro zastupuje mnoho druhů. Nejvýraznější z nich upoutá svými obřími banánovými listy a vzrůstem hodným spíše stromů než bylin. Tím druhem je strelicie natalská (*Strelitzia nicolai*) ze stejnojmenné čeledi. Na rozdíl od strelicie královské (*Strelitzia reginae*), známé z květinářství svými papouščími oranžovými květy, tato kvete bíle. Podobné, ale výrazně menší listy má *Marantochloa* aff. *leucantha* z čeledi marantovité (*Marantaceae*). V Kamerunu a Kongu se používá v léčitelství, žilnatina jí řadí mezi přadné rostliny a dlouhé řapíky v její domovině například využívají k pletení košíků či rohoží.

Další spíše stromovitou bylinou je kapradina *Cyathea* sp. s více jak metrovým kmenem. Poslední zmíněnou keřovitou rostlinou je z kultury známý dračinec *Dracaena deremensis*. Překvapivě i on původně obývá tropické deštné pralesy Afriky. Taktéž vzrůstnější *Brillantaisia owariensis* z čeledi paznehtníkovité (*Acanthaceae*) vykvétá i v pavilonu modrými šalvějovitými květy. Léčitelé jí v Kongu aplikují například proti spavé nemoci nebo anémii.



Až tři metry dlouhé listy *Strelitzia nicolai* v boji s konkurencí tropické vegetace
 Up to three metres long, the leaves of *Strelitzia nicolai* compete with tropical vegetation

Foto/Photo Tereza Mrhálková



Stromové kapradiny rodu *Cyathea* vyvolávají exotickou atmosféru
 Tree ferns of the genus *Cyathea* evoke an exotic atmosphere

Foto/Photo Tereza Mrhálková



Pohled do interiéru trojského deštného pralesa
 View of the Troja rainforest's interior

Foto/Photo Petr Hamerník

Nejnižší bylinný podrost zastupují často jedovaté rostliny z čeledi árónovitých, jako je *Nephtytis poissonii*. Jeho střelovité listy po většinu roku doplňují výrazné plody žlutooranžové barvy. I notoricky známá netýkavka *Impatiens balsaminea* používaná do truhlíků nebo na letničkové záhony pochází z temných podrostů afrického pralesa. Typickou fytoecologickou dominantou stinných podrostů ve všech vegetačních pásmech zeměkoule tvoří kapradorosty. Pro Rezervaci Dja byly vybrány druhy z rodů *Asplenium*, *Adiantum*, *Rumohra*, *Nephrolepis* a druhy *Chlorophytum comosum* a *C. orchidastrum*.

Vizuální duši džungle nečiní ani tak pralesní velikáni jako spíše neprostupné spletence lián. Z čeledi vstavačovitých (*Orchidaceae*) byl z edukačních důvodů vybrán rod *Vanilla* pocházející také z tropického pásma Afriky. Jeho fermentované plody tvoří významnou hospodářskou komoditu tropických oblastí. Z dalších druhů jmenujme dračinec šlahounovitý (*Dracaena surculosa*) a blahokeř Thomsonové (*Clerodendrum thomsoniae*), které zvolily za kolonizační strategii ovíjivost svých stonků na rozdíl od žumenu okrouhlostého (*Cissus rotundifolia*) z čeledi révovitých (*Vitaceae*), jež využívá metamorfované palisty v podobě úponků. Poslední jmenovaný byl pro svoji nejedovatost vysazen i do ochozů samotných výběhů krytých kovovou síťovinou. Prorůstající výhony motivují k interakci guerézy pláštíkové (*Colobus guereza*), jež je s oblibou okusují.

Četné srážky a teploty bez výrazných výkyvů činí z rovníkové Afriky atraktivní místo pro růst rostlin. Soupeření o tak žádané přeplněné místo vyhnalo mnoho rostlin blíže k slunci, do korun stromů. Tyto rostliny nazýváme epifytickými. Obzvláště kapradiny se adaptovaly na život bez přímého kontaktu s půdou. Vytvořily si ze svých listů jakési kornouty zachycující dešťové srážky, organické zbytky z tlejících listů, ale i exkrementy živočichů, kteří zde nacházejí pohodlný a bezpečný domov. V rozsochách betonových imitací tropických obřích stromů byly instalovány epifytické kapradiny z rodů *Platyserium* (parožnatka) a *Drynaria*. Oba rody morfologicky determinuje heterofylie, kdy sterilní listy, obepínající hostitele (v neparazitickém smyslu), slouží k retenci srážek a organických zbytků a krytí kořenů. Listy fertily, typické bohatě členitou čepelí, nesou generativní orgány se sporama. Rostliny byly nainstalovány přímo na torkretové stromy (tj. stromy vytvořené metodou stříkaného betonu) nebo dřevěné parkosy v těsném dosahu dopadu kapek rosení ze stropního závlahového systému.

