

EXAMENSARBETE INOM BYGGTEKNIK OCH DESIGN, GRUNDNIVÅ, 15 HP

STOCKHOLM, SVERIGE 2019



Parameterstyrd modellering av bergtunnlar

PANAGIOTIS HARITIDIS

TONY TRAN



KTH

SKOLAN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNAD

Sammanfattning

Projekteringen i byggbranschen har utvecklats mycket de senaste åren och resultatet har blivit att förutom 2D-handlingar, projekteras även 3D-modeller för att underlätta projekteringsarbetet.

Ett vardagligt problem som de flesta aktörer står inför är när fler förutsättningar och information i projekt ändras och projektörer tvingas göra ändringar i sina modeller. Dessa ändringar kan vara tidskrävande och behöva göras fler än en gång under projektet. Kan en tredimensionell modell som modellerats parametriskt göra ändringar snabbare när förutsättningar i ett projekt ändras än en CAD modell?

En av dessa aktörer som ständigt behöver göra ändringar i sina modeller i efterhand är WSP:s bergteknikavdelning. Önskvärt vore att hitta en ny arbetsmetod som kan effektivisera projekteringen av bergtunnlar.

Detta examensarbete syftar till att undersöka om parametrisk modellering kan användas som arbetsmetod för projektering av bergtunnlar. Ett script har skapats i Grasshopper, ett visuellt programmeringstillägg som genererar en parametrisk modell av en tunnel. Den parametriskt skapade modellen har sedan jämförts med en befintlig CAD-modell som skapats av WSP:s bergteknikavdelning i ett tidigare projekt.

Fördelar och nackdelar har lyfts fram och slutsatser har dragits om huruvida parametrisk modellering kan vara mer effektiv än nuvarande arbetsmetoder.

Resultaten av detta examensarbete pekar mot att parametrisk modellering är en effektiv arbetsmetod och skulle kunna användas för framtida tunnelprojekt.

Nyckelord: 2D, 3D, Parametrisk modellering, Grasshopper, Visuell programmering, CAD

Abstract

Project designing in the building construction industry has developed a lot during recent years and the result is that not only 2D documents are made, but also 3D models are created to facilitate the project.

A problem most players are facing daily is when conditions and information in a project change and design engineers must make necessary changes to their models. These changes can be time-consuming, and the designers may need to do these changes more than once during the project.

Could a parametric 3D model make these changes faster than a CAD model when conditions and information on a project change?

One of the developers that frequently needs to make changes to its models is WSP geotechnical department. The desire is to find a new working method that increases the efficiency of project design of tunnels.

The aim of this thesis was to try parametric modeling as a working method and to see if this method could be used to create ground tunnels. A script has been made in Grasshopper, a visual programming plug-in that generates a parametric model of a tunnel.

The parametric model was then compared with an existing CAD model created by the WSP geotechnical department in an earlier project.

Pros and cons have been presented and conclusions have been made about if parametric modelling could be more efficient than current working methods.

The results of this thesis indicate that parametric modelling is an efficient working method and that it could be used as a working method for future ground tunnel projects.

Keywords: 2D, 3D, Parametric modelling, Grasshopper, visual programming, CAD.

Förord

Detta arbete är slutprodukten av våra studier på högskoleingenjörsprogrammet Byggt teknik och design vid Kungliga Tekniska högskolan. Examensarbetet motsvarar 15 högskolepoäng och utfördes under vårterminen 2019.

Vi vill först och främst tacka WSP:s bergteknikavdelning som tog emot oss och gav oss möjligheten att göra vårt arbete hos dem. Vi kan skatta oss lyckliga som hamnat på en så gästvänlig avdelning med så trevliga och glada människor.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare Aron Bergqvist och Erik Sundgren på WSP Bergteknik som har varit ett värdefullt stöd från början till slut.

Vi vill också tacka Azita Hosseinzade som tipsat oss om att skriva detta examensarbete och som varit ett stort stöd under resans gång.

Vi vill även rikta ett stort tack till Mohamad Samir Abed som visat intresse för vårt arbete och som hjälpt oss lösa en hel del problem under resans gång.

Ett stort tack till vår akademiska handledare John Leander som hjälpt oss med att strukturera hela arbetet och hjälpt oss med rapporten.

Slutligen vill vi tacka alla våra nära och kära som uppmuntrat oss och funnits där för oss under vår studietid på KTH.

Stockholm, maj 2019

Panagiotis Haritidis

Tony Tran

Ordlista

2D- tvådimensionell	En platt bild eller plan yta som saknar djup, kan endast röra sig i vertikal eller horisontell riktning.
3D-dimensionell modell	Ett objekt eller en figur modellerad ut ett tredimensionellt perspektiv där längd, bredd och djup uppfattas och en volym finns.
CAD	Computer-aided-design.
NURBS-curve	Non-Uniform Rational B-Spline är kurvor och ytor som används för att skapa mjuka övergångar och banor mellan ett antal fasta punkter. Där man viktar de olika stympunkterna.
Generativa algoritmer	Ett system för generering av språk i termer av mängder av välformade uttryck.
Parametrisk design	Ett sätt att ställa upp uttryck för parametrar och regler som definierar, där värdet på en specifik parameter kan justeras för att generera olika unika lösningar.
Parametrisk modellering	Ett sätt att finna och lösa problem med parametrar. Där parametrar kan justeras och belyser förhållande mellan syfte och resultat för att kunna generera olika lösningar.
Visuell programmering	En variant av blockprogrammering där grafiska element används till att bygga upp ett program.
Microstation	Komplett CAD program för 2D & 3D.
DWG	Ett filformat för CAD modeller och är standardformat för AutoCad.
Grasshopper	Ett visuellt programmeringsspråk i form av färdiga block som är ett plug-in program i Rhinoceros.
Makro	En insamling instruktioner som används till att automatisera återkommande eller upprepat arbetsmoment vid användning av datorprogram.
Rhinoceros	Ett 3D modelleringsprogram som används för att skapa, redigera och dokumentera.
Pilhöjd	Definierar som på förstärkningsutrymme högsta punkten till det yttersta konturen på elipsen.

Trattövergång	Övergång mellan olika geometrier som möts vinkelrät
Förstärkningsutrymme	Utrymme för förstärkningsåtgärder för berget.
Va-Grav	Den del av tunnel där bland annat installation och dräneringsrör finns.
Divide and conquer	En uppdelningsmetod genom att dela upp dem (modell) i mindre bitar som löses var för sig.
Divide curve	Dela upp en kurva i lika längdsegment.
Construct point	Skapa/konstruera en punkt utifrån x y z koordinater.
Shatter	Splittra en kurva i segment.
Perp frame	Lös den vinkelräta ramen vid en angiven kurvparameter
Plane normal	En plan som har en punkt och en vektor.
Deconstruct plane	Demontera en plan för att få de komponenter ingående delar.
Simplify tree	Bli av med överlappning av delade grenar och det som fås är en förenklad dataträstruktur.
Polyline	Är linjesegmenter som koppade och skapas ett enda objekt.
Referenssektion	En sektion som tidigare används som refererar.
Loft	En yta som skapas genom uppsättning av sektionskurvor.
Line SDL	En linje som har en längd och en riktning.
Script	Program som utför uppgifter i andra program.
Dubbelkrök	En yta som är krökt i två riktningar, i både horisontell och vertikal.
Bergtunnel	En tunnel där det bärande huvudsystemet enbart utgörs av bergmassan eller av bergmassan och en förstärkningskonstruktion i samverkan.

Innehåll

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Undersökningssyfte och mål	1
1.3 Frågeställning	2
1.4 Avgränsningar	2
2. Metod	3
2.1 Litteraturstudier	3
2.2 Modellering	3
3. Nulägesbeskrivning	5
3.1 Parametrisk design	5
4. Teoretisk referensram	7
4.1 Tunnelsektion med beskrivning på dess uppbyggnad	7
4.2 CAD- Computer aided design	8
4.2.1 Rhinoceros	9
4.2.2 Grasshopper	9
5. Genomförandet	11
6. Resultat	13
6.1 Modellering av en komplex tunnelgeometri	14
6.2 Övergång mellan olika sektioner	15
6.3 Vinkelrätta geometrier	16
7. Analys och diskussion	17
8. Slutsatser	21
9. Rekommendation	23
Referenser	25
Bilagor	27
Bilaga 1	28

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Stora förändringar i byggbranschen har medfört att modelleringsprocessen utvecklats mycket de senaste åren. Projektering har mer och mer gått över från 2D- till 3D- modellering. Nästa steg är att uppnå en effektivare 3D- modellering process.

