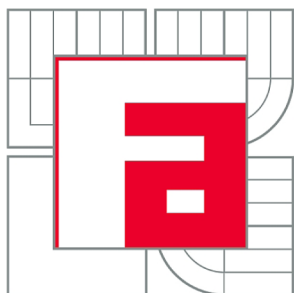


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ARCHITEKTURY
ÚSTAV ZOBRAZOVÁNÍ

FACULTY OF ARCHITECTURE
DEPARTMENT OF DRAWING

NOVÉ DIGITÁLNÍ METODY V PROCESU ARCHITEKTONICKÉHO NAVRHOVÁNÍ

NEW DIGITAL METHODS IN ARCHITECTURE DESIGNING PROCESS

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

SYLLABUS OF DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. arch. ADAM SIROTEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. arch. ZDENĚK MAKOVSKÝ

BRNO 2012

OBSAH

1	Úvod	3
2	Východiska a kritéria hodnocení projektů	3
2.1	Geometrie	3
2.2	Metody navrhování	4
3	Analýza projektů	8
3.1	Frei Otto – stanové konstrukce	8
3.2	Guggenheimovo muzeum, Bilbao, 1997	8
3.3	D-tower, 2004	9
3.4	Veletrh Miláno 2005	9
3.5	National Aquatics Center – Watter Cube, 2007	10
4	Návrh systému.....	11
4.1	Paralela	11
4.2	Schéma systému	12
5	Návrh CAD systému.....	13
5.1	Požadavky.....	13
5.2	Koncepce	13
5.3	Řešení, implementace	14
5.3.1	Vstupní geometrie.....	14
5.3.2	Modifikace vstupů.....	15
5.3.3	Sousednost, konektivita.....	15
5.3.4	Polygonální síť	16
5.3.5	Spojení dvou sítí	17
5.3.6	Regenerace polygonální sítě	17
5.3.7	Omezení, vlastnosti, pravidla	18
5.3.8	Iterace, aproximace	18
5.4	Funkce, algoritmy	18
5.4.1	Minimální plocha	18
5.4.2	Řetězovka	21
6	Závěr	25
	Publikace	26
	Prezentace	26
	Seznam vyobrazení	27
	Použité zdroje	28
	CV	29

ABSTRAKT

Tématem této dizertační práce jsou digitální metody v procesu architektonického navrhování, jejich analýza vývoj a aplikace.

Tato práce popisuje teoretická východiska užitečná k vytváření nových digitálních metod, systematicky popisuje existující metody a analyzuje jejich použití na různých projektech. V práci je popsán vývoj vlastních metod a ukázka jejich aplikací.

KLÍČOVÁ SLOVA

Architektura, geometrie, algoritmus, software.

ABSTRACT

The topic of this thesis is digital methods in process of architectonic designing, analysis, research and application of new methods.

This thesis describes theoretical sources, which are useful for creating new digital methods. Thesis systematically describes existing methods and analyzes application on various projects. In thesis is also described research of new, own methods and preview of application.

KEY WORDS

Architecture, geometry, algorithm, software

1 ÚVOD

1.1 CÍL PRÁCE

Cílem dizertační práce bylo popsat a analyzovat současné digitální metody v procesu architektonického navrhování. Dále byl cílem vývoj nových metod a jejich hodnocení, případná aplikace v architektonickém návrhu.

Metody architektonického navrhování by měly být v této práci hodnoceny systematicky dle kritéria množství a způsobu využití výpočetní techniky v jednotlivých fázích návrhu. Příklady v práci popisované by měly být doplněny ilustracemi konkrétních návrhů a staveb. Popisované metody by měly být zdokumentovány jak formou textu, tak ilustrativními schématy, popřípadě částmi programů.

Nově navrhované postupy a metody budou zdokumentovány ilustrativními schématy, částmi zdrojových kódů, popisem a grafickým zdokumentováním výstupů. Výstupy budou doplněny o analýzu z hlediska aplikace v architektonickém navrhování.

1.2 OBSAH A STRUKTURA PRÁCE

Práce je rozdělena do dvou základních částí. V první jsou systematicky rozebírány poznatky z různých oborů, které podstatně ovlivňují architektonické navrhování. Dále jsou popsány jednotlivé metody navrhování, algoritmy a používané struktury dat. Na závěr první části jsou vybrané návrhy a realizace hodnoceny z hlediska digitálního navrhování a rozebrán proces jejich vzniku.

Ve druhé části bude vysvětlen nově navrhovaný komplexní systém pro architektonické navrhování, jehož jedna část bude dokumentována podrobně i s testovacími úlohami.

2 VÝCHODISKA A KRITERIA HODNOCENÍ PROJEKTŮ

2.1 GEOMETRIE

V této kapitole jsou popsány jednotlivé geometrické objekty užívané při digitálním navrhování z hlediska analytické geometrie a aplikace v softwarech. Vysvětlování probíhá od jednoduchých objektů až po velmi složité.

- Přímký
- Kuželosečky
- Prostorové objekty
- Parametrické lineární objekty
- Parametrické plošné objekty
- Parametrický prostorový objekt

2.2 METODY NAVRHOVÁNÍ

2.2.1 Digitální forma klasického kreslení

Základní metodou je digitální kreslení. Na procesu architektonického navrhování se po zavedení digitálního kreslení v principu nemusí nic měnit. Myšlenkový proces zůstává zcela stejný, pouze prostředky, jimiž se architekt vyjadřuje, se lehce mění. Digitalizace přináší do výkresů přesnost a geometrickou dokonalost. Některé postupy se výrazně zrychlují, jiné se naopak zbytečně komplikují.

2.2.2 Navrhování s využitím složitých geometrických prvků

S vývojem grafických softwarů jsou nabízeny i nové možnosti a geometrické prvky, kterých lze využít. Jako příklad zde uvedu NURBS křivky a objekty (viz kapitola 2.1). Tyto objekty mají sice velmi složitý matematický zápis a komplikovanou geometrickou podstatu, jsou ale navrženy tak, aby byly jednoduše ovladatelné a práce s nimi přehledná. Pro běžného uživatele tak není vůbec nutné jejich studium či pochopení. Příkladem softwaru, který je přímo založen na práci s NURBS křivkami je program Rhinoceros. Jeho ovládání je natolik jednoduché, že se dá nazvat intuitivním. Otevřela se tak cesta k masovému navrhování zakřivených objektů.

2.2.3 Parametrická architektura

Principem parametrické metody návrhu je automatická modifikace vlastností navrhovaného objektu bez nutnosti celý návrh znovu kreslit.

Navrhovaný objekt je definován jako logicky provázaná struktura parametrických objektů a jejich parametrů – modifikátorů. Změníme-li v průběhu návrhu některý parametr, změna se projeví na všech objektech, které jsou na parametru závislé.

Metoda je velmi účinná, protože pomocí jednoho parametru můžeme měnit více podobných objektů najednou. Největším přínosem je ale možnost měnit skupiny parametrických objektů na základě pravidel každý trochu jinak.

2.2.4 Architektura v pohybu

V této skupině metod je důležitým vstupem pohyb, tedy závislostí prostoru a času. Ve všech "pohybových" metodách je tedy v nějaké formě obsažena složka času.

Mechanický pohyb

Klasické Newtonovské pojetí času a pohybu. Objekty, nebo jejich části se pohybují po trajektoriích v trojrozměrném prostoru v čase. Metody jsou založeny na snímání - sledování pohybu a na analýze pohybu.

Motion capture - zachycení pohybu, metoda je založena na způsobu získávání vstupních dat z reálného světa a jejich aplikaci v digitálním prostředí. Systém byl vyvinut (nepočítám-li armádu) pro animaci ve filmovém průmyslu. Snímače polohy

umístěné na klouby pohybující se osoby předávají dostatečnou digitální informaci o pohybu člověka. Na základě těchto informací je možné takový pohyb zopakovat i v digitálním prostředí. Jacksonův videoklip s tančícími kostlivci je založen právě na této metodě.

V architektuře se tento postup používá k prověřování chování lidí v prostoru, sledují se trasy jejich pohybu, prostor, který při pohybu potřebují, jejich interakce. Analýzou takových dat je možné prověřit vhodnosti různých prostorových řešení a ergonomicky je poté upravit.

Kinematická architektura

V této metodě není pohyb chápán jako pohyb hmotného reálného tělesa, pohyb je používán jako prostředek sloužící k návrhu objektů. Princip spočívá v rozpohybování dvourozměrných objektů po libovolné trajektorii v prostoru. Po určitých časových úsecích je poloha 2D objektu zapsána. V této fázi proces připomíná natáčení na kinofilm, kde je pohybující se objekt zachycen v různých polohách na jednotlivá políčka filmu. Výsledný 3D objekt vzniká propojením sekvence 2D příčných profilů do jednoho celku. Geometrický princip tohoto propojení bývá nazýván rybí kost. Časová složka je tak transformována do prostorových dimenzí. Výsledný objekt je statický, pohyb je ukryt v jeho genezi.

Metamorfická architektura

Stejně jako v předchozí metodě, je skryt pohyb v genezi objektu. Na rozdíl od kinematické architektury je zde deformován trojrozměrný objekt v závislosti na čase. Proces je nazýván "morphing". Spočívá v definování výchozího stavu, konečného stavu, případně klíčových mezistavů objektu v čase. Jednotlivé klíčové stavy jsou definovány pomocí jednoduchých transformací počátečního objektu. Následně je vypočítán plynulý průběh transformace objektu od počátečního stavu přes předdefinované klíčové momenty až do stavu konečného. V tuto chvíli je objekt čtyřrozměrný, má podobu animace. Výsledný objekt je definován jako trojrozměrný řez čtyřrozměrného objektu – jednodušeji řečeno: stačí vybrat polohu na časové ose, ve které nám 3D objekt vyhovuje.

Pro práci touto metodou doporučuji využití softwaru 3D studio MAX, který je primárně vyvinut pro vizualizace a animace. Algoritmy pro práci s klíčovými momenty (keyframes) a pro výpočet plynulých transformací jsou již v programu obsaženy.

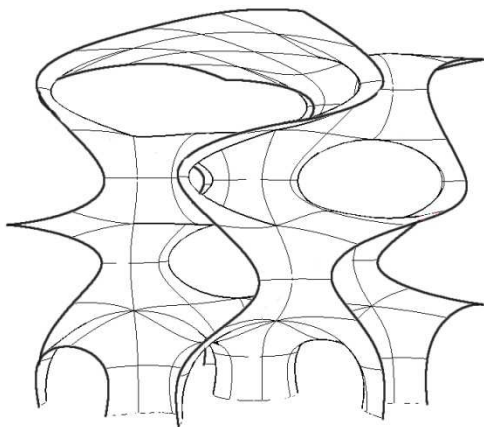
Vnitřní pohyb

Poslední skupinou objektů, jejichž definice v sobě ukrývá pohyb a složku času, zde nazývám vnitřní pohyb. Tak jako v posledních dvou metodách byl čas ukryt v procesu tvorby, v této variantě bude ukryt ještě o něco hlouběji, v samotné podstatě objektů, v geometrických definicích. Nejde ani tak o metodu jako spíš o matematický či geometrický princip, který může celou práci ovlivnit a definovat.