Ústředním motivem v návštěvnické části je vodopád s malým dopadovým jezírkem obohacený o torkretové kapsy umožňující kultivaci emerních (bahenních) rostlin. Z několika zde vysazených druhů nutno upozornit na kapradinu *Acrostichum aureum*, jež obsazuje biotopy pobřežních zón včetně mangrovníkových porostů. Z toho plyne její výjimečná adaptace pro růst v brakických vodách. Druhou zajímavostí, spíše morfologickou, je dvoutvarost lístků na jednom listě, kdy horní část úkrojků nese spory a spodní zajišťuje pouze fotosyntézu. Tradiční akvarijní druhy ve spodní nádrži se stagnující hladinou zastupuje jeden z největších druhů rodu anubis *Anubias gigantea* z čeledi árónovitých (*Ara-ceae*) se střelovitými listy vystupujícími nad hladinu.



Epifytní rod kapradiny rodu *Drynaria* s výraznou heterofilií
The epiphytic fern genus *Drynaria* with distinct heterophily

Foto/Photo Tereza Mrhálková



Rod kapradin parožnatka (*Platycerium*) zvolil za růstovou strategii epifytismus v rozsochách stromů
The staghorn fern (*Platycerium*) genus uses epiphytism as a growth strategy in tree forks

Foto/Photo Tereza Mrháková



Technologie vertikální zeleně pomohla navodit iluzi průchodu vymletým říčním korytem
Vertical growth technology helped create the illusion of passing through an eroded river corridor

Foto/Photo Tereza Mrháková



Detail vegetační stěny v osazení blízkém přírodní diverzitě
Detail of the vegetation wall planted to be as close as possible to natural diversity

Foto/Photo Tereza Mrhálková

Vegetační stěny

Samostatně zmíníme technologii, jenž se v mnoha technologických variacích používá v urbanizovaných prostorech. Pro navození pocitu průchodu vymletým říčním korytem, zarůstajícím bujarou tropickou zelení, se systém kaskádovitě umístěných truhlíků se spodním přepadem vody v ploše 46 m² jevil jako nejpraktičtější. Tyto jednotlivé truhlíky mají spodní komoru, ze které vzlíná pomocí knotů voda do substrátu. Na okraji sloupce truhlíků je průtočná šachta pro vodu, kterou dodává kapkový systém z vrchu. Voda proteče a naplní všechny komory, zbytek odchází do přepadu. Hladinu vody v truhlíku hlídá jezdec, který často díky nečistotám inklinuje k zaseknutí. Z tohoto důvodu je nutná častá vizuální kontrola zahradníky. Použitý sortiment rostlin v počtu 1 250 kusů navazující na okolní výsadbu není běžně používán v zahradnické praxi, proto se i tato technologie ukazovala jako nejvhodnější z hlediska snadné výměny v případě úhynu konkrétních jedinců. Optickou kostru pomohl vytvořit kultivačně plastický, „nezničitelný“ a dobře známý zelenec *Chlorophytum comosum*, ovšem v méně běžné přírodní nepanašované formě. Gracilnost dodaly kapradiny již zmíněného bylinného patra a barevnost vzácně a náhodně probleskující květy bělokvěté netýkavky *Impatiens walleriana* a oranžovokvěté begonie *Begonia sutherlandii*. Prostorotvornou složku v jinak ploché stěně zajišťují zakrslé kultivary dračince vonného (*Draceana fragrans*) a mladé sazenice fíkusy *Ficus cyathistipula*.