Ett verktyg som används inom projektering är CAD, *computer-aided-design*. CAD används för att skapa tekniska ritningar. Förr användes CAD-program uteslutande för 2D-ritningar, men allt eftersom utvecklingen gått framåt så används CAD-program idag även för 3D-modellering.

Ett nytt sätt att använda sig utav 3D-modellering är parametrisk design tillämpad för modellering. Kort beskrivet är parametrisk design ett verktyg som skapar modeller med hjälp av olika förutsättningar, som ofta kallas för parametrar. Ändras parametrarna så kommer modellen också att ändras. Detta betyder att variationer av samma modell finns i en och samma modell. Parametrisk modellering har börjat användas för projektering av broar och hus, och arkitekter har använt denna metod för att designa konstruktioner under många år. Kan parameterstyrd modellering tillämpas inom andra områden som modellering av bergtunnlar?

Bergteknikavdelningen på WSP i Sverige använder idag CAD-programmet Microstation för projektering av tunnlar. Problemet med stora CAD-ritningar är när de ska revideras. Projektörer får då lägga ner mycket tid på eventuella ändringar. Detta beror ofta på att andra aktörer gör ändringar som tunnelprojektören måste anpassa sig efter.

Önskvärt vore att med förbättrade arbetssätt som parameterstyrd modellering kunna skapa tunnelmodeller som kräver mindre tid och energi att ändra. Istället skulle den vunna tiden kunna läggas på nya projekt.

1.2 Undersökningssyfte och mål

Syftet med detta examensarbete var att se om parameterstyrd modellering gick att tillämpa som arbetsmetod för att modellera en bergtunnel. Fördelar och nackdelar med parameterstyrning har studerats. Slutsatser drogs sedan om huruvida parameterstyrd modellering var ett effektivt och tidsparande arbetssätt för framtida tunnelprojekt.

Målet var att modellera en bergtunnel parametriskt utifrån en befintlig modell, för att sedan jämföra modellerna med hänsyn till hur effektivt det var att i efterhand ändra olika parametrar på respektive modell.

1.3 Frågeställning

Frågeställningen som utgör ramen för detta examensarbete var:

Kan parameterstyrd modellering vara en effektiv lösning för framtida tunnelprojekt?

Mer specifika frågeställningar var:

"Kan komplexa tunnelgeometrier modelleras med parametriska sektioner?"

"Kan man skapa en övergång mellan två olika tunnelsektioner?"

"Går det att skapa övergångar mellan olika geometrier som möts vinkelrätt?"

Resultatet av detta arbete förväntades ge en klarare bild över parameterstyrd modellering och om det är effektivt att arbeta med för projektering av bergtunnlar. Med övergång menas den yta som uppstår när en tunnelsektion ska övergå till en annan. Övergångarna beskrivs mer ingående i avsnitt 5.2.

1.4 Avgränsningar

Tunneln som skulle modelleras utgick från en verklig bergtunnel som projekterats vid Arenastaden i Stockholm. Dimensionerna för bergtunneln hade sina förutsättningar från just den platsen. Med förutsättningar menas vilket typ av berg, jord, grundvattennivå och hållfasthet av berg.

Någon större hänsyn till eventuella ritningshandlingar har inte tagits på grund av den avsatta tiden för examensarbetet. Vissa förenklingar har gjorts vid VA-graven för att examensarbetet skulle kunna genomföras inom tidsramen. Vad en VA-grav är beskrivs mer ingående i avsnitt 4.

2. Metod

Examensarbetet bestod av en teoretisk och en praktisk del. Det teoretiska avsnittet avhandlade en referensram. En beskrivning över ingående delar av en tunnelsektion skulle förklaras samt vilka parametrar på tunnelsektionen som var av betydelse för examensarbetet. Detta uppföljdes sedan i det praktiska avsnittet där tunnelsektioner med ingående delar skulle modelleras parametriskt i Grasshopper.

2.1 Litteraturstudier

Mycket tid har lagts på litteraturstudier om visuell programmering och parametrisk design. Det var av ytterst stor vikt att lära sig och förstå logiken bakom visuell programmering och de parametriska relationerna. Därför lades en stor del av tiden på att hitta ny information och nya metoder löpande vad gäller användandet av programmet Grasshopper. Den mest användbara källan för inläring av visuell programmering har varit internet och instruerande videoklipp över specifika problem. Forum var en annan källa för information där frågor kunde ställas och svar med bilder lades upp av andra användare. Den främsta metoden för att välja ut information som tycktes vara relevant för studien var att pröva metoden och se om den fungerar för att sedan implementera den i scriptet.

Förutom litteratur om parametrisk design och Grasshopper har teorin bakom bergteknik och bergtunnlar studerats. Detta för att kunna öka kunskapen inom tunnelbyggande eftersom kursutbudet inom utbildningsprogrammet har varit begränsat gällande kurser om tunnelbyggande.

2.2 Modellering

I modelleringsprocessen skapades ett script i Grasshopper för att kunna utvärdera och jämföra resultatet med en befintlig modell som skapats i Microstation av WSP.

Först skulle en tunnelsektion skapas parametriskt, där parametrar av betydelse såsom höjd, bredd, pilhöjd, förstärkningsutrymme och VA-grav skulle kunna justeras (tunnelsektionens ingående delar beskrivs i avsnitt 4). Sedan skulle tunnelsektionen kunna övergå till en annan sektion. Slutligen skulle en tunnelgeometri möta en annan tunnelgeometri vinkelrätt, där övergången mellan tunnlar modelleras och studerats.

3. Nulägesbeskrivning

3.1 Parametrisk design

Parametrisk design strävar efter att hitta begränsningarna i en modell snarare än att försöka komma fram till målet som traditionell modellering strävar efter. Modellerare brukar traditionellt sett förlita sig på erfarenhet och intuition för att lösa modelleringssvårigheter medan parametrisk design använder sig utav programmering. *"Målet är inte nödvändigtvis en färdig modell, utan snarare vägen man har tagit för att komma fram till målet"* (Kilkelly,2016).

Med parametrisk design är tanken att med hjälp av *"Divide and conquer"*- metoden (Woodbury,2010) uttrycks relationen mellan de olika komponenterna. Divide and conquer metoden bygger på att en modell som skapas kan delas upp i mindre delar. Ett hus kan väldigt enkelt delas upp i tre delar: bottenplatta, väggar och tak. Dessa delar tillsammans bildar ett hus. Kan relationer skapas mellan de olika delarna så kan resultatet variera om parametrarnas förutsättningar ändras. Detta genererar mer än en slutgiltig modell. Ändras förutsättningarna och relationerna mellan de olika komponenterna kan olika resultat uppnås. Med traditionell modellering uppnås däremot bara ett resultat. Om resultatet inte är tillfredställande måste antingen en del av modellen ersättas eller börja om med en ny modell från början. Modellerare kan med parametrisk design få mer frihet att utforska olika lösningar utan att behöva göra om sin modell (Woodbury 2010).