Pracuje se zde s geometrickými objekty na bázi infinitezimálního počtu. Vždy jde o křivky a plochy, jejichž vlastností je kontinuita, u všech je vlastností tok v čase.

Kontinuální plochy

Pro znázornění jsem jednu takovou strukturu definovanou jednou kontinuální plochou vyrobil (ortogonální řezy jsou definovány spline křivkami 3°, plochy NURBS). Objekt není vytvořen pomocí algoritmů, je definován pomocí jednotlivých ručně definovaných řezů budoucím objektem, podobnost s objekty vzniklými algoritmicky byla žádoucí.



obr. 01 kontinuální plocha

Celý objekt definován jako jedna parametrická plocha. Každý bod parametrické plochy je definován jako pohybující se po ploše - jeho parametrem je poloha v prostoru závislá na řídicích časech (u a v). Můžeme tedy objekt chápat jako pohybující se, pohyb je však ukryt hluboko v definici.

Tekoucí prostor

Posuneme-li se v definici o řád výše a najdeme definici pro bod pohybující se v trojrozměrném objektu (nikoli pouze po ploše), budeme-li schopni takový objekt navrhnout, pak jej můžeme nazývat tekoucím prostorem. Pohyb bodu v objektu bude definován ve třech řídicích směrech (nikoli totožných s naším souřadným systémem) v závislosti na třech různých časech. Výsledkem je komplikovaný volumetrický objekt se složitými vnitřními geometrickými pravidly.

2.2.5 Matematicky definovaná architektura

Metoda je z pohledu matematiky přehledná a jednoduchá. Na základě jednoduchých matematických rovnic a jejich kombinací jsou definovány komplexní geometrické tvary. Z hlediska geometrie je metoda trochu složitější, musíme být totiž schopni si uvědomit, co která matematická rovnice znamená, a jak s ní zacházet. Z pohledu architektury je pro nás metoda výzvou, protože nám přináší nepřeberné množství nových tvarů. Schopnost pracovat s nimi je však bohužel většinou podmíněna hlubokými znalostmi matematiky a geometrie.

2.2.6 Algoritmické metody

Metoda je založena na automatickém zpracování vstupních dat pomocí algoritmů do výsledné podoby. Pomocí algoritmů můžeme definovat chování jednotlivých zpracovávaných objektů, jejich vzájemné vztahy, transformace nebo např. výskyt.

Základem algoritmů jsou jednoduché rovnice, z kterých je algoritmus poskládán do logické struktury. Většina algoritmů je větvených, na základě vstupních dat se rozhoduje, kterou cestou ve struktuře se proces výpočtu ubírá.

Architektura vytvořená pomocí algoritmické metody vzniká naprogramováním struktury, která řeší požadované úkoly. Čím je algoritmus obecnější, tím větší jsou jeho možnosti, na druhou stranu je i složitější

Výhodou metody je fakt, že na základě stejných vstupů vždy dostaneme stejný výsledek. Výsledek je generován automaticky.

Nevýhodou metody je nutnost znalosti alespoň základních principů programování.

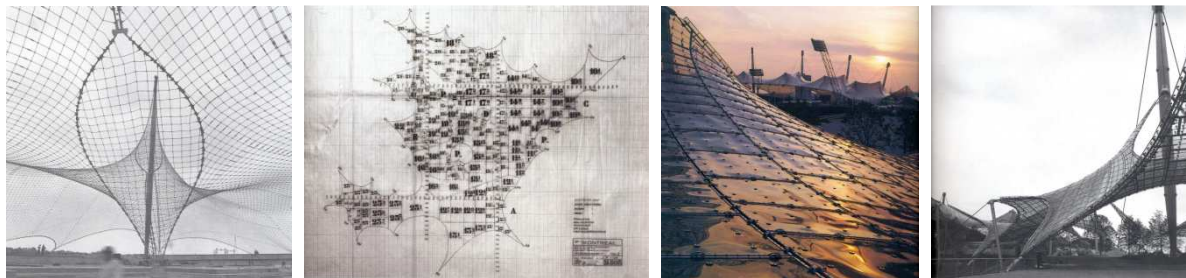
2.2.7 Evoluční architektura

Evoluční architektura je založena na genetických (evolučních algoritmech). Proces návrhu je obdobou Darwinovy teorie o vývoji druhů, ale je aplikován na vývoj architektonických objektů.

Vývoj druhu (v případě architektury objektu) začíná od tzv. nulté populace, kterou ručně definujeme. V populaci máme jedince – objekty, u nichž si všímáme některých jejich vlastností. Poté definujeme základní transformace, které mohou tyto vlastnosti měnit. První generace obdobně jako v přírodě vzniká reprodukcí a křížením, populace se rozroste o nové jedince, jejichž vlastnosti jsou buď shodné s rodiči, nebo kombinací vlastností rodičů. U některých jedinců jsou vlastnosti náhodně lehce pozměněny – jedinci jsou mutováni. Na základě hodnocení vlastností (fitness) jsou vybráni jedinci, kteří nejvíce vyhovují danému účelu. Vybraní jedinci jsou určeni pro rozmnožování a stávají se rodiči další generace. Vývoj je ukončen buď dosažením požadovaného cíle, nebo je zastaven v n-té generaci a je vybrán finální nejvýhodnější jedinec.

3 ANALÝZA PROJEKTŮ

3.1 FREI OTTO – STANOVÉ KONSTRUKCE



obr. 02,03 Německý pavilon, Expo '67, Montreal obr. 04,05 Olympijský stan, Mnichov

Jeden z prvních zásadních projevů nástupu digitálních technologií do procesu architektonického navrhování. Lanová konstrukce navržená Frei Ottem a Rolfem Gutbrodem pro Expo '67 v Montrealu a následně podobný princip realizovaný v Mnichově v letech 1968-72 v kooperaci Günter Behnisch & Partner a Frei Otto.

Oba návrhy vycházejí z geometrie "four-point-tents" /cit. Architecture in Twentieth Century, Tashen, str.319/, tedy parabolických hyperboloidů. Statické výpočty definující tvar konstrukce již byly prováděny digitálně, výkresová dokumentace je provedena ručně.

3.2 GUGGENHEIMOVO MUZEUM, BILBAO, 1997



obr. 06-08 Gehry, Guggenheimovo muzeum, Bilbao

Frank Gehry bývá velmi často zmiňován jako průkopník digitálních forem architektury. Svěbytným způsobem ve svých dílech propojil přístup sochařský a přístup digitální. Zakřivené objekty vznikají současně v reálném provedení ve formě hliněných (a jiných) modelů i ve 3D digitální formě. Nelze určit, co bylo první, přesná geometrická definice zakřivených ploch je ale důkazem, že finální forma návrhu je čistě digitální.

V procesu návrhu se tak objevuje hned několik metod, které dříve nebyly používány. Z reálných modelů jsou informace snímáním přenášeny do digitální formy, modely jsou vytvářeny na základě digitálních dat. Prostorově složité konstrukce jsou vyráběny na míru na základě 3D digitálních dat, montáž prvků na místě určována s pomocí GPS.

3.3 D-TOWER, 2004



obr. 09-11 Lars Spuybroek – NOX a Q.S.Serafijn, D-Tower, Doetinchem

Další z odkazů na práci Frei Otto a Antoni Gaudího. Tvar objektu vychází z chování vznášejícího se balónu upnutého na lanech (Otto Frei – Pneus in Nature and Technics, 1977). Návrh byl generován v obrácené poloze (obdobný princip jako u A. Gaudí), připomínal tak nákupní tašku. Tvar je výsledkem fyzikálního modelování – vztahu nafukované konstrukce a tažných lan. Původní tvar byl plně symetrický, v průběhu byly symetrie uvolňovány, tvar byl průběžně iterativně dopočítáván. Výsledný objekt je prověřen metodou konečných prvků.

Jednotlivé laminátové díly jsou vyrobeny na formách vyfrézovaných z polystyrenové pěny CNC frézami.

Objekt je doplněn Led diodami, které v noci svítí různými barvami. Barvy se interaktivně mění na základě dat z internetové stránky, která vyhodnocuje nálady obyvatel ve městě.

3.4 VELETRH MILÁNO 2005



obr. 12-14 Massimiliano Fuksas, New Milan Fair Trade, Milano

Zřejmě největší realizace parametrické architektury, 1,5 km dlouhá zakřivená plocha tvořící osu mezi výstavními pavilony milánského výstaviště.

Plocha je definovaná algebraickými výrazy do podoby vln a kráterů. Na ploše je vygenerovaná trojúhelníková síť. Každý segment konstrukce má jiné rozměry, ale všechny jsou typologicky a parametricky shodné.

Návrh a výroba tohoto objektu jsou ukázkou nových možností parametrického navrhování. Řádově stovky tisíc skleněných ploch a ocelových nosníků, každý s jinými rozměry bylo navrhováno jako jediný celek. Všechny podobné prvky byly vyrobeny stejnou technologií. Každý prvek je osazen na své unikátní místo.

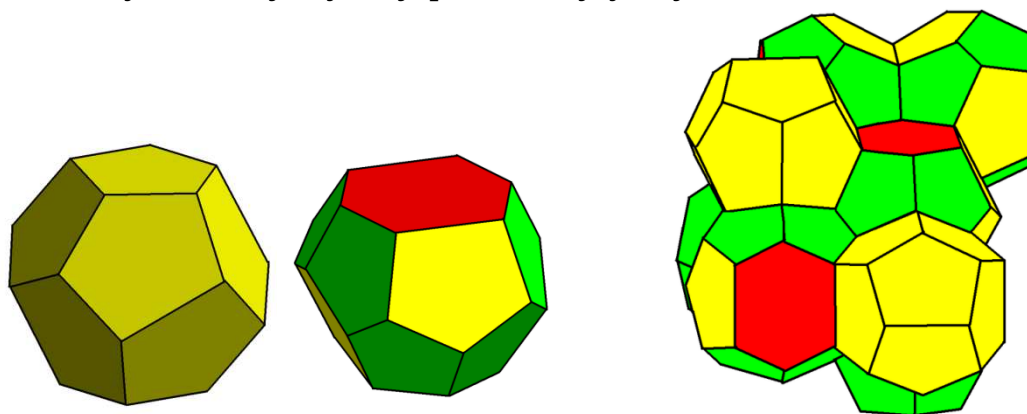
3.5 NATIONAL AQUATICS CENTER – WATER CUBE, 2007



obr. 15 PTW Architects, CSCEC, CCDI, Arup, Peking

Plavecký stadion je na první pohled nesmírně složitou a nepravidelnou strukturou bez jakékoli symetrie a řádu. Asi by tomu tak i bylo, kdyby v roce 1993 fyzikové Weaire a Phelan nezkoušeli vylepšit Kelvinovo řešení vyplnění prostoru stejně velkými objekty při minimálních styčných plochách. Počítačovou analýzou s pomocí Voronoi – algoritmu došli k řešení, které se nazývá Weaire–Phelanova struktura.