Osvětlení

Jelikož střešní konstrukci pavilonu tvoří betonový skelet (umožňující založení rozsáhlé extenzivní zahrady) s několika málo světlíky, byla nutná instalace doplňkového umělého osvětlení. Nad záhony, včetně zelených stěn, visí celkem 28 kusů svítidel osazených ledkovými řadami o různých vlnových délkách pro účinnou fotosyntézu (360–820 nm). Dalších 15 ks svítidel je umístěno tak, aby saturovala podrostové skupiny. U zelených stěn jsou svítidla umístěna na rampě, která umožňuje 4 nastavitelné polohy. Zadání vytvořit návštěvníkům iluzi průchodu zřešelym interiérem pralesa, kde koruny tropických velikanů propouštějí pouze minimum světla, znamenalo dotovat potřebnou intenzitu pro fotosyntézu mimo návštěvníckou dobu – tedy během noci. Zde jsme po půlročním provozu stanovili fotoperiodicky účinnou dobu odpovídající délce dne v oblastech blízko rovníku. Délka svícení v různých pozicích: tři spodní polohy po 2 hodinách, následuje interval noci (3 hodiny) a od 03:00 – 08:00 pak svícení v nejvyšší poloze tj. na hraně zelené stěny. Po zhasnutí celý systém vystopá ke stropu pavilonu, aby nedocházelo k estetickému rušení celého prostoru během přítomnosti návštěvníků. Celý fotoperiodický interval tak trvá 10 až 12 hodin podle otevírací doby pavilonu. Aby zvířata nebyla rušena po dobu svícení, tj. během noci, cloní skla chovných výběhů neprodyšná černá opona.



Aby zvířata nebyla rušena po dobu svícení během noci, cloní skla chovných výběhů neprodyšná černá opona
So as not to disturb the animals at night when the lights are on, an impervious black curtain screens the glass of the enclosures

Foto/Photo Petr Hamerník

Další metabolickou potřebu rostlin tvoří správná intenzita osvětlení. Maximální hodnota u instalovaných svítidel dosahuje $1\,000\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ tj. cca 60 000 luxů, tedy hodnota blízká přirozenému slunečnímu záření. Naše zkušenost nás dovedla k hladině 60% potenciálu svítidla. Při nastavení větší intenzity vznikaly na listech nekrotické skvrny, při nižší docházelo k etiolizaci, tj. k prodlužování internodií. Rozmístění svítidel v celém prostoru předcházelo předběžný výpočet hladin osvětlení projektantem.



Rozmístění ledkových fotosyntetických svítidel s torkretovými stromy
Placement of photosynthetic LEDs with shotcrete trees

Foto/Photo Tereza Mrháková



Technická konstrukce vegetačních stěn z plastových kaskádových truhlíků
Technical design of vegetation walls made of plastic planters in a cascade

Foto/Photo Tereza Mrháková

Další základní podmínka života rostlin – voda, prochází demineralizační kolonou reverzní osmózy (RO). Tropické rostliny vyžadují hodnoty vody blízké vodě dešťové. Vyšší obsah solí rychle degraduje substrát, poškozují kořeny epifytních rostlin a mimo jiné způsobuje i zarůstání samotných závlahových trysek. Koncová aplikace závlahy v kořenové zóně spočívá v umístění kapkovacích hadic pod povrchem půdy. Skrápění listů navozující efekt tropického deště zajišťují trysky dvojího průtoku umístěné ve stropě. Trysky s menším průtokem také zvyšují relativní vzdušnou vlhkost, nezbytnou pro prosperitu většiny druhů z tropického deštného pralesa. Oba systémy řídí časový spínač a kontrolu následně i vlhkostní čidlo.

Navržená technologie reverzní osmózy vyrábí vodu demineralizovanou během procesu několika-
kustupňové filtrace. První používanou filtrační náplní je aktivní uhlí, které zajišťuje dechloraci vody a odstranění pesticidních látek, dále úplné změkčení veškeré vody iontovou výměnou vápníku (Ca) a hořčíku (Mg) za ionty sodíku (Na). Sodík svou přítomností ve vodě zabraňuje vzniku vodního kamene. Posledním hlavním stupněm je membránová filtrace, která oddělí 99–99,9 % čistou H₂O od ostatních zbylých minerálů, které vypustí do odpadu. Pro lepší pochopení lze uvést příklad se vstupní konduktivitou (vodivostí) 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (pitná voda má limit 1 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$), kdy výsledná hodnota po použití průmyslové reverzní osmózy osciluje mezi 1–10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hodnotu ovlivňuje také nastavený tlak na membránu, většinou v rozmezí 5–11 bar a v neposlední řadě také i teplota používané vody. Vyšší teplota zvyšuje účinnost. Běžně se teplota vstupní vody pro RO systémy nemění a zůstává na vstupních hodnotách. Jednotlivé prvky jsou pak odstraňovány stejným poměrem účinnosti – např. 100 mg/l chloridů je v konečném výsledku 0,1–1 mg/l. S mírou odstranění minerálů voda mění i své pH směrem dolů na výsledné acidní hodnoty 4–6 pH v závislosti na vstupních hodnotách používané vody. Voda v kyselých hladinách vodíkových iontů zatěžuje více kovové díly rozvodného potrubního systému, proto je vhodné používat inertní plastové nebo nerezové součásti.