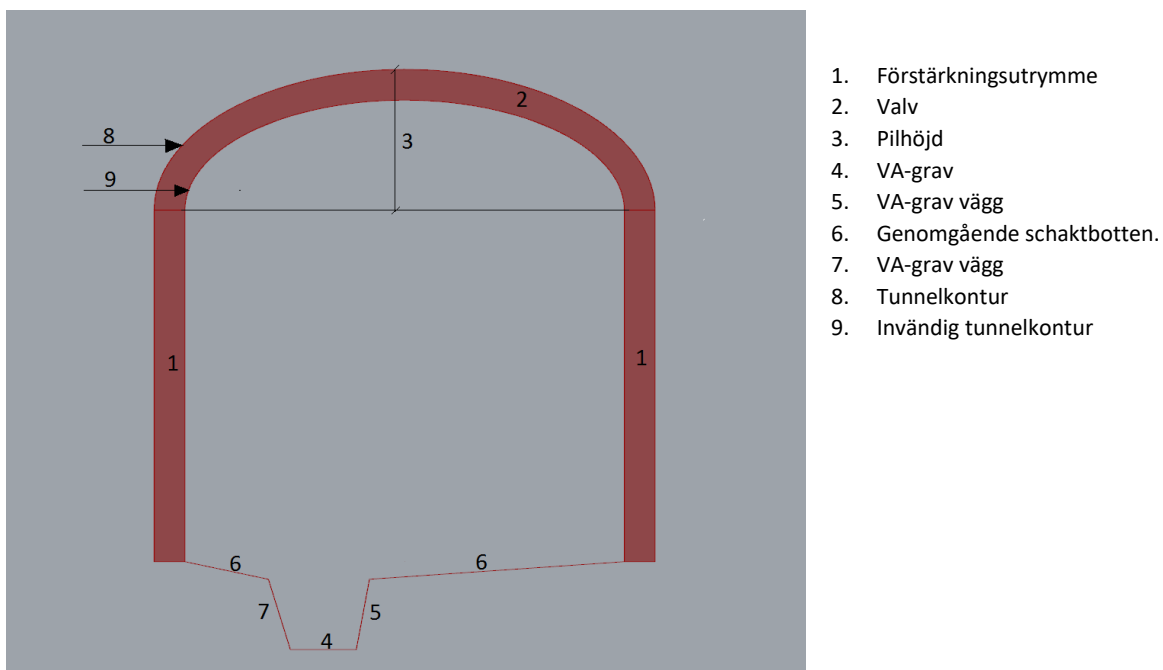
Denna kreativitet kommer dock med en kostnad. Parametrisk design förlitar sig på att relationer byggs upp rätt, det vill säga att aktivt reflektera på hur relationerna ska definieras. Traditionellt så brukar projektörer sätta igång med modellering i sitt CAD-program utan större reflektion på relation mellan de olika delarna. Men parametrisk modellering handlar mer om att fokusera på logiken som binder ihop modellen. Det kan därför vara bra att ta ett steg tillbaka och fundera på hur de olika relationerna hänger ihop med varandra innan själva modelleringprocessen börjar (Woodbury 2010).

På WSP har parametrisk design i dagsläget börjat användas på flesta avdelningar, exempelvis broavdelningen. Där har tidigare examensarbeten utförts om parameterstyrd projektering vilket har lett till vidareutveckling av denna metod. Bergteknikavdelningen har haft en önskan att tillämpa denna metod, men inga examensarbeten eller liknande studier har gjorts på avdelningen tidigare.

4. Teoretisk referensram

4.1 Tunnelsektion med beskrivning på dess uppbyggnad

"Allmänt vid utformning av en tunnel ska risken för skador på människor, miljö och andra byggnadsverk under byggtiden och när tunneln är i drift beaktas" (Trafikverket, 2016). För att detta ska uppnås krävs förundersökningar av berg för att nödvändig information angående bergmekaniska, hydrogeotekniska och geologiska förutsättningar skall kunna kartläggas (Trafikverket, 2016). Utifrån förutsättningarna och efter att beräkningar som är av betydelse för utformning och dimensionering av bergguttaget kan en normalsektion upprättas. Denna sektion bör redovisa alla mått som är relevanta och det är extra viktigt att redovisa det utrymme som reserveras för bergförstärkning (Trafikverket, 2016).



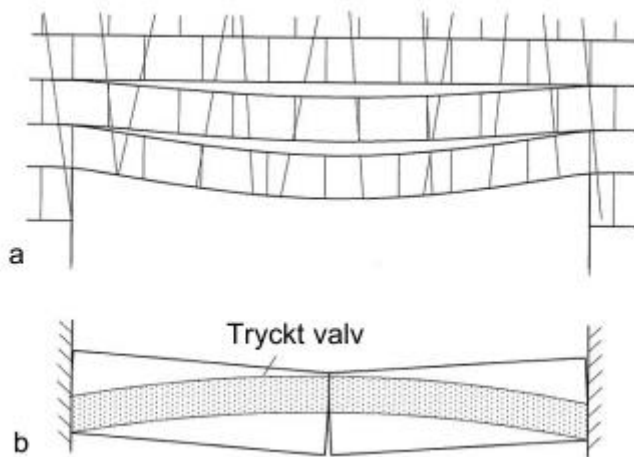
Figur 4.1: typsektion och dess ingående delar.

Figur 4.1 visar en typsektion av en bergtunnel och de delar som detta examensarbete behandlar.

Nummer åtta respektive nio är den utvändiga och den invändiga tunnelkonturen. Utrymmet mellan dessa är förstärkningsutrymmet. Detta utrymme kan skilja sig i ett span på mellan 0,1–0,5 m beroende på vad det är som ska ingå i förstärkningsutrymmet. Det kan vara en bult som sticker ut eller sprutbetong. I vissa fall kan det vara dräneringsmattor som används för att leda bort vatten från tunneln som gör att utrymmet blir större (Berglund, 2019).

Nummer sex på bilden är en genomgående schaktbotten som har en lutning som faller mot VA-graven, som består av nummer fyra, fem och sju. I graven ligger det dräneringsrör som går längs med tunneln och vars uppgift är att föra bort vatten som kan komma från berget (Berglund, 2019). Djup och bredd på VA-graven beror därför på rörets dimensioner.

Förstärkningsutrymmets övre del har formen av ett valv eller en halvelips. Den vertikala radien på halvelipsen är i figuren nummer tre och kallas för pilhöjd. Anledningen till att man får ett valv liknande form bygger på *Vussoir balkteorin* (Trafikverket, 2016) som beskriver den lastbärande och deformationsupptagande kapaciteten för en balk. *Teorin bygger i korthet på att när en balk belastas och nedböjning av en balk sker så skapas en lateral kraftbåge i balken* (Trafikverket, 2016). *Det som skiljer Vussoir balkteorin från konventionell balkteori är att i Vussoir balkteori förutsätts det att ett antal sprickplan existerar eller att sprickor bildas vinkelrätt mot balkens längdaxel* (Trafikverket, 2016).



Figur 4.2: a) uppspruckna bergbalkar, b) motsvarande Vussoir-balk. Bilden är hämtad från trafikverket.

Valvformen bygger också på en annan teori som kallas för *valvteorin*. I korthet handlar den om bergmassans förmåga att ta tryckkrafter likt valvböor. Skillnaden med en valvbö och berg är dock att i bergmassan uppträder sprickor med olika riktningar och måste därför beaktas vid dimensionering (Trafikverket, 2016). Förenklat så dimensioneras ofta bergtunnlar så att pilhöjden är en fjärdedel av tunnelbredden (Berglund, 2019).

4.2 CAD- Computer aided design

CAD är ett datorstöd designprogram vars mål är att skapa antingen 2D ritningar och utgår från ett x och y axel koordinatsystem som sammanbinda, eller 3D modeller där z axeln tillkommer för att skapa djup i modellen. Begreppet omfattar alla sätt där datorsystem används som hjälpmedel när man ska "skapa, analysera, ändra eller optimera en design" (teknikessen, 2019).

CAD är ett verktyg som designar en produkt och dokumenterar designens process. Ta ett "projekt från koncept till färdig handling med hjälp av kraftfulla dokumentationsverktyg" (Cadstudio AB).

De flesta typer av CAD program inräknar två eller tredimensionell design och kan användas för 2D och 3D modellering till att skapa detaljerande och exakta planer för många typer av konstruktioner (Datorkunskap). Programmet konstrueras efter något som liknade handritade ritningar men med utvecklingen har det förbättrat till ett mer grafiskt utseende (Autodesk, 2019).