Prostor je vyplněn polopravidelnými dvanáctistěny a čtrnáctistěny kde dvanáctistěn je tvořen pětiúhelníky a čtrnáctistěn dvěma šestiúhelníky a dvanácti pětiúhelníky. Oba objekty mají přitom stejný objem.



obr. 16-18 Weaire–Phelanova struktura

Výsledná kompozice se opakuje v ortogonální struktuře. Při aplikaci této struktury na plavecký stadion byla struktura vzhledem ke kostce otočena tak, aby symetrie nebyly na první pohled patrné a vznikl dojem nahodilé komplikovanosti.

Struktura byla oříznuta plochami kvádrů. Podobně jako u mýdlových bublin byl fyzikálně nasimulován tlak na stěny jednotlivých buněk, což vytvořilo výsledné vyboulení fasády.

4 NÁVRH SYSTÉMU

Na vývoji systému se v letech 2007 – 2009 podílelo volné sdružení tří lidí: Adam Sirotek, Rudolf Müller, Petr Soviš. V této sestavě jsme se věnovali myšlence plné digitalizace procesu návrhu architektury. Od roku 2009 není sdružení aktivní, na práci pokračuji sám. V této kapitole se pokusím prezentovat ideje, které během spolupráce vznikly.

4.1 PARALELA

Architektura je dnes obecně chápána jako synonymum pro stavitelství. V průběhu historie se vyvíjely formy a slohy, které odpovídaly stavu společnosti a dodnes poukazují na statut společnosti, závislý na politické, ekonomické, náboženské a sociální úrovni. Vždy je ale forma výsledkem ega jednotlivce nebo určité skupiny.

Tvrdíme, že architektura v základě pokrývá základní lidské potřeby na životní prostor. Pokud je uspokojíme, přichází nadstavba v podobě kulturního, duchovního, estetického vývoje společnosti.

Zmíněné potřeby můžeme rozdělit na biologické, které se dlouhodobě nevyvíjí, a na společenské, které souvisí se vzděláním a potažmo s vývojem technologií, jejichž rozvoj je překotný. Zjednodušeně od pazourku po virtuální realitu. V dnešní době je civilizovaná společnost již naprosto závislá na námi vytvořeném virtuálním světě, na světě počítačů.

Z toho se odvíjí i trend digitálního navrhování.

V podstatě ho můžeme rozdělit na dva proudy, z nichž jeden se ubírá směrem tupého využití 2D a 3D nástrojů, jichž je nepřeborné množství a je zde celkem problematická kompatibilita. Tento směr pouze spočívá ve využití PC jako tužky.

Další postup, kterému s trochou nadsázky můžeme říkat digitální architektura, se baví parametrickým navrhováním, genetickými algoritmy apod. Jsou při tom využity stejné nástroje, přičemž jsou do nich implementovány nadstavby v podobě scriptů a plug-inů. Ambicióznější projekty vytváří unikátní prostředí s vlastními algoritmy... Můžeme konstatovat, že u většiny těchto projektů jde zejména o hledání nových prostorových forem, přičemž vnitřní členění je znova podřízeno lidským potřebám, potažmo stavebnímu programu a je závislé na lidském vstupu. Ojediněle najdeme i výjimky, kde je celý prostor včetně interiéru tvořen “parametricky”. Do

jisté míry jde ale jen o empirické pokusy. Neustále se ale hledají důvody proč jít touto cestou a potažmo nová východiska.

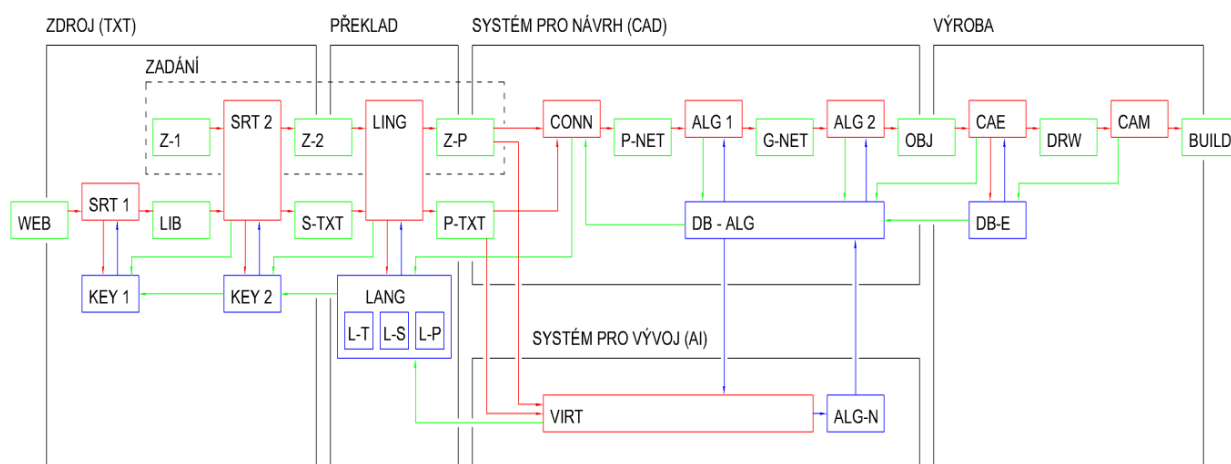
My jsme hledali východiska jinde než v hledání nových forem za využití stávajících systémů. Inspiroval nás současný stav společnosti a její závislost na technologiích. Důležité je přiznat si tuto závislost i vzhledem k tomu, že jsme její součástí. Dále to byla příroda, kde můžeme uvést jako příklad živý organismus, který obsahuje genetickou informaci – predispozice a základní vzorce pro přežití. V neposlední řadě to je lidské myšlení, které se vzhledem k vzdělání neustále vyvíjí.

Zjednodušeně řečeno chceme vytvořit digitální paralelu k lidskému myšlení. Využít schopnosti asociativní paměti, analýzy a syntézy. Je zde ovšem jeden velmi těžko dosažitelný aspekt a to cítění. Dnes využívá virtuální svět vědomostí zejména jeho tvůrce, člověk. Chceme vytvořit nový systém, kterému nadefinujeme základní predispozice a budeme ho učit. Dále ale dokáže samostatně využívat informace z virtuálního světa a na jejich základě se vyvíjet, učit se bez dalšího lidského vstupu.

4.2 SCHÉMA SYSTÉMU

Prvotní myšlenkou, která definuje strukturu navrhovaného systému, je tvrzení, že počítač bude vždy dělat jen to, co ho naučíme. Program nikdy nebude chytřejší než jeho tvůrce. Může být ale rychlejší, přesnější a pracovat s větším množstvím dat.

Struktura systému je tedy navržena jako digitální obdoba lidského procesu navrhování.



obr. 20 Schéma systému – obdoba procesu architektonického navrhování člověkem

Celý systém je rozdělen do několika propojených podsystémů. Na počátku jsou zdroje, zadání projektu a informace potřebné pro samotný návrh. V další části jsou prvotní informace tříděny a analyzovány. Třetí část se věnuje samotnému navrhování staveb. Poslední částí je výroba – realizace. Navíc je systém pro navrhování podporován samostatným systémem pro vývoj – teoretickou podporou, výzkumem, vývojem.

5 NÁVRH CAD SYSTÉMU

Po sérii pokusů s parametrickým, genetickým a matematicky definovaným designem jsem se rozhodl vytvořit objekt, se kterým by šlo všemi těmito metodami pracovat. Objekt natolik obecný, aby jím bylo možné vyjádřit architektonické dílo.

5.1 POŽADAVKY

- Široký okruh vstupní geometrie
- Tvarová přizpůsobivost objektu
- Parametrická přizpůsobivost
- Analýza vlastností
- Interaktivní reakce

5.2 KONCEPCE

1. Objekt bude primárně definován jako plocha v trojrozměrném prostoru.

Rozhodoval jsem se mezi třemi variantami.

Definovat objekt jednorozměrně (čárově) – z hlediska programování je tato varianta úsporná, čárově jdou poměrně dobře a komplexně vyjádřit pouze objekty definované ve dvourozměrném prostoru - např. dispoziční řešení, půdorys patra... U trojrozměrných objektů, a architektura je definována ve třech rozměrech, začíná být definice nedostatečná.

Další možností bylo vytvořit objekt plošný. Z hlediska programování geometrie a matematiky je tento přístup řádově složitější. Umožňuje vyjádřit prakticky kompletní škálu prostorových objektů, objekt lze snáze analyzovat, trojrozměrné objekty je možno kvalitně zobrazit. Plošná definice neumožňuje přímou práci s volumetrickými objekty.

Třetí variantou byla práce s volumetrickým objektem. Z hlediska množství užitečných informací, které by byly součástí objektu je tento přístup ideální, časová náročnost tvorby programu značná. Po několika pokusech s volumetrickými objekty jsem raději tuto variantu opustil. Nesplňovaly jeden ze základních požadavků – nebyly dostatečně interaktivní. Lidský vstup do geometrie byl jen velmi omezený, komplikovaný a neumožňoval zpětnou vazbu.

2. Plocha bude definována jako trojúhelníková síť.

Zase bylo na výběr více variant. Pro definici zakřivených ploch byla vyvinuta geometrie NURBS. Tyto plochy jsou bohužel zásadně definovány na základě řídicí sítě ve čtvercové soustavě. Požadavky na objekt jsou výrazně obecnější oproti možnostem, které NURBS poskytují.

Rozhodl jsem se proto pro interpretaci plochy trojúhelníkovou sítí. Vnitřní struktura je na rozdíl od NURBS výrazně matematicky jednodušší a mohu ji od

počátku definovat sám. Struktura je natolik jednoduchá, že prakticky nemá tvarová omezení.

3. Prostředí, programovací jazyk.

Výchozím zobrazovacím softwarem je Rhinoceros. Používám jej zvláště pro jeho otevřenou a zveřejněnou vnitřní strukturu, strukturu objektů, s nimiž pracuje.

Grasshopper – plug-in pro Rhinoceros, ideální prostředí pro práci s parametrickými objekty. Program se velmi rychle vyvíjí, programátoři jsou schopni a dokonce ochotni reagovat na nové požadavky uživatelů.