Takto demineralizovaná voda pracuje s nízkým tlakem. Jímá se do zásobního sudu, z něhož pomocí čerpadla zvyšujeme tlak potřebný v systému rozprašovacích trysek zajišťujících vlhkost ovzduší.

Protože navržená technologie reverzní osmózy včetně změkčovacího filtru produkuje i určitý poměr odpadní vody, která má pouze vyšší koncentraci minerálů, jež ale nezpůsobují tvrdost vody, bylo navrženo její využití i pro závlahu rostlin. Odpadní vodu proto také jímáme do nádrží, ze kterých se pak čerpá do systému půdní kapkovací závlahy.

Jelikož v letních a zimních měsících je vzájemný rozdíl spotřeby vody mezi rozprašováním (zvlhčováním) do ovzduší a pozemní závlahou rostlin, bylo nutné vytvořit i automatické doplňování vody do odpadní nádrže vodou z obecního řadu. Když reverzní osmóza v zimních měsících nevyrábí nebo vyrábí méně demineralizované vody a je větší spotřeba vody pro zavlažování substrátu, dopouští automatika nefiltrovanou obecní vodu do nádrže pro půdní zavlažování rostlin. Pokud by nastal opačný případ, je myšleno i na tento stav. Když bude zásobní nádrž na odpadní vodu plná a reverzní osmóza bude muset vyrábět vodu pro zvlhčování vzduchu, bude automatikou tato odpadní voda z technologie RO odkloněna směrem do kanalizace, aby nedošlo k jejímu přelavení. V případě poruchy technologie výroby reverzní osmózy se systém přepne automaticky (nebo ručně) pro vzdušné kroupení alespoň na vodu změkčenou. Celou technologii je možné doplnit i o GSM modul s hlášením stavů systému nebo případných poruch.



Kolona reverzní osmózy pro demineralizaci vody
A reverse osmosis column for demineralising water

Foto/Photo Tereza Mrhálková



Trysky s jemnou mikrokapkou pro zvýšení relativní
vzdušné vlhkosti
Fine micro-drop nozzles to increase relative air humidity

Foto/Photo Tereza Mrhálková

Substrát

Pedologické podmínky ve vlhkých tropech jsou typické malým půdním profilem a díky neustálému promývání spojenému s vysokým opadem organické hmoty je výsledkem málo rozložená organická hmota. Takový typ substrátu, včetně prodloužené „životnosti“ (zde není možná tak častá výměna při změně kvality jako v kontejneru), nesplňuje žádný komerčně dodávaný výrobek. Namíchali jsme proto komponenty splňující požadavek pomalého rozkladu, vysokého podílu vzduchu a vododržnosti. Tyto vlastnosti mají materiály jako např. kokosové vlákno, borkovaná a vláknitá rašelina, zeolit, pemza a jílové minerály. Výsledné složení substrátu bylo zhotoveno v těchto poměrech: bílá rašelina 40%, černá rašelina 20%, rašelinová vlákna 10%, kokosová vlákna 15%, lignofibre 15%, piniové chipsy 15%, jíl 100 kg/m³, kompost 0,7kg/m³, Osmocote 12ti měsíční 3,5 kg/m³, rohovina 2 kg/m³, trojitý superfosfát 200 g/m³, hrubě mletý vápenec 2 kg/m³, smáčedla 500 ml/m³. Následně byla do této směsi přimíchána pemza frakce 2–5 mm a láva frakce 2–8 mm.

Bílá rašelina těžená borkováním (ve formě cihel), piniové chipsy a příměs lignofibre zlepšují svou strukturu fyzikální vlastnosti, zejména drenážní schopnost, nesléhavost, a zajišťují vysoký podíl vzduchu a organické nerozložené hmoty v substrátu. Lignofibre jsou broušená dřevní vlákna impregnovaná proti rozkladu s dlouhou životností. Vododržnosti docílíme přidáním černé rašeliny a jílu, jenž nám nahrazuje humus a minerální složky současně se zvýšením sorpčního komplexu. Pomocí mletého vápence dosáhneme pufrční funkce a tedy stabilního pH. Substrát je ošetřen propařením kvůli likvidaci patogenních zárodků a semen plevelů.

Povrchový mulč na substrátu zajistily sušené listy tropických rostlin, převážně fikusů (rod *Ficus*). Část byla nadrcena a zbytek ponechán v celku. Cílem této netradiční volby materiálu bylo estetické navození atmosféry pralesa, ale i postupný přirozený rozklad organické hmoty včetně uvolňování huminových kyselin.