I dagsläget är CAD program ett verktyg som används mycket i byggbranschen där "arkitekter, ingenjörer och entreprenörer är inblandade i komplexa projekt" (Datorkunskap).

4.2.1 Rhinoceros

Rhinoceros är ett 3D modelleringsprogram som används för att skapa, redigera, dokumentera och animera NURBS-curveor (Non-Uniform Rational B-Spline), ytor och solider. Programmet är utvecklat av Robert Mcneel & Associates (Mcneel & Associates, 2019).

Rhinoceros noggrannhet i mått och form erbjuder möjligheter till mer avancerade yt-baserade modeller. Det går att skapa ytor och kurvor mellan fasta punkter med hjälp av NURBS. Varje punkt definieras med en matematisk representation i ett tredimensionellt rum och mjuka övergångar kan på så sätt skapas mellan två punkter (Mcneel & Associates, 2019).

Det är ett verktyg som har stöd för ett brett sortiment av 3D digitaliseringsarmar och utväxla filer med andra CAD program och designsystem (Microtechstelladata, 2019). Till skillnad från andra CAD program innehåller Rhinoceros betydligt fler filformat och det möjliggör att *”programmet kan importera och exportera till de flesta kända filformat”* (Microtechstelladata, 2019).

I dagsläget, är Rhinoceros populärt bland industridesigners, båtkonstruktörer och arkitekter (Solidmakarna). Programmet används ofta för att ta fram yt-modeller och komplexa former som inte andra CAD program klarar av. Därför utnyttjar arkitekter programmets egenskaper, det kan vara plugin program till att bygga upp komplexa former för sina projekt. Sedan exporteras geometrin till DWG filformat för att kunna utföra byggnadsdetaljer för byggnadsprojektering i ett annat CAD program.

Rhinoceros har också den fördelen att det går att programmera sin design genom att skriva makros och script som översätts direkt till geometrier och detta görs på många olika sätt genom plugin program som är inbyggd i Rhinoceros (Mcneel & Associates, 2019). Exempel på ett sådant program är Grasshopper.

4.2.2 Grasshopper

Grasshopper är ett visuellt programmeringsspråk i form av färdiga block med kod och kommer som ett inbyggt tillägg i Rhinoceros. Det används för att skapa generativa algoritmer som sedan illustreras i Rhinoceros (Mcneel & Associates, 2019). Programmet är uppbyggt för att skapa förhållande mellan Rhinoceros och Grasshopper där programmeringsblocken ställs upp i Grasshoppers och visualisering av modellen sker i Rhinoceros (Mcneel & Associates, 2019).

Grasshopper är en plugin tillämpning till Rhinoceros modelleringsprogram som är funktionsmässigt kopplat till Rhinoceros. För designers som utforskar nya former med generativa algoritmer är Grasshopper en grafisk algoritmredigerare som är integrerad med Rhinoceros 3D modelleringsverktyg (Davidson, 2019). Grasshopper kräver ingen förkunskap om programmering. I Grasshopper dras sladdar mellan olika block. På så sätt skapas en relation mellan dem. På ena sidan av blocket kommer input in och på andra sidan fås output.

5. Genomförandet

Genomförandet baserades på de mer specifika frågeställningarna. Det första momentet var att skapa en komplex tunnelgeometri parametriskt. Efter det skulle en övergång mellan två olika tunnelsektioner modelleras. Avslutningsvis skulle en tunnel möta en annan vinkelrätt och en övergång mellan dessa skulle modelleras.

för att genomföra själva modelleringen krävdes en dator med Rhinoceros installerad. Plug-in programmet Grasshopper behövde också finnas i Rhinoceros.

sedan började själva modelleringen. För att kunna skapa något i Grasshopper behöver komponenter kopplas med rätt input och output, som nämns i avsnitt 4.2.2.



12

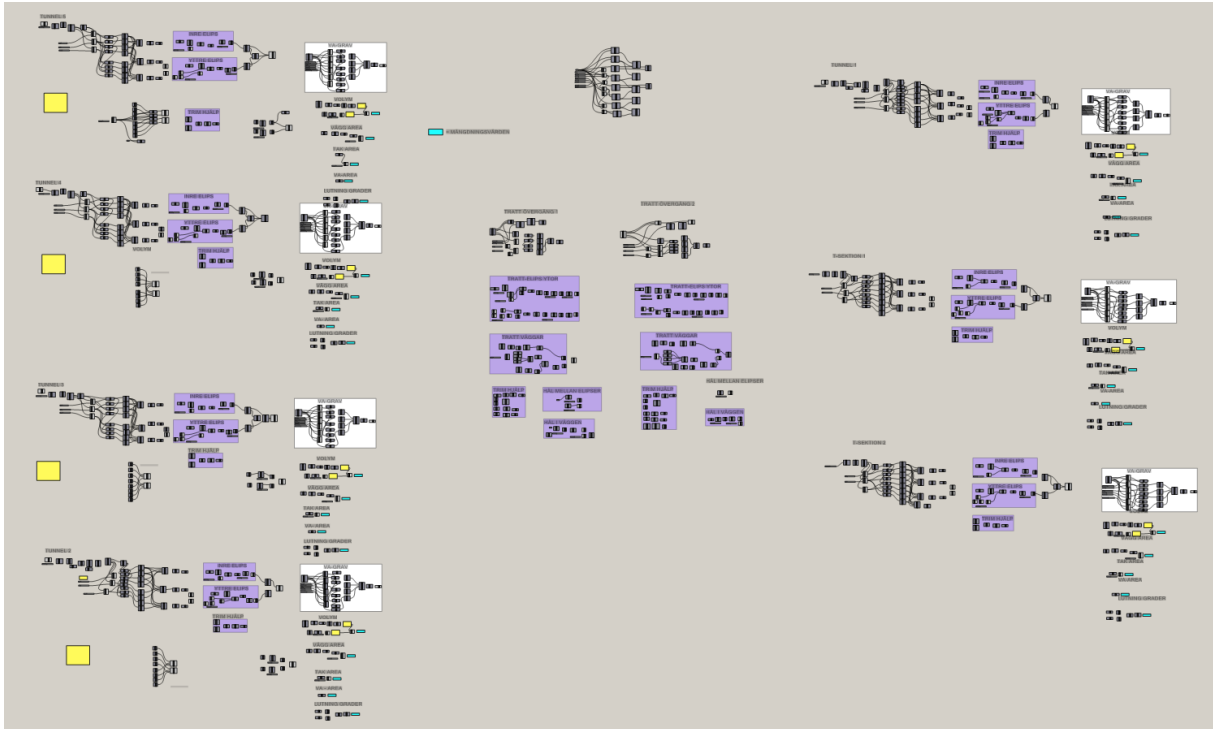
figur 5.1: input och output i Grasshopper.

figuren ovan beskriver hur rätt input kopplades ihop med en komponent, och outputn som erhöles av komponenten utförde sedan ett arbete, beroende på vilken komponent det var. Exempelvis skulle en input kunna vara koordinater, som kopplats med en komponent vars uppgift var att skapa en punkt. Outputn blev då att skapa en punkt med en viss koordinat.

På detta sätt skapades ett script som skulle generera en tunnelmodell och som skulle svara på examensarbetets frågeställningar.