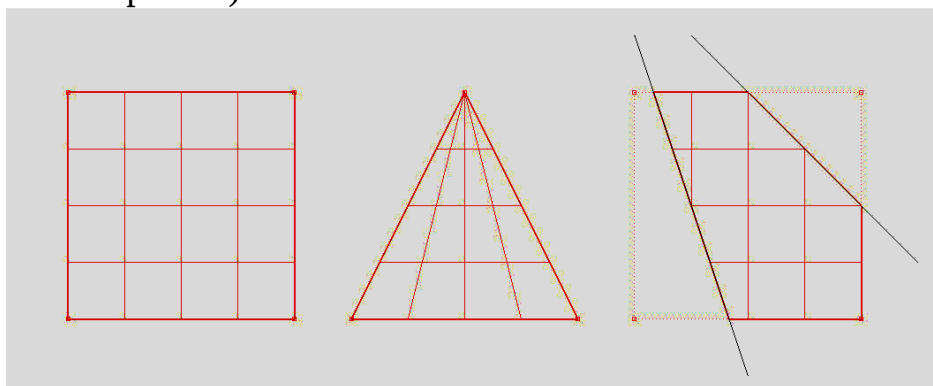
VBScript – jednoduchý a přehledný programovací jazyk. Je natolik jednoduchý, že téměř není třeba se jej učit, stačí psát. Grasshopper umožňuje ovládat objekty i pomocí VBScriptu.

5.3 ŘEŠENÍ, IMPLEMENTACE

5.3.1 Vstupní geometrie

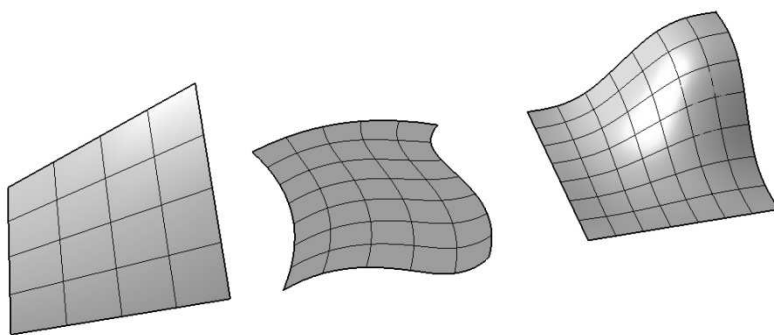
Na základě požadavku, aby byl okruh vstupní geometrie pokud možno co nejširší, obecný, jsem analyzoval možné geometrické vstupy.

Vzhledem k prostředí Rhinoceros jsou ideální a dostatečně obecné plochy NURBS. Ty potom dělím na plochy se základní definicí (plochy se čtyřmi hranami, odpovídajícími původním definičním hranám), plochy degradované (plochy se třemi hranami, ale definicí čtyř hran) a plochy modifikované (vznikají ořezáváním původních ploch, mají libovolný počet hran – definice zůstává čtyřhranná, a je mimo výslednou plochu). Viz obr. 21.



obr. 21 NURBS – 4E, 3E, Trim

Vstupní objekty jsou definovány jako NURBS plochy, to umožňuje práci s širokou škálou různě křivých ploch.



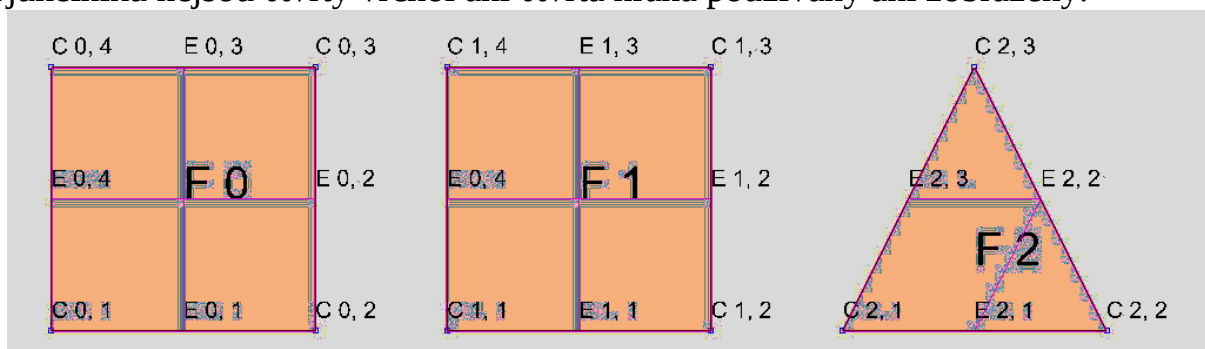
Obr. 22 NURBS – křivé

5.3.2 Modifikace vstupů

Pro dostatečnou šíři definice vstupních objektů by pochopitelně nestačila jediná plocha, proto vzniká první algoritmus, který pracuje s více různými plochami a zapojuje je do jedné kompaktní struktury.

Jednotlivé plochy lze do struktury kdykoli přidávat a odebírat. Co je však mnohem důležitější, při modifikaci či vymazání vstupní plochy algoritmus automaticky reaguje na provedené změny.

Zde se začíná tvořit základní struktura budoucího objektu. Základní struktura je složena z jednotlivých vstupních ploch (Face / F) – primárního členění struktury. Každá plocha má čtyři hrany (Edge / E) a čtyři vrcholy (Corner – C). V případě trojúhelníku nejsou čtvrtý vrchol ani čtvrtá hrana používány ani zobrazeny.

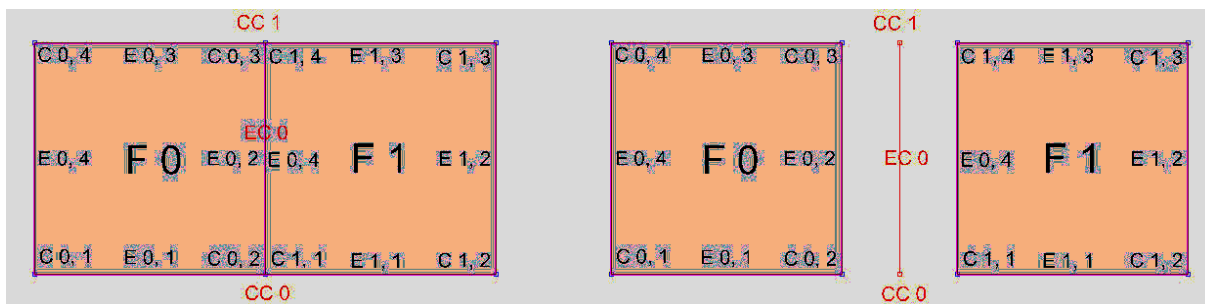


obr. 23 Face, Edge, Corner, (FEC)

Faces, Edges a Corners jsou uloženy v programu Rhinoceros, Struktura je tvořena seznamy odkazů na tyto objekty a seznamu dalších informací (např. počet hran). Seznamy jsou ukládány externě ve formátu *.txt. Při přidání nebo odebrání plochy jsou seznamy aktualizovány.

5.3.3 Sousednost, konektivita

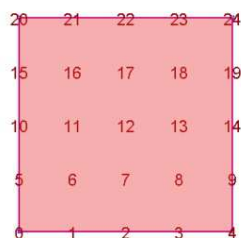
V případě, že se plochy dotýkají hranami, jsou automaticky propojeny ve struktuře novými vztahy. Jsou vytvořeny hrany a vrcholy, kde se plochy stýkají.



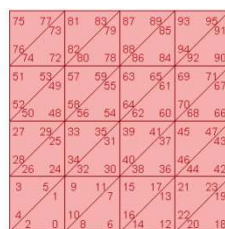
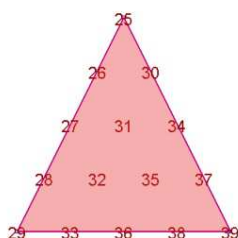
obr. 24 EC, CC

5.3.4 Polygonální síť

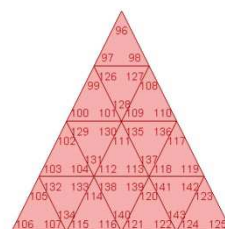
Na základě vstupní geometrie (NURBS Plochy) je vygenerována na každé ploše polygonální – trojúhelníková síť (Mesh). Struktura je tvořena vrcholy (MV) ve kterých se potkávají rohy jednotlivých trojúhelníků (MC).



obr. 25 MV

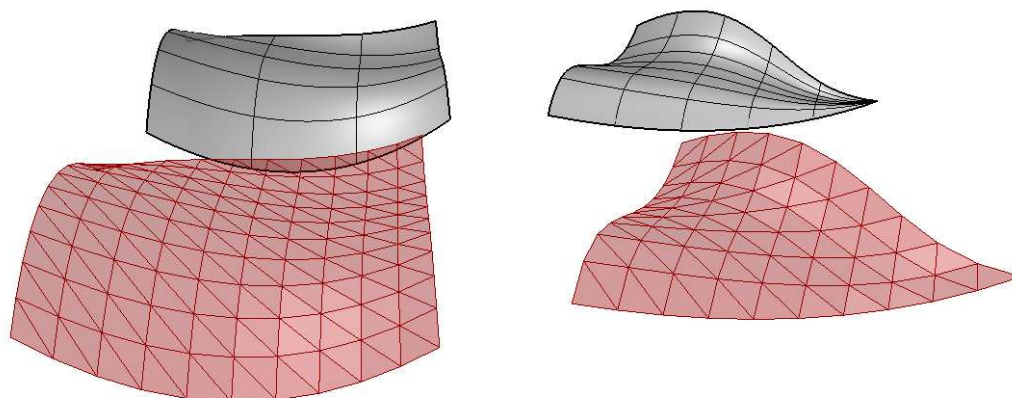


obr. 26 MC



Body jsou vygenerovány na základě okrajových podmínek vstupních NURBS ploch (Face). Byl zvolen jiný algoritmus pro polygony o čtyřech hranách a jiný pro trojúhelníkové. U trojúhelníků tím byl odstraněn problém se čtvrtou, potlačenou hranou v definici NURBS. U čtverců bylo možné použít v algoritmu přímo definici NURBS plochy, u pseudotrojúhelníkových ploch jsem byl nucen vyvinout nové diferenciální rovnice plochy s vícesměrným pohybem v ploše.

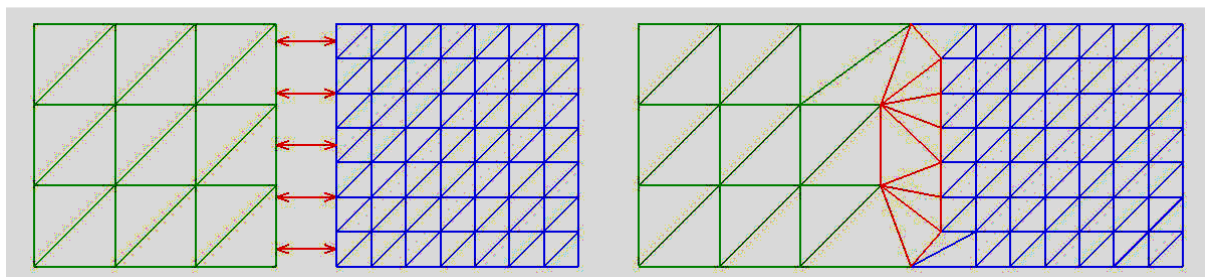
Nyní je převedena většina NURBS ploch do podoby parametricky rovnoměrných trojúhelníkových sítí.



obr. 27 Mesh Generate

5.3.5 Spojení dvou sítí

Tak jako byly propojeny vstupní plochy v datové struktuře, nyní je zapotřebí propojit i vytvořené sítě. Jednotlivé plochy mohou mít síť různě deformovanou, mezi hranicemi ploch jsou tolerovány menší mezery – nepřesnosti, případně může být i síť v průběhu práce odsunuta mimo původní hranice plochy. Z toho důvodu jsem napsal trochu složitější algoritmus, který mezi dvě plochy (obecně starou a novou) vytvoří novou síť, kterou se obě plochy propojí. Nová síť se poté stává součástí jedné z ploch.