Vstupní koridor s torkretovými stěnami a stromy a plastovým rástrem pro vertikální zeleň
Entrance corridor with shotcrete walls and trees and plastic framework for vertical greenery

Foto/Photo Tereza Mrháková



Vstupní koridor 10 měsíců po výsadbě
Entrance corridor 10 months after planting

Foto/Photo Tereza Mrháková

Kontrolní systém

I přes plnou automatizaci za pomoci inteligentního systému měření a regulace Sauter není možné ponechat jakékoli technologie bez neustálé lidské kontroly. Pomocí systému Sauter ovládáme a kontrolujeme spínání a vypínání světel, intenzitu osvětlení, spouštění a zvedání ramp a opon. Dále teplotu jak v expozicích, tak v návštěvnickém prostoru, chod vzduchotechniky a kontrolujeme vlhkost vzduchu.

Závěr

Přes rozsáhlou teoretickou přípravu jak ve skladbě rostlin, tak v technologiích zajišťujících základní životní potřeby rostlin nebylo možné s jistotou odhadnout chování celého umělého systému. Díky možnosti posouzení funkčnosti s odstupem uplynulých 16 měsíců od výsadby, lze hovořit o úspěchu. Vybraná rostlinná skladba vytvořila dojem bujného tropického biotopu. Vegetace díky zvoleným technologiím prosperují i v nepřírozených urbanizovaných podmínkách.

Poděkování za zvýšení druhové diverzity

Botanická a zoologická zahrada města Plzně
Botanická zahrada hl. m. Prahy
Botanická zahrada Střední odborné školy Jarov
Botanická zahrada Univerzity Karlovy

INSPIRAČNÍ ZROJE/INSPIRATIONAL SOURCES

BLANC P., 2012. The vertical garden: From nature to the city. W. W. Norton and Company, 205 pp.
BUTLER S., 2022. Gardening for Gorillas: Trials, tricks, and triumphs of a zoo horticulturalist. Orla Kelly Publishing. 369 pp.
Fata Morgana Botanické zahrady hl. m. Prahy
JENÍK J., 2009. Kapitoly ze života v tropech. Sborník článků pro časopis Živa, Praha. 192 pp.
STUDNIČKA M., 2009. Kapradiny. Academia. 451 pp.
VALÍČEK P. & KOL., 1989. Užitkové rostliny tropů a subtropů. Academia, Praha. 415 pp.
Technologické listy f. Valoya
Technologické listy f. Milvit Water s.r.o
Technologické listy f. Gramoflor
Technologické listy f. LIKO - S
www.wikipedia.org
Zoo Linz
Zoo San Diego

A successful example of a biotope exhibit in the new gorilla house – Dja Reserve – in Prague Zoo

Abstract

Recently, the world's modern zoos (e.g., San Diego) have preferred the concept of creating a complete form of the environment to that in which the animals live in their homeland. This veracity concerns not just the animal kingdom (by combining the species kept), but also the plant kingdom, including the environment's inanimate components. Prague Zoo's recent projects, Rákos' House for parrots and other exotic birds or Darwin Crater for Tasmanian species, have also managed to faithfully imitate the natural biotopes. The new gorilla house is resultant from the experience with the previous ones. The building's unique architectural concept and the requirement for a faithful rendition of a tropical African rainforest required exceptional technical facilities to ensure the basic living conditions for the plants.

Species composition of plants in Dja Reserve

The composition used in the interior of the gorilla house fully respects the geographic location of the western lowland gorillas in their homeland in Cameroon or Congo. It thus tries to present the visitor with a true picture of their presence in the African equatorial rainforest.

In the visitor space, the concrete imitation of the tree skeleton is a faithful representation of the rainforest giants with their typical buttress and stilt roots anchoring the huge mass of wood into the moist rainforest soil. As concerns living trees, the most common are the fiddle-leaf fig (*Ficus lyrata*) with its large leathery guitar-shaped leaves and the African fig (*Ficus cyathistipula*) with smaller oviform leaves. The fruits of both species are similar to figs but are not used for food purposes.

The life strategy of these 'trees' begins in the canopy of other woody plants, where the figs lower their roots to the ground and tightly encircle the host plant until they completely strangle it. This gives rise to the popular name strangler fig. The eating habits of gorillas are a peculiarity of the animal kingdom. They eat the leaves of these trees despite the white, poisonous latex that is secreted when injured as a defence against herbivores. In zoos, the leaves of ficus trees are often given as fodder.