6. Resultat

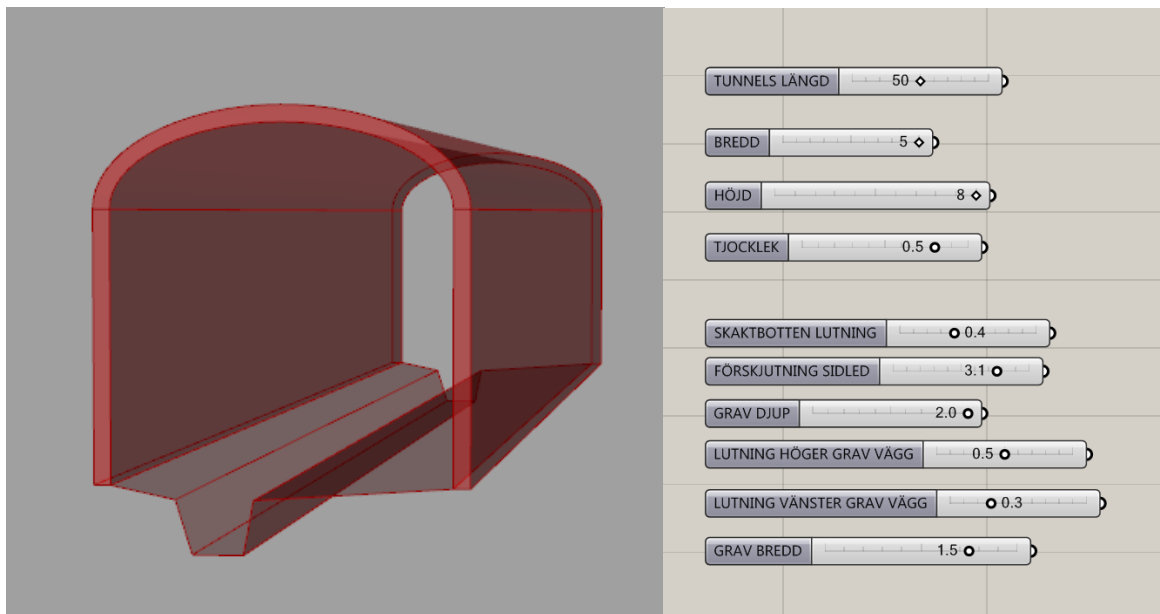
Resultatet av den praktiska delen av examensarbetet blev ett script i Grasshopper som innehöll totalt fem olika tunnelsektioner där varje sektion gick att ändra individuellt. Mellan varje sektion fanns det övergångar som anpassas automatiskt allt eftersom användaren ändrar parametrar på tunnelsektionerna. Figur 6.1 visar det slutgiltiga scriptet och dess omfattning.



figur 6.1: slutgiltiga scriptets omfattning.

Tunnelmodellen som redovisas i detta avsnitt är skapat i Grasshopper och visualiserat i Rhinoceros och är uppdelat i tre moment. Det första momentet handlade om skapandet av en komplex tunnelgeometri. Det andra momentet handlade om övergången mellan två olika tunnelsektioner. Slutligen handlade det tredje momentet om övergången som uppstod när en tunnelgeometri möter en annan vinkelrätt.

6.1 Modellering av en komplex tunnelgeometri

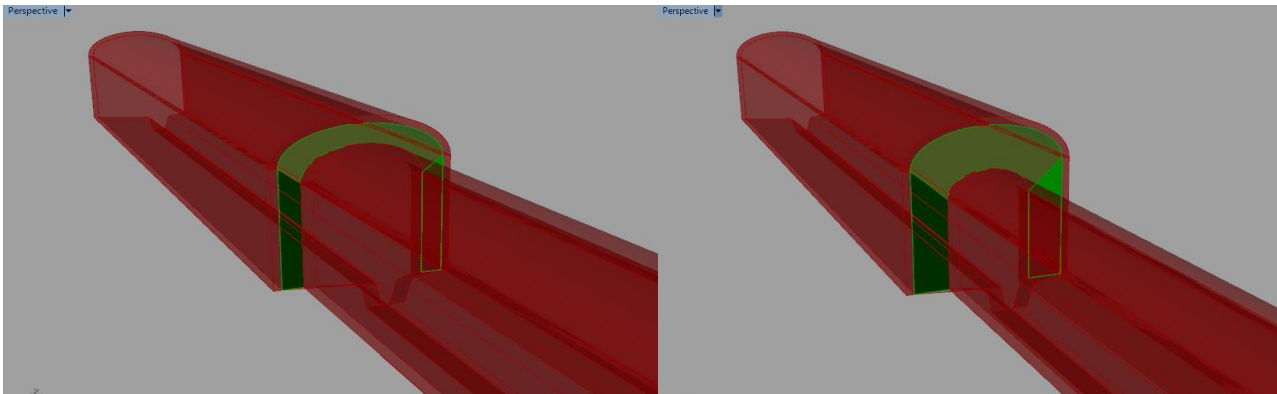


figur 6.2 figur med en tunnelgeometri och vilka parametrar som går att justera.

figur 6.2 visar resultatet från det första momentet som beskrevs i avsnitt 5.1.2. syftet var att modellera en komplex tunnelgeometri parametriskt. Resultatet blev en tunnel som har skapats efter en rak väglinje och som enkelt kunde ändra sektionbredd, sektionshöjd och tjocklek på förstärkningsutrymme utan att behöva ta bort eller ersätta en del med någon annan. VA- graven gick också att ändra parametrar på. Lutning på schaktbotten gick att styra, bredd och djup på själva graven och lutningen på dess väggar var också justerbara. VA- graven gick att flytta till höger och vänster för önskad position. Alla dessa parametrar ändras enkelt med spakarna. Längden på tunneln gick också att ändra på.

Spakarna på högra sidan av figuren ovan var uttryckta i meter.

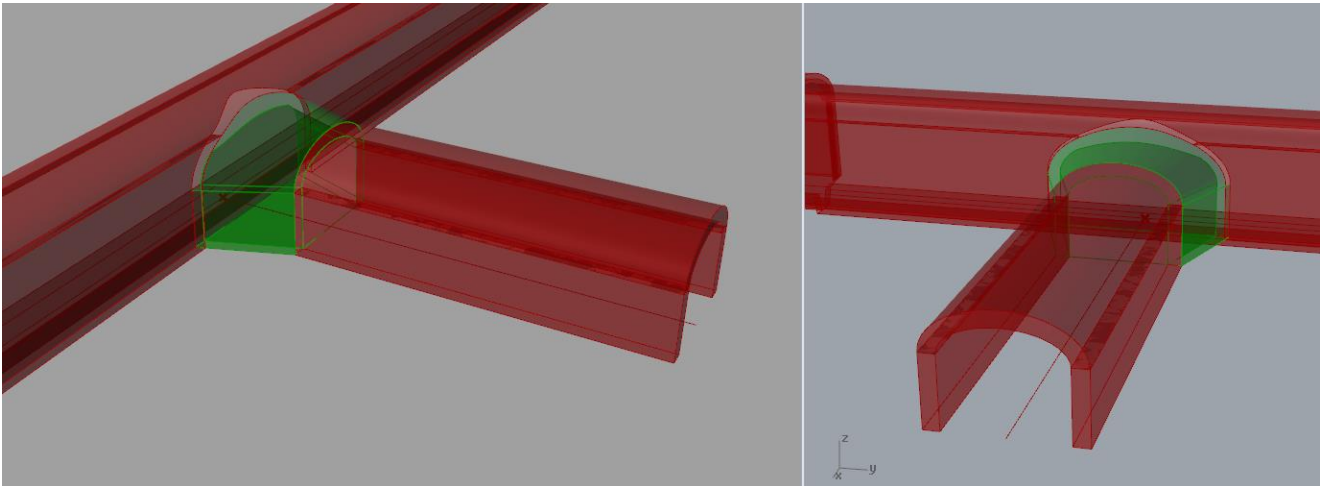
6.2 Övergång mellan olika sektioner



figur 6.3: Bilden visar övergången mellan två olika tunnelgeometrier och hur ytorna anpassar sig efter dimensionen på tunnlarna.

Ovan syns det slutgiltiga resultatet på en övergång mellan två olika tunnelsektioner. Övergången var parametriskt skapad och anpassas efter tunnlarnas dimensioner. Figur 6.3 visar resultatet och hur ytorna följer tomrummet när dimension på någon av tunnlarna ändras. På högra sidan av figuren har man minskat den mindre tunneln ytterligare i bredd och höjd för att tydligt visa att ytorna automatiskt täcker tomrummet, utan att användaren behövt ändra något i efterhand. I och med att ytorna är skapade efter punkter som finns i tunnelsektionen så kommer dessa punkter att ändra position automatiskt när användaren ändrar bredd eller höjd på tunnlarna.

6.3 Vinkelräta geometrier



Figur 6.4: gröna området visar trättövergången som skapats.