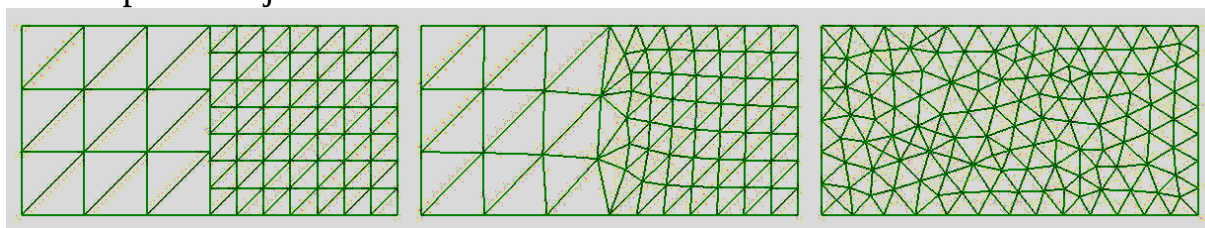


obr. 28 Mesh - Connect

Algoritmus je napsán tak, aby vyhledával nejmenší možné trojúhelníky mezi dvěma hranami. Nejmenší nejsou reálné délky hran ale parametrické vzdálenosti. Algoritmus je tak schopen vyhledat i prostorově komplikovaná řešení a nevádí mu ani vzdálenosti nulové.

5.3.6 Regenerace polygonální sítě

V mnoha případech nastává situace, kdy je trojúhelníková síť velmi nerovnoměrná. Některé algoritmy vyžadují alespoň přibližnou rovnoměrnost celé sítě, proto jsem vyvinul soustavu několika algoritmů, které v libovolný moment celou síť optimalizují.



obr. 29 Mesh Regen

Na obr. 29 je zachycena původní síť, jeden z mezikroků a síť optimalizovaná.

Základem optimalizace jsou dva algoritmy. První vyhledává trojúhelníky s příliš dlouhými hranami, které rozdělí. Druhý naopak vyhledá trojúhelníky s příliš krátkými hranami, které ze sítě eliminuje. Geometricky lze tento problém řešit poměrně snadno, problém spočívá v komplexitě struktury. Struktura obsahuje velké množství pevných vazeb, které je nutné při změnách nahradit.

5.3.7 Omezení, vlastnosti, pravidla

Pro každý vrchol (MV) v síti a pro každý trojúhelník je definován seznam pravidel, podle nichž se poté řídí jednotlivé algoritmy, které s předdefinovanou sítí pracují.

Prvním pravidlem – vlastností, které bylo definováno, je informace zdali se vrchol nachází na okraji plochy. Tato informace nám například umožňuje modifikovat celou síť, ale zachovat původní hranice objektu.

Další pravidla pro vrcholy nebo trojúhelníky mohou být doplňována v průběhu práce podle potřeb jednotlivých algoritmů. Pravidla se mohou definovat buď ručně – zadáním pro určité skupiny bodů, mohou být generována automaticky (např. informace o hranici), nebo jsou definována a upravována pomocí algoritmů, které si síť přizpůsobují pro vlastní potřebu.

5.3.8 Iterace, aproximace

Vlastní algoritmy pro práci s předdefinovaným objektem jsou založeny na posouvání jednotlivých bodů do polohy, která vyhovuje zadání.

Proces je založen na iteraci. V každém kroku je vyhodnocen směr pohybu každého bodu k ideálnímu stavu a body jsou posunuty o malý kousek. Obdobně se šíří i vlastnosti po ploše. V každém kroku se informace pokusí rozšířit na okolní trojúhelníky a je vyhodnoceno, je li to v souladu se záměrem.

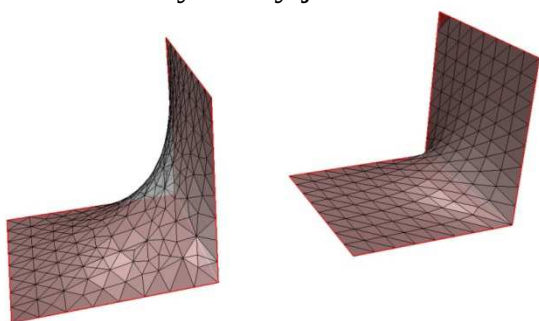
Po dostatečném počtu kroků je tak aproximován ideální výsledek. Celý proces je otevřený pro libovolné úpravy, na vygenerované řešení je možné aplikovat další, jiný algoritmus a objekt tak tvořit i postupně.

5.4 FUNKCE, ALGORITMY

5.4.1 Minimální plocha

Pro ukázkou fungování tvorby objektu, je nejjednodušším zadáním požadovat plochu minimální. V rámci okrajových neměnných podmínek (hranice plochy) je vygenerována plocha s minimálním obsahem.

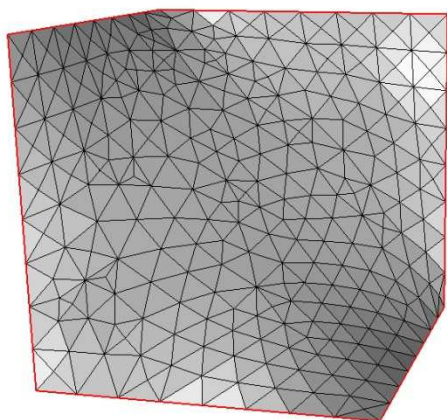
Existují dvě metody – plocha je definována jako drátová síť a minimalizují se délky drátů. Druhá metoda pracuje s plochami a minimalizuje reálné plochy trojúhelníků. Výsledky jsou lehce odlišné.



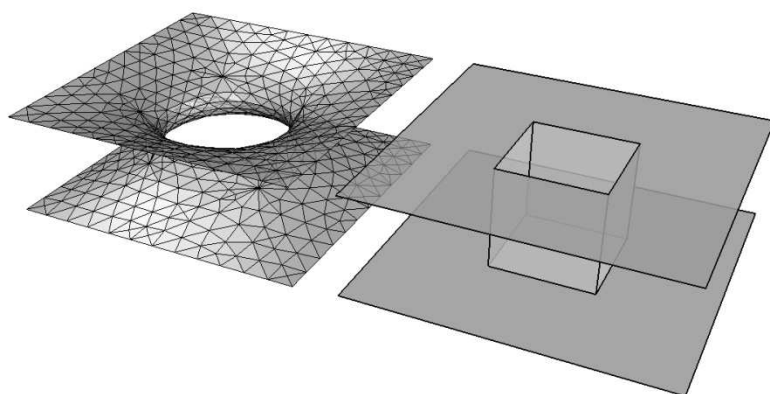
obr. 30 Minimální plocha – dvě varianty

Na obr. 30 jsou znázorněny na nejjednodušších případech dvě řešení minimálních ploch. Na pravém výstupu je výpočet založen na porovnávání reálných délek hran, pracuje s drátovým modelem. Na levém obrázku je algoritmus založen na porovnávání obsahu ploch v blízkosti bodu, pracuje tak s plnohodnotnou plošnou informací.

Rozdíl mezi oběma výstupy spočívá v závislosti na vnitřní struktuře plochy. V pravém případě jsou síly v ploše vedeny pouze po drátech. Struktura drátů je tedy určující. V levém případě síly probíhají přímo plochami, vnitřní členění tedy pro výsledek není určující. Plocha odpovídá principu membrány – mýdlové bublině.