The shrub layer is represented by many species. The most striking of them draws attention with its giant banana leaves and growth, which is more like that of trees than herbs. This species is the wild banana (*Strelitzia nicolai*) which has white blooms, unlike the crane flower (*Strelitzia reginae*), beloved in the florist's trade for its parrot-orange flowers. It is used medicinally in Cameroon and Congo. Its venation places it among the fibre crops, and in its home range its long petioles are used, for example, to weave baskets or mats.

Another more tree-like herb is the fern *Cyathea* spp. with a trunk that can be over a metre tall. The last shrubby plant mentioned is the well-known Janet Craig dracaena (*Dracaena deremensis*), surprisingly this too originally comes from the tropical rainforests of Africa. Likewise, the larger growing *Brillantaisia owariensis* of the *Acanthaceae* (*Acanthus*) family also blooms in the Dja Reserve with blue sage-like flowers. Examples of its use by local healers in the Congo include treating sleeping sickness or anaemia.

Poisonous plants of the *Araneeae* or arum family, such as *Nephtytis poissonii*, are often found in the lowest herbaceous undergrowth. For most of the year its sagittate leaves are complemented by distinctive yellow-orange fruits. Even the notorious garden balsam (*Impatiens balsamina*), used in window boxes or in annual beds, comes from the dark undergrowth of the African rainforest. Ferns are the typical phytocoenologically dominant plants of shady undergrowth in all vegetation zones of the globe. Species were chosen from the genera *Asplenium*, *Adiantum*, *Rumohra*, *Nephrolepis* along with the species *Chlorophytum comosum* and *C. orchidastrum*.

Visually, the essence of a jungle is not so much the forest giants as the impenetrable tangles of lianas. As concerns the orchid family *Orchidaceae*, the genus *Vanilla*, also native to tropical Africa, was chosen for educational reasons. Its fermented fruits form an important economic commodity in tropical areas. Other species that can be mentioned include the gold dust dracaena (*Dracaena surculosa*) and the bleeding glory-bower (*Clerodendrum thomsoniae*), both of which have adopted a colonisation strategy of twining their stems, in contrast to the Peruvian grape ivy (*Cissus rotundifolia*) of the *Vitaceae* family, which uses metamorphosed stipules in the form of tendrils. Due to its non-toxicity, the latter has also been planted in the walkways of the actual enclosures which are covered with metal netting. The protruding shoots encourage the guerezas to interact, as they enjoy nibbling on them.

Frequent rainfall and temperatures with no great fluctuations make equatorial Africa an ideal place for plants to grow. The competition for such a desirable space has made it overcrowded and thus driven many plants to move closer to the sun, into the treetops. These plants are called epiphytes. Ferns especially have adapted to life without direct contact with the soil. Their leaves have evolved into a kind of cone that catches rainfall, organic debris from decomposing leaves and even the excrement of the animals that have found a calm and safe home there.

Epiphytic ferns from the genera *Platynerium* (staghorn ferns) and *Drynaria* (basket ferns) were installed in the hollows of the concrete imitations of giant tropical trees. Both genera are morphologically determined by heterophylly, where sterile fronds hugging the host (in a non-parasitic sense) serve to retain rainfall and organic debris and cover the roots. Fertile fronds, that are typically deeply lobed, bear generative organs with spores. The plants were installed directly on the shotcrete trees (i.e., trees created by spraying concrete onto a frame) or the tree trunks close to where the condensation from the overhead misting system falls.

The central motif in the visitor section is a waterfall with a small pond enriched with shotcrete pockets allowing emerged (marsh) plants to be cultivated. Of the species planted here, the golden leather fern (*Acrostichum aureum*), which inhabits coastal zones, including mangroves, is of note due to its exceptional adaptation to growing in brackish waters. The second interesting feature, more morphological, is the dimorphism of the fronds on one leaf, with the upper part of the pinnae carrying spores and the lower part providing only photosynthesis. Growing in the bottom of the pond with stagnant water levels is one of the largest species of the *Anubias* genus, *Anubias gigantea*, of the *Araceae* (arum) family. It is a traditional aquarium species and has sagittate leaves rising above the surface.