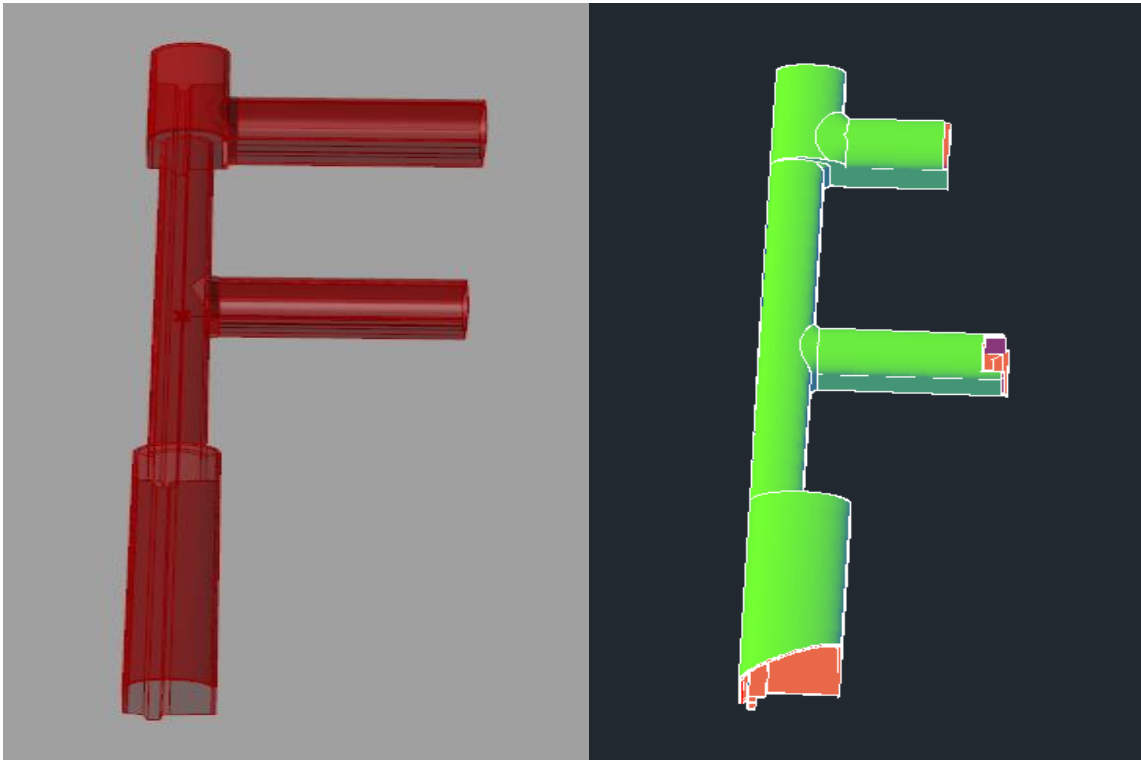
Figur 6.4 visar det slutgiltiga resultatet av en övergång när en tunnel möter en annan vinkelrätt. Förutom själva övergången modellerades även hålet i huvudtunneln. Trattens bredd och höjd gick att justera till viss mån. Om man ville flytta den mindre tunnelns läge längs med huvudtunneln så följde både tratten och hålet med. Man behövde därmed inte göra nya hål varje gång man skulle byta position på den mindre tunneln. Trattens längd gick att justera för att få den närmare eller längre ifrån den mindre tunneln.

7. Analys och diskussion

Detta avsnitt handlade om att analysera resultaten och koppla de till frågeställningarna. Målet med detta examensarbete var att pröva och se om parametrisk modellering gick att tillämpa som arbetsmetod för att modellera en bergtunnel. För att uppnå målet behövde relevanta frågeställningar besvaras. Slutligen behövde fördelar och nackdelar lyftas fram för att kunna dra slutsatser om parameterstyrd modellering kunde vara en effektiv metod för framtida tunnelprojekt.

Resultaten som presenterats i avsnitt 6 visade att bergtunnlar gick att modellera parametriskt i Grasshopper. Parametrisk modellering gick att tillämpa inom tunnelmodellering och den slutgiltiga modellen var tillräckligt lik motsvarande modeller som modellerats i CAD-program. En jämförelse mellan de två olika modellerna behövde göras för att kunna analysera hur pass effektivt parametrisk modellering var. Det fanns både fördelar och nackdelar med den parametriskt skapade modellen jämfört med modellen som fanns i CAD programmet Microstation. Den avgörande faktorn för hur effektivt parametrisk modellering kunde vara i denna jämförelse var tiden det tog att både skapa en modell, men också att göra eventuella ändringar i efterhand.

Figur 7.1 modeller från vänster: Grasshopper, Microstation.



Figur 7.1 visar de två modellerna som var underlaget för en jämförelse mellan de olika arbetsmetoderna.

CAD modellen var en befintlig modell tagen från en av stationerna till den nya tunnelbanan i arenastaden, ett projekt som WSP arbetat med. Den parametriskt skapade modellen har utgått från denna CAD modell. Dimensioner och mått skiljer sig en aning mellan modellerna, men i och med att den ena modellen är parametriskt skapad så är det enkelt att ändra dessa parametrar i efterhand.

För att få en objektiv och rättvis jämförelse behövdes en erfaren projektör med kunskap inom programmet Microstation. Aron Berglund, projektör på WSP bergteknik var med som stöd för att uppskatta hur mycket tid som skulle behöva läggas ner på eventuella ändringar i CAD modellen.

Redan under de första veckorna under examensarbetet visade det sig att det går snabbare att skapa en tunnelmodell i Microstation än i Grasshopper. Anledningen är att när man modellerar något parametriskt så är det egentligen relationen mellan de olika delarna man skapar som tar lång tid att uttrycka. Det tar tid att på ett logiskt sätt skapa de förutsättningar som behövs för att en modell ska kunna vara anpassningsbar och dynamisk när den är färdig. Dock måste det belysas att när man väl har kommit in i hur parametrisk modellering fungerar och börjar känna sig bekväm med Grasshopper så får man upp tempot och blir snabbare på att skapa dessa relationer.

Ett färdigt script som har skapats för ett projekt skulle kunna ha ett värde även för framtida projekt. Det betyder att det är möjligt att återanvända ett script som redan har skapats för ett projekt.

Utgångspunkten för denna jämförelse var att när en parametrisk modell skapats i Grasshopper så har minst lika mycket eller mer tid lagts jämfört med en motsvarande modell i Microstation. Nästa fråga, och kanske den mest intressanta frågan under detta examensarbete var om den parametriskt skapade modellen kunde vara mer fördelaktig och effektiv när ändringar behövde göras jämfört med den modell som skapats i Microstation?