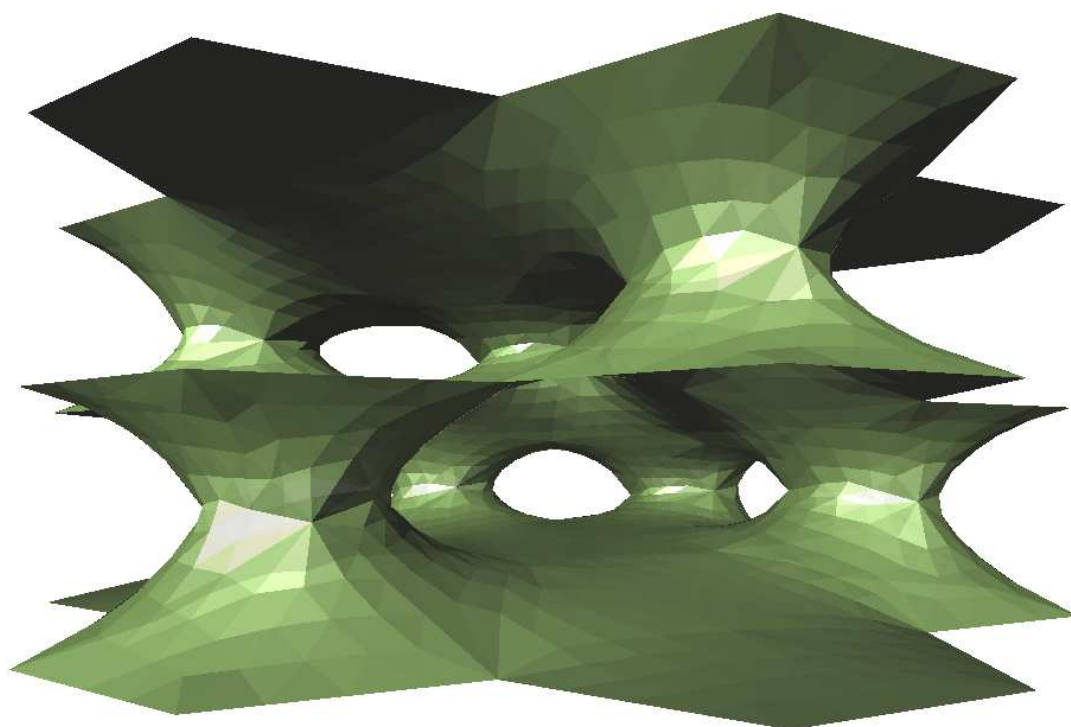


obr. 31 minimální plocha 2

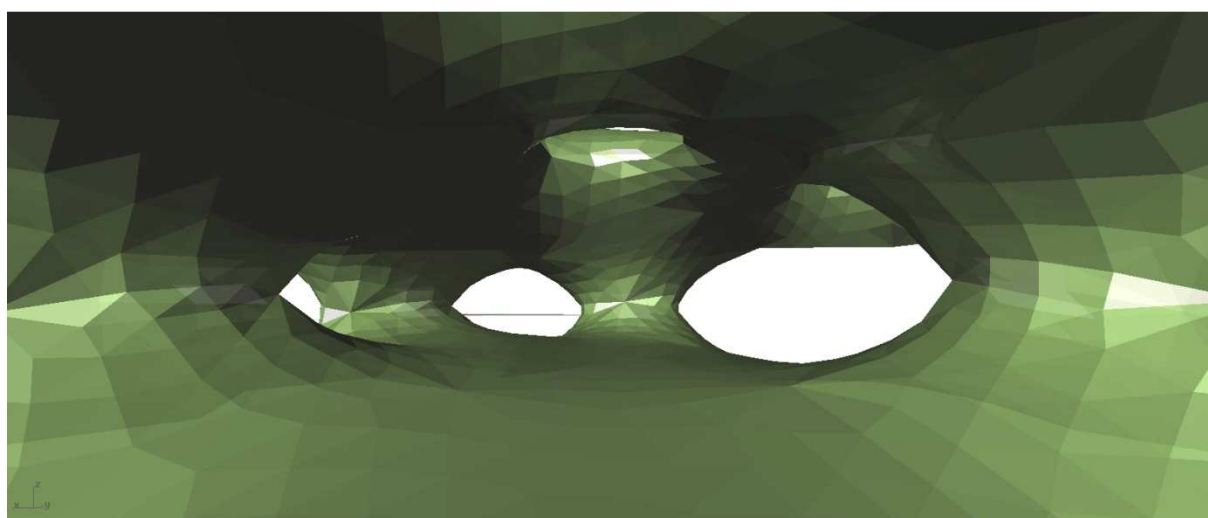


obr. 32 minimální plocha 3, výsledný objekt a vstupní geometrie

Obdobným způsobem lze vytvořit libovolně složitý objekt. Tento objekt (obr. 33, 34) není definován pomocí TPMS rovnic, objekt je vytvořen na základě jednoduché vstupní geometrie – přibližný tvar - a pravidla pro chování plochy. V tomto případě je plocha definována rovností tahových sil v každém bodě. Jde tedy o membránu nataženou mezi pevně stanovené hranice objektu.

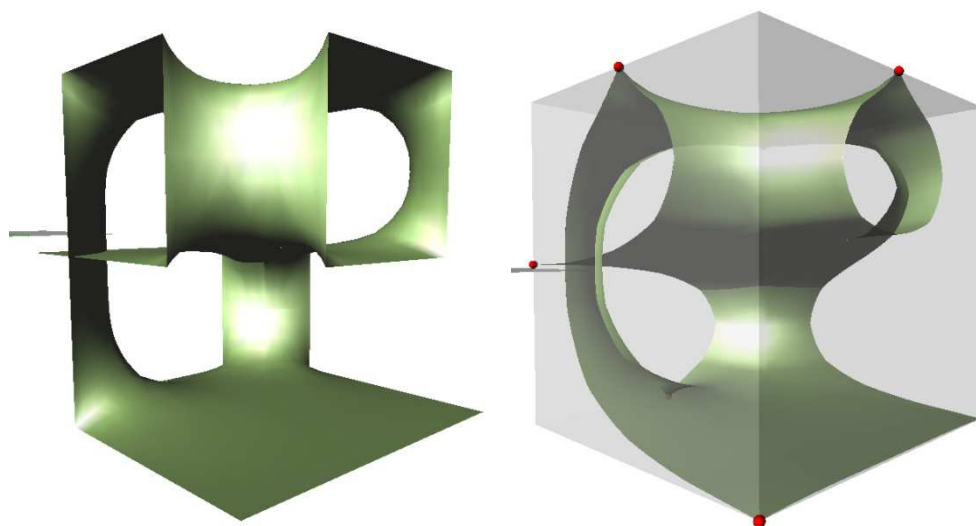


obr. 33 kontinuální plocha



obr. 34 kontinuální plocha – vnitřní prostor

V dalším případě je představena možnost definovat pro jednotlivé části objektu různá pravidla. Na obr. 35 je vygenerovaná membrána s pevně danými hranicemi. Na obr. 36 jsou hranice uvolněny, jsou pro ně stanovena jiná pravidla (hraniční body musí zůstat v rovinách šedého kubusu). Některé jednotlivé body byly fixovány zcela (červeně). Informace o těchto vlastnostech (restrikcích) jsou uchovávány v seznamech u každého vrcholu (MV_Rest_Set_List).



obr. 35,36 – restrikce pro skupiny vrcholů

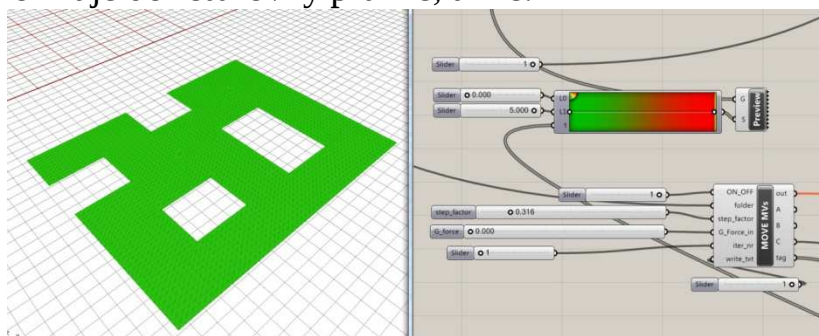
Na tomto objektu lze předvést další vlastnost programu. Je to jeho nezávislost na normálovém směru ploch. Grafické programy, závislé na normálách ploch, nejsou schopny vytvořit kontinuální Möbiovu plochu, která má nejednoznačnou definici normálového směru. Prezantovaný objekt je případem Möbiovy plochy, plocha nemá dvě strany.

5.4.2 Řetězovka

Další z již napsaných algoritmů pracuje na podobném systému, jak definoval svá díla Gaudí. Algoritmus je ale napsán trochu složitěji. Na rozdíl od Gaudího, který vyvěsil drátový model a sledoval průběhy tahových sil po jednotlivých prutech, já se pokusil definovat geometrii na základě průběhu sil v ploše.

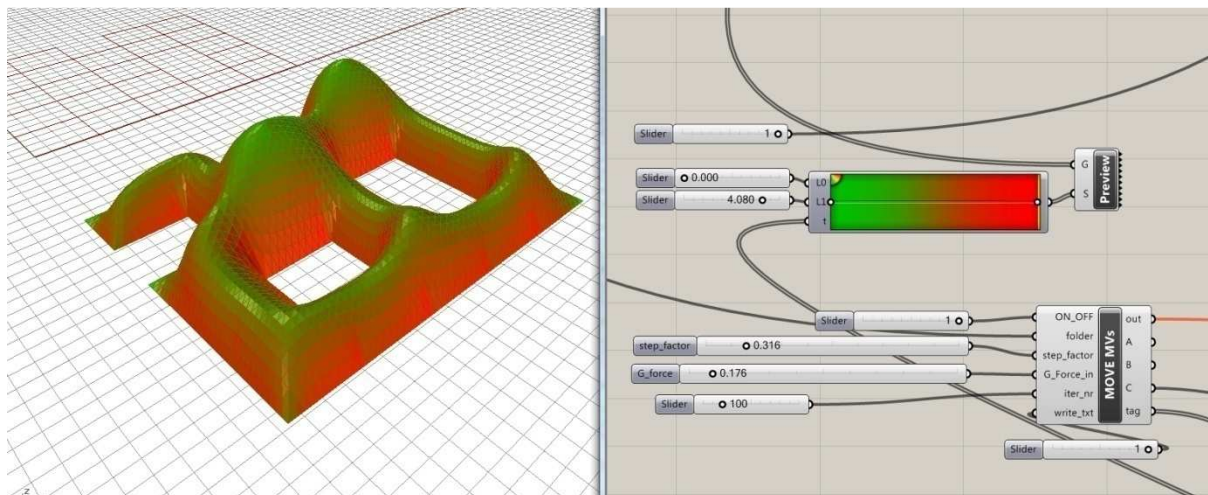
Algoritmus, který navrhuji, je zcela nezávislý na vnitřní struktuře kleneb. Geometrie vychází z principů minimálních tažených ploch a fyzikálního modelování dle chování pružných řetězevek.

Libovolná plocha v počátečním stavu je definována jako bez napětí. Postupná deformace plochy vlastní vahou má za následek jednak vytvarování do tvaru řetězovky obecné, poté se začne plocha napínat a deformovat do tvaru řetězovky pružné, při nadimenzování segmentů plochy dle vyvolaného napětí se plocha deformuje do řetězovky pružné, tížné.



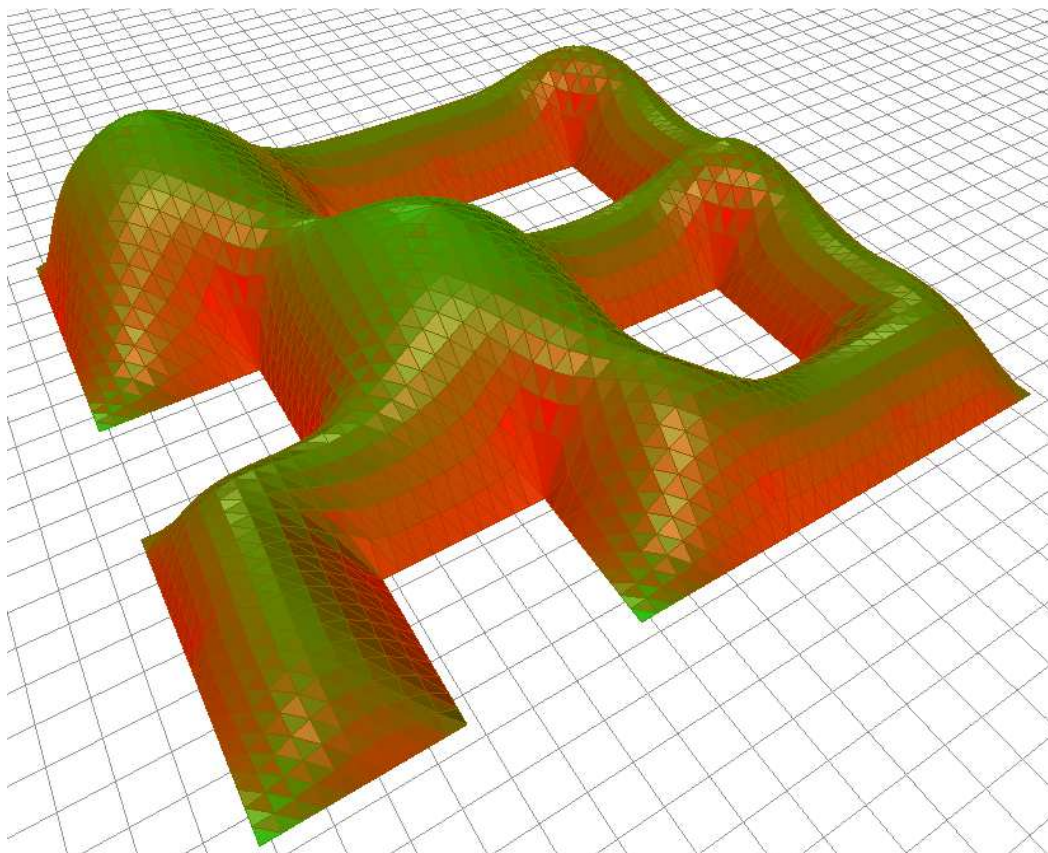
obr. 37 Řetězovka – stav 0

Na obr. 38 vidíme libovolnou zvolenou plochu v počátečním stavu, plocha je rovinná, k deformaci bez protažení nedochází.