Vegetation walls

The technology that is used in the urbanised spaces in various technological modifications deserves a separate section. A system of planters set out in a cascade on an area of 46 m² with water overflowing from one to the other appeared to be the most practical way to invoke the feeling of passing through an eroded riverbed overgrown with lush tropical greenery. Each planter has a lower chamber with a wick from which water rises into the substrate via capillary action. On the edge of the column of planters is a flow shaft for the water, which is supplied by a drip system from the top. The water flows through and fills all the chambers, the surplus goes into the overflow. The water level in the planter is monitored by a float, which often tends to get stuck due to contaminants. This means the gardeners must make frequent visual inspections. The variety of plants used, numbering 1,250 specimens all tied in together, is not generally used in horticultural practice, so this technology also proved to be the best in terms of the ease of replacing any particular specimens that might have died. The optical skeleton was created by using the 'indestructible' and well-known spider plant (*Chlorophytum comosum*), albeit in a less common, natural unvariegated form, as it is easy to cultivate. Gracility was added by the ferns of the aforementioned herbaceous layer and colour by the infrequently and randomly gleaming flowers of the busy Lizzie (*Impatiens walleriana*) and the orange-flowered Sutherland begonia (*Begonia sutherlandii*). A spatial component in the otherwise flat wall is provided by dwarf cultivars of striped dracaena (*Dracaena fragrans*) and young seedlings of the African fig tree (*Ficus cyathistipula*).

Lighting

As the roof structure of the house consists of a concrete skeleton (allowing a large, extensive garden to be set up) with several small skylights, it was necessary to install additional artificial lighting. Above plant beds, including the vegetation walls, hang a total of 28 lamps fitted with LED rows of varying wavelengths for efficient photosynthesis (360–820 nm). A further 15 lamps are positioned to saturate the understorey groups. By the vegetation walls, the lamps are placed on a ramp that allows 4 adjustable positions. The task of creating the illusion that visitors are walking through the shaded interior of the rainforest, where the crowns of the tropical giants only let in a minimum of light, meant the necessary intensity for photosynthesis had to be provided outside visitor hours - i.e. during the night. After six months of operation, a photoperiodically effective time was set, corresponding to day length in areas near the equator. The duration of illumination is set for different positions: three lower positions for 2 hours each, followed by the night interval (3 hours) and then illumination in the highest position, i.e. at the edge of the vegetation wall from 03:00–08:00. Once switched off, the whole system rises to the house's ceiling to prevent it disturbing the aesthetics of the space as a whole whilst visitors are present. Thus, the entire photoperiod lasts between 10 and 12 hours depending on the house's opening hours. To make sure that the animals are not disturbed when illuminating the plants during the night, an impervious black curtain screens the glass of the enclosures.

The intensity of lighting is another metabolic need of plants. The maximum value for the current lamps reaches 1 000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, i.e. about 60 000 lux, i.e. a value close to natural solar radiation. Experience so far has led to a level of 60% of the lamps' potential being used. At higher intensity settings, necrotic spots appeared on the leaves, while at lower levels etiolation, i.e. elongation of the internodes, occurred. The designer made a preliminary calculation of light levels from the lamps prior to placing them in the space.

Water

Next basic condition of life for plants, water, passes through a reverse osmosis demineralization column. Tropical plants require water that has values close to rainwater. A higher salt content rapidly degrades the substrate, damages the roots of epiphytic plants and causes, among other things, the irrigation nozzles to become encrusted. The final application of irrigation in the root zone consists of placing drip hoses below the soil surface. The leaf scraping effect of tropical rain is invoked by dual flow nozzles placed in the ceiling. These nozzles have a lower flow that also increases the relative air humidity, which is essential for most tropical rainforest species to thrive. Both systems are controlled by a time switch and a humidity sensor.

The reverse osmosis (RO) technology produces demineralised water during a multi-stage filtration process. The first filter cartridge used is activated carbon, which dechlorinates the water and removes pesticides. The RO technology then fully softens the water by exchanging calcium (Ca) and magnesium (Mg) ions with sodium (Na) ions. The presence of sodium in the water prevents limescale from forming. The last major stage is membrane filtration, which separates 99–99.9% pure H_2O from the other remaining minerals, which are discharged to the outlet. For a better understanding, an example can be given with an input conductivity of 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (drinking water has a limit of 1 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$), where the resulting value after using industrial reverse osmosis oscillates between 1–10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. This value is also influenced by the set pressure on the membrane, usually in the range of 5–11 bar, and, last but not least, by the temperature of the water used. Higher temperature multiplies higher efficiency. Normally the inlet water temperature for RO systems does not change and remains at the inlet values. The individual elements are then removed at the same efficiency ratio - e.g. 100 mg/l of chlorides drops to 0.1–1 mg/l in the resultant outflow. With the rate of mineral removal, the water also changes its pH downwards to a final acidic pH value of 4–6, depending on the input values of the water used. Water at acidic levels of hydrogen ions puts a greater burden on the metal parts of the distribution system's piping, therefore it is best to use inert plastic or stainless steel components.