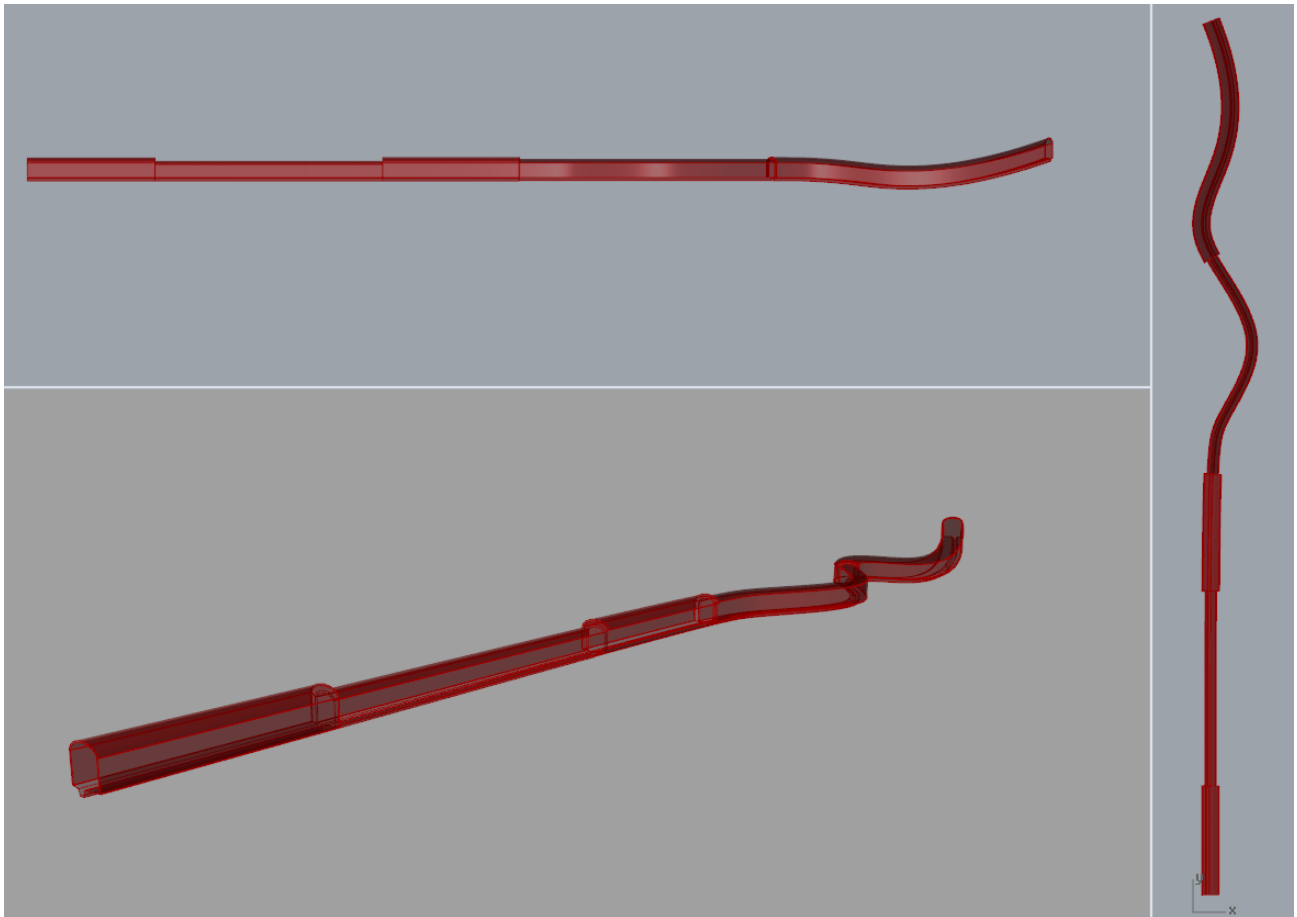
Efter Arons feedback visade resultaten att den parametriskt skapade modellen överlag är mer effektiv än CAD modellen vad gäller ändringar i efterhand. Det mest tydliga exemplet var när konstruktören ombads att uppskatta hur lång tid det skulle ta att ändra bredden på varje tunnels förstärkningsutrymme på grund av att man har räknat fel på dimensionering av sprutbetong och man skulle behöva lägga till 5 cm extra på varje sektion. Projektören uppskattade att det skulle ta minst 2 dagar att ändra alla tunnarna, men troligen mer än så. I värsta fall skulle det kunna ta upptill en vecka att göra alla nödvändiga ändringar i CAD modellen och sedan kontrollera att alla ändringar stämmer (Berglund, 2019). Andra justeringar som skulle kunna behöva genomföras var:

- En tunnel behöver flyttas i sidled
- Ändra längd på en tunnel
- Ändra höjd och bredd på tunnarna
- Position på en tvärtunnel skulle behöva ändras

Alla dessa justeringar uppskattades totalt ta ungefär sex timmar att genomföra. Jämförs detta med den parametriskt skapade modellen som kan göra dessa ändringar på några minuter så visade jämförelsen att det definitivt finns potential för effektivisering av projekteringen för bergtunnlar. Just när det gäller ändringar i tunnelsektionens höjd bredd och tjocklek på förstärkningsutrymme går det otroligt snabbt att justera måtten i efterhand i den parametriskt skapade modellen.

För bergteknikavdelningen blir det extra frustrerande att behöva göra ändringar i efterhand eftersom det oftast är de som behöver anpassa sig efter andra aktörer. Med en parametrisk modell skulle mycket av både tiden och frustrationen som uppstår i samband med ändringar kunna undvikas.

Värt att notera var att tidsuppskattningen för CAD-modellen endast gjordes av en projektör. tidsuppskattningen hade kunnat se annorlunda ut om flera projektörer hade deltagit i jämförelsen. Resultatet hade dock troligen blivit liknande. I och med att den parametriska modellen kunde göra ändringar i efterhand på minuter så hade jämförelsen ändå visat potential för effektivisering.



figur 7.2: tunnlar med olika typsektioner som följer varandra.

Även längden på tunnlar tog mindre tid att justera i den parametriskt skapade modellen jämfört med CAD modellen. Förutsatt att datorn klarar av tunga filer så kan långa tunnlar med olika sektioner skapas. I figur 7.2 har ett och samma script använts på de tre första tunnarna (de raka tunnarna). Det enda som är annorlunda är deras respektive parametrar för tunnelsektionen.

Även VA-gravens parametrar gick snabbare att justera i efterhand än vad det gör i CAD modellen. Värt att notera är att detta examensarbete hade vissa avgränsningar vad gäller modellering av VA-gravar. WSP:s tunnelmodell skapad i Microstation hade en mer komplex och oregelbunden VA-grav. Eftersom examensarbetet avgränsat sig på VA-graven så gjordes inga djupgående jämförelser på just den delen.

Även om fördelarna var många med Grasshopper så dök det upp en del svårigheter under examensarbetets gång. Många timmar spenderades på att lära sig att använda Grasshopper och dess ingående komponenter. Hur de samverkar med varandra och hur man ska gå till väga när något inte funkar som det ska. För att kunna jobba effektivt med Grasshopper behöver användaren tid att lära sig om mjukvaran. Detta gäller för alla mjukvaror, men eftersom parameterstyr modellering är en aning annorlunda arbetsmetod så krävs det tid smälta in och övning för att bli bättre.

En annan sak är att om en projektör själv inte vet var vissa komponenter har placerats i scriptet så är det svårt att hitta jämfört med om man skapat sitt egna script. Eftersom det inte finns någon standardmall för vart eller hur komponenter ska placeras så är det väldigt viktigt att försöka skapa ett tydligt script som även andra projektörer än en själv ska kunna använda.

Under detta examensarbete har mycket tid lagts på att skapa övergångar mellan olika tunnelsektioner parametriskt. Även om resultaten visar att det går att modellera övergångar i Grasshopper så finns det troligen tillfällen där CAD program kan vara enklare. Framförallt trattövergången när en tunnel möter en annan vinkelrätt var komplicerad att skapa i Grasshopper. Det var väldigt många nya ytor som behövde skapas och många ytor som behövde trimmas mot varandra. Dessutom behövde man skapa ett hål i den tunnel där övergången skulle ske, vilket också innebär en del trimning av ytor.

Det fanns tillfällen under examensarbetet där en samverkan av båda arbetsmetoder hade kunnat vara en bra lösning. Vissa element hade kunnat skapas med hjälp av CAD program och andra element med parametrisk modellering.

8. Slutsatser

Resultaten som presenterats i avsnitt 6 visar att bergtunnlar går att modellera parametriskt i Grasshopper. Parametrisk modellering går att tillämpa som arbetsmetod inom tunnelprojektering och den slutgiltiga modellen är tillräckligt lik motsvarande modeller som modellerats med CAD-program. Frågeställningarna som handlade om övergångar mellan olika tunnlar behövde finnas med i examensarbetet för att klargöra om det går att skapa flera tunnlar som kan hänga ihop med varandra. Olika tunnelsektioner möter varandra hela tiden, vilket innebär att övergångar mellan tunnlar är en viktig del inom tunnelmodellering. Avsnitt 6.2 och 6.3 visar att förutom att det går att modellera tunnlar parametriskt också går att skapa dessa övergångar mellan tunnelsektionerna parametriskt.