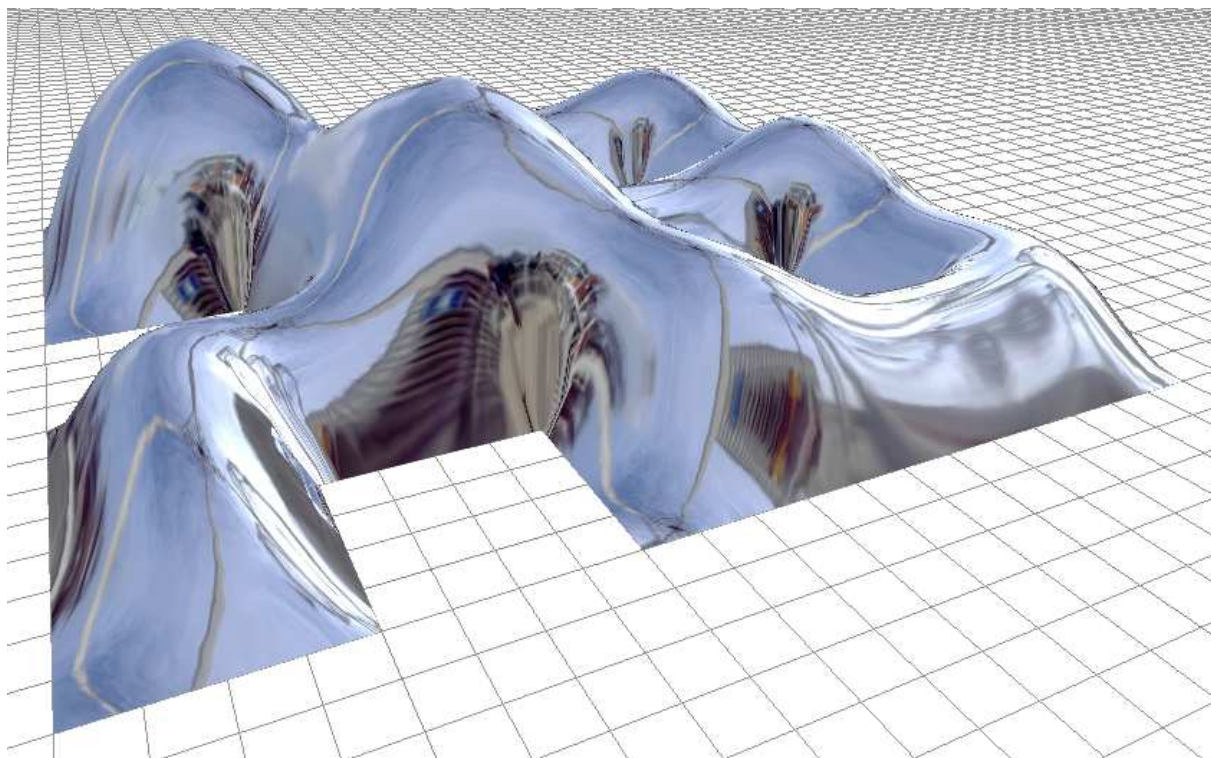
obr. 38 Řetězovka – stav 100

Na obr. 38 je stav po 100 krocích iterace. Plocha se vytvarovala dle principů pružné řetězovky. Barevně je znázorněna analýza deformace – protažení a zatížení plochy. Modul pružnosti je modifikovatelný, v tomto případě je definován $\varepsilon = \Delta S$, tedy lineárně s nárůstem plochy.



obr. 39 Řetězovka

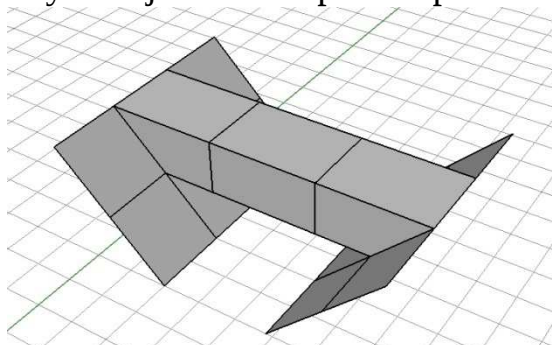
Na vzniklé ploše není znát vliv vnitřní struktury, plocha není definována pomocí žeber. Kdybychom hledali podobný případ v přírodě, mohli bychom si představit mýdlovou bublinu – membránu – napjatou do rámu a poté prohnutou vlastní vahou nebo vyboulenou větrem



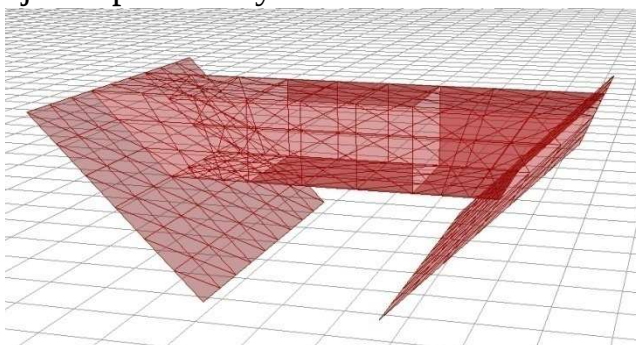
obr. 40 Analýza plynulého zakřivení

Po přisouzení reflexivního materiálu můžeme sledovat plynulost výsledné geometrie bez vnitřních hran.

Tak jako celý program ani tento algoritmus není omezen pouze na zadání plošných objektů. Jako příklad předvedu jeden prostorový oblouk.

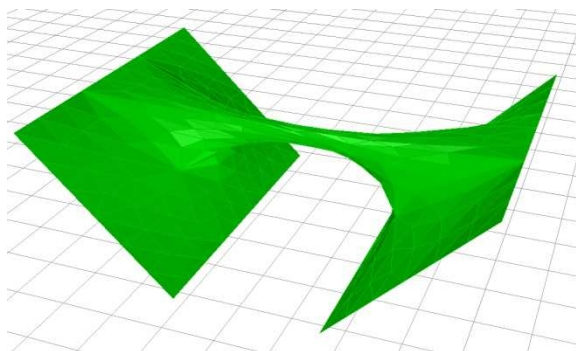


obr. 41 prostorové zadání

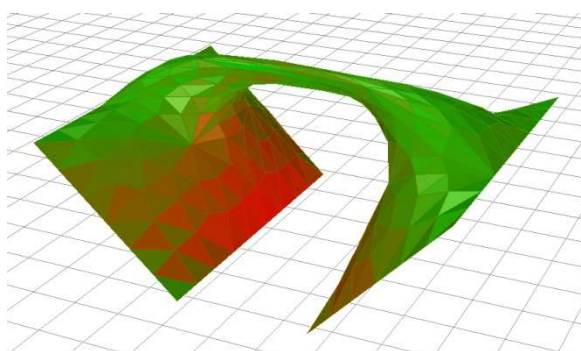


obr. 42 vygenerovaná síť

Na obr 41 vidíme zadání pomocí 22 rovinných ploch, na obr. 42 je vygenerována síť se všemi vnitřními vazbami.

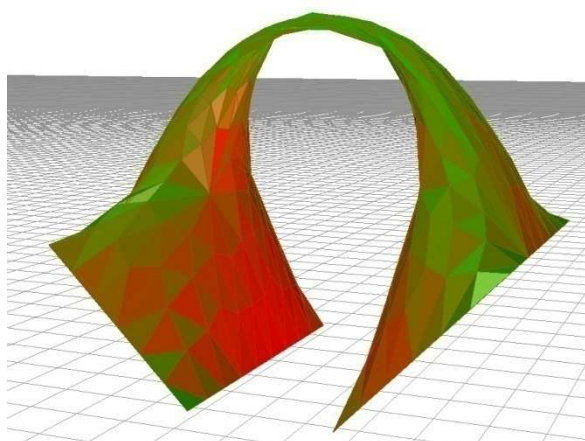


obr. 43 minimální plocha

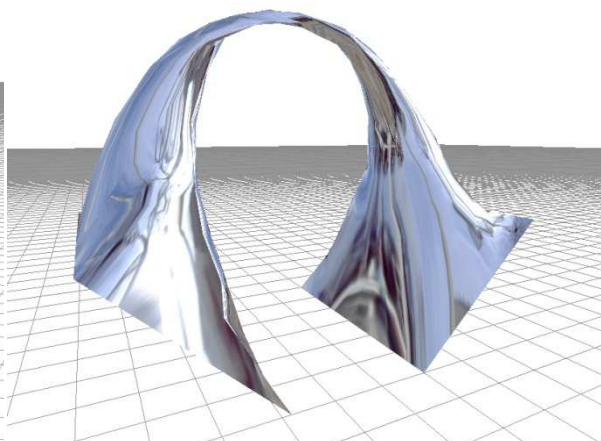


obr. 44 tízná řetězovka

Na obr. 43 je primární deformace pomocí algoritmu pro tvorbu minimálních ploch. Používám jej k definování prvotního kroku pro další algoritmy. Tahové síly v objektu jsou v tuto chvíli vyrovnané. Na obr. 44 je objekt deformován proti zatížení od vlastní váhy. Barevně vyznačeno namáhání v tlaku, vzhledem k definici řetězovek není v ploše namáhání ohybem – momenty. Tvar odpovídá obrácené tízné řetězovce aplikované do plochy.



obr. 45 tízná, pružná řetězovka



obr. 46 výstup

Na obr. 45 byla umožněna další deformace – protažení plochy, tvar objektu nyní odpovídá pružné, tízné řetězovce. Na obr. 46 vyhlazená výstupní geometrie.

6 ZÁVĚR

Shrnutí získaných poznatků:

V dizertační práci jsem popsal důležité vědomosti a zdroje, které považuji za potřebné pro vývoj a užívání digitálních metod v procesu architektonického navrhování.

Návrh aplikace poznatků na vzdělávání budoucích architektů:

Poznatky bych doporučoval zavést do osnov teoretické výuky na FaVUT, zejména geometrické principy a matematická vyjádření křivek vyššího řádu, a hlavní principy programování.

Podobně považuji za vhodné při výuce alespoň zmínit, lépe i vysvětlit podstatu, mnoha současných projektů vytvořených digitálními metodami.

Tyto změny navrhuji pro umožnění studentům pochopit a poté i napodobit jeden z výrazných současných směrů v architektuře, který se v českém prostředí bohužel téměř nevyskytuje.

Praktický výstup:

Výstup praktické části – navržený software – je snahou o přiblížení se úrovni digitální architektury dosažené v zahraničí. Cílem je jeho aplikace v praxi, realizace projektu nově navrženými metodami.