Demineralised water thus operates at low pressure. It is pumped into a storage drum, from which a pump is used to increase the pressure required in the spray nozzle system to ensure air humidity.

Due to the fact that the reverse osmosis technology, including the softening filter, also produces a certain proportion of wastewater, which only has a higher concentration of minerals that do not, however, cause water hardness, it was proposed using it for plant irrigation. The wastewater is therefore also collected in tanks, from which it is then pumped into the soil drip irrigation system.

Given that in summer and winter there is a mutual difference in water consumption between spraying (humidification) into the air and the ground irrigation of plants, it was necessary to ensure the waste water tank was automatically refilled with water from the mains water. When the reverse osmosis system does not produce or produces less demineralised water during the winter months and there is more water consumption for substrate irrigation, the automatic system adds unfiltered mains water to the tank for the ground irrigation. Should the opposite be the case, this state of affairs has also been taken into consideration. When the wastewater storage tank is full and the reverse osmosis system needs to produce water for humidification, the automation will channel the wastewater from the RO technology to the sewer to prevent flooding. If the RO technology breaks down, the system will automatically (or manually) switch to at least softened water for air humidification. A GSM module can be added to the technology to report system statuses or possible faults.

Substrate

The pedological conditions in the humid tropics are typically a low soil profile and, due to constant soil leaching combined with high organic matter from leaf cast, the resultant organic matter is poorly distributed. No commercially supplied product meets the conditions for this type of substrate, including its extended 'lifetime' (unlike in a container, it is not possible to replace it frequently as the quality changes). It was therefore decided to mix components that meet the requirements of slow decomposition, high air content and water retention.

Materials such as coir, white, hand-cut and fibrous peat bricks, zeolite, pumice and clay minerals fulfil these parameters. Consequently the composition of the substrate was made in the following proportions: white peat 40%, black peat 20%, peat fibre 10%, coir 15%, Lignofibre® 15%, pine chips 15%, clay 100 kg/m³, compost 0.7 kg/m³, Osmocote 12 month 3.5 kg/m³, keratin 2 kg/m³, triple superphosphate 200 g/m³, coarse ground limestone 2 kg/m³, wetting agents 500 ml/m³. Subsequently, 2–5 mm fraction pumice and 2–8 mm fraction lava were mixed into this mixture.

The structure of the white peat extracted by hand-cutting (in the form of bricks), pine chips and the addition of Lignofibre® improve the substrate's physical properties, especially its drainage capacity, incompressibility and ensure it has a high proportion of air and organic matter. Lignofibre® is shredded wood fibre impregnated against decomposition with a long lifetime. Water retention is achieved by adding black peat and clay, which replaces the humus and mineral components whilst also increasing the sorption complex. The ground limestone provides a buffering function and therefore a stable pH. The substrate is treated by steaming to eliminate pathogens and weed seeds.

A surface mulch of dried leaves from tropical plants, mostly figs (genus *Ficus*) was placed on the substrate. Part of it was shredded and the rest was left whole. The reason behind this unusual choice of material was to aesthetically evoke a rainforest atmosphere, but also to allow the organic matter to gradually decompose naturally, with the release of humic acids.

Control system

Despite full automation using the intelligent measurement and control system from Sauter, it is not possible to leave any of the technology without constant human checks. Using the Sauter system, we manage and control the switching on and off of lights, the intensity of lighting, the lowering and raising of ramps and curtains. It also checks the temperature both in the exhibits and in the visitor area, the operation of the air conditioning and the air humidity.

Conclusion

Although there was extensive theoretical preparation in both plant composition and in the technologies ensuring the basic needs for plant life, it was not possible to predict with certainty how the entire artificial system would behave. Given the benefit of 16 months of hindsight after planting, it is possible to speak of success when assessing the functionality. The plant composition that was chosen created the impression of a lush tropical habitat. Thanks to the technologies used, the vegetation is thriving, even in its unnatural, urbanised conditions.

Thanks for increasing species diversity

Botanical and Zoological Garden of Pilsen
Botanical Garden of Charles University, Faculty of Science
Botanical Garden of Jarov Secondary Vocational School
The Prague Botanical Garden



Autorka Kateřina Chvostová osazuje truhlíky vegetační stěny v Rezervaci Dja
The author Kateřina Chvostová planting plastic planters on vegetation walls in Dja Reserve

Foto/Photo Petr Hamerník