Frågeställningarna skapades i samarbete med WSP och eftersom målen med examensarbetet har uppfyllts bör man kunna konstatera att det går att tillämpa parametrisk modellering för projektering av bergtunnlar. Detta eftersom resultaten i avsnitt 6.1 visar att det går att skapa en komplex tunnelgeometri parametriskt. Avsnitt 6.2 visar att det går att skapa en övergång mellan två olika tunnelsektioner. Avsnitt 6.3 visar att det går att skapa en övergång mellan en tunnelsektion som möter en annan vinkelrätt.

I avsnitt 7 lyftes fördelar och nackdelar fram efter en jämförelse med en modell skapad i Microstation. Resultaten av detta examensarbete pekar mot att en parametriskt skapad tunnelmodell kan vara mer effektivt och smidig när ändringar och justeringar behöver göras i efterhand jämfört med en motsvarande CAD-modell. Detta gör att man kan dra slutsatsen att parameterstyrda modeller kan vara en effektiv arbetsmetod för framtida tunnelprojekt.

Examensarbetets avgränsningar på VA-graven på grund av tidsbrist skapar en möjlighet för kommande examensarbeten. Eftersom VA-graven kan bli mer komplex än den modell som skapats under examensarbetet betyder det att bergteknikavdelningen behöver lägga ner mycket tid på ändringar av VA-graven. Om en koppling eller länk mellan informationen som VA-aktörerna har och Grasshopper kunde skapas skulle eventuellt en automatisering av VA-gravens modellering ske. Med koppling eller länk menas att Grasshopper läser av VA-aktörernas data och överför det till ytor i Grasshopper och Rhinoceros. En länk skulle exempelvis kunna vara med hjälp av programmet Excel.

En annan sak som framtida examensarbeten kan undersöka är hur mycket information som kan hämtas ur en parametrisk tunnelmodell. Med information menas exempelvis data som används för att få ut volymer och areor från modellen. Detta examensarbete har inte tagit någon hänsyn till information som går att få ut men det finns potential att bland annat få ut volymer och areor och andra data som kan vara av intresse för bergteknikavdelningen när man i ett senare skede ska mängda sina modeller.

9. Rekommendation

De resultat och slutsatser som har redovisats i detta examensarbete visar den potential som parameterstyrd modellering kan ha när det tillämpas inom modellering av bergtunnlar.

Det finns fortfarande utrymme för vidareutveckling av scriptet och metoderna som har använts under detta arbete men lyckas ytterligare några steg tas vid utvecklingen av ett fullständigt script så kan parameterstyrd modellering definitivt vara en arbetsmetod för bergteknikavdelningen på WSP. Därför rekommenderas WSP Bergteknik att fortsätta utveckla scriptet som skapats och försöka implementera det i ett framtida projekt. WSP rekommenderas också att undersöka möjligheterna för en möjlig länk mellan Va- aktörerna och Grasshopper.

Referenser

Autodesk. (2019). Products AutoCad. Hämtad 2019-05-09 från <https://www.autodesk.se/products/autocad/features>

Berglund Kronqvist Aron, konstruktör/projektör. WSP Bergteknik, Stockholm. Fysisk intervju 2019-05-08.

CadStudion AB. Nyheter i AutoCad. Hämtad 2019-05-09 från <https://www.cadstudion.se/autocad.html>

Datorkunskap. Vad är AutoCad. Hämtad 2019-05-09 från <http://www.dator.xyz/Programvara/engineering-software/128535.html#.XNQdgtixXmF>

Davidson Scott. (2019). Grasshopper in Rhino. Hämtad 2019-05-09 från <https://www.grasshopper3d.com>

Kilkelly Michael. (2016). 5 ways Computational Design Will Change the Way You Work. Hämtad 2019-04-08 från <https://www.archdaily.com/785602/5-ways-computational-design-will-change-the-way-you-work>

Mcneel Robert & Associates. (2019). Grasshopper. Hämtad 2019-05-09 från <https://www.rhino3d.com/6/new/grasshopper>

Mcneel Robert & Associates. (2019). Rhino 6 Features. Hämtad 2019-04-08 från <https://www.rhino3d.com/6/features>

Microtechstelladata. (2019). Rhinoceros. Hämtad 2019-05-09 från https://www.microtechstelladata.se/?page_id=31

Solidmakarna. Rhino. Hämtad 2019-05-09 från <https://www.solidmakarna.se/rhino/>

Teknikessen. (2019). Vad är Cad. Hämtad 2019-05-09 från <http://teknikessen.se/vad-ar-cad/>

Trafikverket. (2016). *Krav tunnelbyggande*. (Dokument ID: TDOK 2016:0231). Hämtad från <http://trvdokument.trafikverket.se/Versioner.aspx?spid=290&dokumentId=TDOK%202016%3a0231>

Trafikverket. (2019). *Projektering av bergkonstruktioner*. (ISBN: 978-91-7725-412-6). Hämtad från https://trafikverket.ineko.se/Files/en-US/57250/Ineko.Product.RelatedFiles/2019_062_projektering_av_bergkonstruktioner_1_1.pdf

Woodbury, Robert. (2010). *Elements of parametric Design*. Routledge. ISBN 978-0-415-77987-6. Använd 2019-04-08

Bilagor

Bilaga 1

Intervju med Aron, projektör/konstruktör på WSP Bergteknik.

Följande personer har deltagit i intervjun.

TT: Tony Tran

AB: Aron Berglund

PH: Panagiotis Haritidis

TT: Hur går tunnelprojekteringen till generellt?

AB: *Utifrån den input som vi (bergteknikavdelningen) brukar ha i projekt så brukar vi kalla hela den här (pekar på figur 4.x) för typ sektion och då tänker man på de ingående delar som ingår i en typsektion är en inre sektion där platskravet är. Under den har man en VA-grav.*

Nummer 4, 57 är VA-graven, medans nummer 6 är en genomgående schaktbotten som faller mot VA-graven. Nummer 1 är förstärkningsutrymmet. Utrymmet som vi reserverar för förstärkningsåtgärder för berget. Det kan vara en bult som sticker ut eller sprutbetong. I vissa fall kan det vara dräneringsmattor för att leda bort vatten från tunneln.

[---]

TT: Vad är det som avgör tjockleken på förstärkningsutrymmet? Finns det en standard eller varierar den?

AB: *Det skiljer sig mycket. Det finns ett span på ca 0,1 – 0,5 dm. det kan bero på geologin. Det kan bero på att man har en dålig bergkvalitet som då kan behöva mer sprutbetong tex. En sak som ofta ger ganska mycket förstärkningsutrymme är när man behöver dräneringsmattor för att leda bort vatten. Detta är vanligt vid publikutrymmen som stationer tex. En högre spännvidd ger också ett större förstärkningsutrymme.*

[---]

TT: Hur definierar du pilhöjden? (nummer 3 i figuren)

AB: *Detta är ju då en bergmekanikfråga. I berget så finns det en gravitativ kraft. När ett hål görs så skapas ett naturligt tryckvalv runt omkring hålet. Även om man inte hade tagit ut ett valv liknande hål så kommer det utrymmet falla ner och ett naturligt valv kommer att skapas ändå. Detta valv är ungefär en fjärdedel av bredden på hålet.*

[---]

PH: Vad är det för typ av rör som finns i VA-graven?

AB: *Det är dräneringsrör i de flesta fall. De ska ta upp vatten som på något sätt kommer in i tunneln. Det kan vara ytvatten från berget eller så läcker det in vatten från berget.*

[---]

PH: Om man skulle behöva mer sprutbetong så varje typsektion skulle öka med 5 cm, hur mycket tid skulle ni behöva lägga ner för en sån ändring?

Aron: *Jag tror att det skulle ta mer än två dagar. Vi skulle nog behöva räkna med en veckas jobb.*

[---]

TT: Hur lång tid tar det om du skulle vilja ändra längden på en tunnel och ändra höjd, bredd och förstärkningsutrymme?

AB: Ändra längden på en tunnel kan gå fort men i vissa fall skulle det kunna ta uppemot 2 timmar. Att höjd bredd och förstärkningsutrymme på tunnarna skulle ta kanske 4 timmar att modellera.

TRITA 19252