Výhled:

Digitální metody v architektonickém navrhování se v posledních deseti letech prudce rozvíjejí. Jejich aplikace zatím můžeme sledovat jen u několika významných architektonických kanceláří. V dalších letech očekávám masové rozšíření digitálních metod a jejich přirozené zapojení do procesu architektonického navrhování. Očekávám a doufám i v nějaké realizace v českém provedení.

PUBLIKACE

Sirotek, A.; Müller, R. *Paralela*. In: Sborník XII. vědecké konference doktorandů 2008. Brno: Fakulta architektury VUT, 2008. ISBN 978-80-214-3656-5

Sirotek, A. *Komplexní architektura, komplexní geometrie*. 2009. /www.rhino3d.cz/

PREZENTACE

Šimonová, B.; Müller, R.; Sirotek, A. *Současná architektura v ČR*, Valencia, 2006, (přednáška na Universitat politècnica de Valencia)

Sirotek, A.; Müller, R.; Soviš, P. *Paralela*. Konference Paracloud, Tel Aviv, 2007

(prezentace výzkumu na Shenkar College of Engineering and Design)

SEZNAM VYOBRAZENÍ

U převzatých ilustrací je uveden zdroj, autorské ilustrace jsou ponechány bez komentáře.

obr. 01 kontinuální plocha

obr. 02,03 Německý pavilon, Expo '67, Montreal

/zdroj: Architecture in Twentieth Century, Tashen, str.320, původ: Institut für leichte Flächentragwerke, Stuttgart/

obr. 04,05 Olympijský stan, Mnichov

/zdroj: Architecture in Twentieth Century, Tashen, str.322, autor: Christian Kandzia/

/zdroj: Architecture in Twentieth Century, Tashen, str.323, původ: Bildarchiv Foto Marburg/

obr. 06-08 Gehry, Guggenheimovo muzeum, Bilbao

/ foto: Adam Sirotek/

obr. 09-11 Lars Spuybroek – NOX a Q.S.Serafijn, D-Tower, Doetinchem

/foto: Adam Sirotek/

obr. 12-14 Massimiliano Fuksas, New Milan Fair Trade, Milano

/zdroj: www.fuksas.it/

obr. 15 PTW Architects, CSCEC, CCDI, Arup, Peking

/zdroj: <http://www.theage.com.au/photogallery/2008/03/11/1205125883538.html/>

obr. 16-18 Weaire–Phelanova struktura

/zdroj: http://en.wikipedia.org/wiki/Weaire%E2%80%93Phelan_structure/

obr. 19 vypuštěno

obr. 20 Schéma systému – obdoba procesu architektonického navrhování člověkem

obr. 21 NURBS – 4E, 3E, Trim

obr. 22 NURBS – křivé

obr. 23 Face, Edge, Corner, (FEC)

obr. 24 EC, CC

obr. 25 MV
 obr. 26 MC
 obr. 27 Mesh Generate
 obr. 28 Mesh - Connect
 obr. 29 Mesh Regen
 obr. 30 Minimální plocha – dvě varianty
 obr. 31 minimální plocha 2
 obr. 32 minimální plocha 3, výsledný objekt a vstupní geometrie
 obr. 33 kontinuální plocha
 obr. 34 kontinuální plocha – vnitřní prostor
 obr. 35,36 – restrikce pro skupiny vrcholů
 obr. 37 Řetězovka – stav 0
 obr. 38 Řetězovka – stav 100
 obr. 39 Řetězovka
 obr. 40 Analýza plynulého zakřivení
 obr. 41 prostorové zadání
 obr. 42 vygenerovaná síť
 obr. 43 minimální plocha
 obr. 44 tížná řetězovka
 obr. 45 tížná, pružná řetězovka
 obr. 46 výstup

POUŽITÉ ZDROJE

- 01 REKTORYS, Karel a spol. Přehled užití matematiky. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963
- 02 GÖSSEL, Peter a LEUTHÄUSER, Gabriele. *Architecture in the Twentieth Century*. Benedikt Taschen. ISBN 3-8228-0550-5
- 03 ZERBST, Rainer. *Antoni Gaudí i Cornet – život v architektuře*. Benedikt Taschen a Vydavatelstvo Slovar, ISBN 3-8228-9699-3
- 04 JODIDIO, Philip. *Santiago Caltrava*. Tachen, ISBN 3-8228-5785-8
- 05 KRAUEL, Jacobo. *Contemporary Digital Architecture: Design and Techniques*. Barcelona: Links. ISBN 978-84-92796-59-5
- 06 RASHID, Hani a COUTURE, Lise Anne. *Asymptote Flux*. Phaidon Press Limited, 2002, ISBN 0-7148-4172-2
- 07 FOGDEN, A a HYDE, S.T., *Continuous transformations of cubic minimal surfaces*, The European Physical Journal B 7/1999, str 91-104.
- 08 SCHRÖDER, G.E., RAMSDEN, S.J., CHRISTY, A.G., HYDE, S.T., *Medial surfaces of hyperbolic structures*. The European Physical Journal B 35/2003, str 551-564.
- 09 HIGHT, CH., PERRY, CH., *Collective Inteligence in Design*, AD Architectural Design, September/2006, ISBN 978-0-470-02652-6

- 10 ENDIE-BROWN, P., ANDRASEK, A., *Continuum: A Self-Engeneering Creature-Culture*, AD Architectural Design, September/2006, ISBN 978-0-470-02652-6
- 11 McCULLOUGH, M., *20 years of scripted space*, AD Architectural Design, July/2006, ISBN 978-0-470-02585-7
- 12 CHU, K., *Metaphysics of genetic architecture and computation*, AD Architectural Design, July/2006, ISBN 978-0-470-02585-7
- 13 SILVER, M., *Building without drawings: Automason Ver 1.0*, AD Architectural Design, July/2006, ISBN 978-0-470-02585-7
- 14 HENSEL, M., MENGES, A., WEINSTOCK, M., *Techniques and Technologies in Morphogenetic Design*, AD Architectural Design, March/2006, ISBN 978-0-470-01529-2
- 15 RAHIM, A., JAMMELLE, H., *Elegance in the Age of Digital Technique*, AD Architectural Design, January/2007, ISBN 978-0-470-02968-8
- 16 SCHUMACHER, P., *Arguing for Elegance*, AD Architectural Design, January/2007, ISBN 978-0-470-02968-8
- 17 RAHIM, A., JAMMELLE, H., *Surface Continuity: An Elegant Intefration*, AD Architectural Design, January/2007, ISBN 978-0-470-02968-8
- 18 PIKE, S., *Manipulation and Control of Micro-Organic-Matter in Architecture*, AD Architectural Design, November/2007, ISBN 978-0-470-51958-5
- 19 HENSEL, M., MENGES, M., PEDRESCHI, R., *Versatility and Vicissitude: Performance in Morpho-Ecological Design*, AD Architectural Design, March/2008, ISBN 978-0-470-51687-4
- 20 SCHUMACHER, P., *Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design*, AD Architectural Design, July/2009, ISBN 978-0-470-77300-0
- 21 FRANKEN, B., *Výstavní pavilon "Bublina" ve Frankfurtu nad Mohanem*, ERA21, 4/05, ISBN 9-771801-089006-09
- 22 OOSTERHUIS, K., *Protihluková bariéra & kokpit*, ERA21, 4/05, ISBN 9-771801-089006-09
- 23 NIO, M., *Zastávka ve tvaru velrybí čelisti v Hoofddoprupu*, ERA21, 4/05, ISBN 9-771801-089006-09
- 24 LYNN, G., *Calculus-Based Form*, přednáška
URL: <http://www.ted.com/talks/greg_lynn_on_organic_design.html>
- 25 NIO Architekten, *autorská zpráva k projektu*, URL: < <http://www.nio.nl>>
- 26 SHNEIDER, P., *B-Splines*,
URL: <https://www.cs.drexel.edu/~david/Courses/CS430/Lectures/L-09_BSplines_NURBS.pdf>
- 27 *Rhinoceros 5.0 Beta*, (počítačový program), Robert McNeel
- 28 *Grasshopper*, (počítačový program), Robert McNeel

CURRICULUM VITAE

1 OSOBNÍ INFORMACE

Ing. arch. Adam Sirotek, narozen 13.05.1980, Brno

2 VZDĚLÁNÍ

2006 – 2012 Doktorský studijní program oboru Architektura
supervisor - Doc. Ing. arch. Zdeněk Makovský
Ústav zobrazování, Fakulta architektury, VUT v Brně

2007 konference Paracloud
Tel Aviv, Shenkar college

2007 workshop
Analytický rozklad prostoru, Brno
příprava a vedení workshopu
(autoři: Z. Makovský, R. Muller, A. Sirotek, P. Soviš, M. Sedlák)

2006 předáška
Contemporary Czech Architecture, Digital Architecture in Czech Republic
Faculty of Architecture – Technical University in Valencia
(autoři: B. Šimonová, R. Muller, A. Sirotek)

1998 – 2005 Bakalářský a magisterský studijní program oboru Architektura
Fakulta architektury, VUT v Brně

1994 – 1998 Gymnázium Matyáše Lercha, Brno

3 PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI

2003 – 2012 Spolupráce v ateliéru Makovský & partneři, s.r.o.
Všechny fáze projekční i realizační činnosti v architektuře

3.1 vybrané projekty 2003-2012, Makovský & partneři

3.1.1 Bytové domy

BRNO – PŘÍZOVÁ
BRNO – VESLAŘSKÁ

3.1.2 Administrativa

SK TECHNIK, BRNO
VĚDECKOTECHNICKÝ PARK, BRNO – ČERNOVICE
ZEMAKO, MORAVANY

3.1.3 Průmyslové stavby

WALTER – DEMOZENTRUM, KUŘIM – (SPOL. S ZINDEL & PARTNER)
WALTER – LOGISTIK HALLE, KUŘIM – (SPOL. S ZINDEL & PARTNER)

3.1.4 Banky – interiér / rekonstrukce

BAWAG BANK, PRAHA VÁCLAVSKÉ NÁMĚSTÍ
BAWAG BANK, PRAHA VÍTEŽNÁ
BAWAG BANK, KARLOVY VARY
BAWAG BANK, JIHLAVA
BAWAG BANK, OLOMOUC
BAWAG BANK, ZLÍN

3.1.5 Rodinné domy

BRNO – KOCIÁNKA
BRNO – KOMÁROV
BRNO – ŽEBĚTÍN
BRNO – REZKOVA

3.1.6 Soutěže

BRNO – ORLÍ – HDL JAMU
BETONOVÝ DŮM
BRNO – ÚDOLNÍ 53
BRNO – AKADEMICKÉ NÁMĚSTÍ
KUŘIM – SPORTOVNÍ HALA

3.2 Zájmy

architektura a design, technika, hudba, výtvarné umění, sport,
cestování

Brno, 30.08. 2012

Ing. arch. Adam Sirotek