

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V  
PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ**

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE  
OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA  
KATEDRA GEOMATIKY



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

3D ANALÝZY ARCHEOLOGICKÉ LOKALITY

**Vedoucí práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.**

**leden 2019**

**Tomáš Příbyl**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „3D analýzy archeologické lokality“ vypracoval samostatně. Veškeré použité prameny, ze kterých jsme čerpal, jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Praze dne 13. ledna 2019

Tomáš Příbyl

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Jindřichu Hodačovi, Ph.D., vedoucímu této bakalářské práce, za odborné vedení, cenné rady, pomoc, trpělivost a čas věnovaný konzultacím při zpracování této práce.

Rád bych také poděkoval Ing. Petru Pánkovi, Ph.D., který mi během zpracování věnoval čas, cenné rady a názory.

## **Abstrakt**

Hlavním cílem bakalářské práce je zpracování v minulosti získaných dat území hradiště Hrad u Čimelic. Tato data byla již jednou zpracována, a na základě této práce by mělo dojít k jejich upřesnění.

Zadavatelem je paní PhDr. Dagmar Dreslerové Ph.D. z Archeologického ústavu Akademie věd České republiky, která také poskytla data, z nichž je DMT vytvořen. Model byl následně analyzován, čímž byla získána kubatura zbylého materiálu rozvalu. Na tomto DMT byla následně modelována pravděpodobná podoba valu, která byla dále analyzována.

Výsledky z jednotlivých částí práce byly navzájem porovnány. Závěry této bakalářské práce by mohly vést k novým poznatkům o lokalitě a mohou se stát základem dalších projektů a výzkumů.

**Klíčová slova:** DMT, TIN, ArcMap, AutoCAD Civil 3D, modelace, 3D model

## **Abstract**

The main aim of this Bachelor's thesis is to process the obtained data which concern the territory of the fortified settlement Hrad u Čimelic. This data has already been processed and on the basis of this thesis, they should be clarified.

Mrs. PhDr. Dagmar Dreslerová Ph.D. who works in the Archaeological Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic is data provider. The data was used to create the digital terrain model. The model was subsequently analyzed to obtain a kubatum of the remaining wall's material. The probable form of the wall which was further analyzed was modeled on this DMT.

The results from the individual parts were compared. Conclusions of this bachelor thesis could lead to new knowledge of the locality and could be the basis of other projects and research.

**Key words:** DMT, TIN, ArcMap, AutoCAD Civil 3D, modelation, 3D model

# Obsah

1	Úvod .....	8
2	Hradiště Hrad u Čimelic .....	9
3	Použitý software .....	10
3.1	ArcMap .....	10
3.2	AutoCAD Civil 3D .....	11
4	Analýza dat .....	12
5	Zpracování v programu ArcMap .....	14
5.1	Tvorba DMT .....	14
5.2	První modely území .....	16
5.3	Finální modely a analýzy .....	18
5.4	Závěr zpracování v programu ArcMap .....	21
6	Zpracování v programu AutoCAD Civil 3D .....	22
6.1	Tvorba návrhu valu-půdorys .....	22
6.2	Modelace valu .....	26
6.3	Rozbor výsledků.....	31
6.3.1	Modely s konstantní nadmořskou výškou .....	31
6.3.2	Modely s konstantní výškou nad terénem.....	34
6.4	Závěr zpracování v programu AutoCAD Civil 3D .....	35
7	Závěr.....	36
8	Bibliografie.....	37
9	Seznam obrázků.....	38
10	Seznam tabulek.....	39
11	Seznam příloh .....	40
11.1	Tištěné přílohy .....	40
11.2	Elektronické přílohy.....	40

## Seznam použitých zkratk

DMT ... Digitální model terénu

př. Kr. ... před Kristem

GIS ... Geografické informační systémy

TIN ... triangulated irregular network - nepravidelná trojúhelníková síť

# 1 Úvod

Již několik let probíhá zadavatelem, jímž je paní PhDr. Dagmar Dreslerové Ph.D. z *Archeologického ústavu Akademie věd České republiky*, výzkum historického vývoje lokality hradiště Hrad u Čimelic v okrese Písek. Důležitou součástí výzkumu bylo získání konkrétních dat v terénu, která by mohla vést k upřesnění hypotéz o této lokalitě. Ta byla následně zjištěna pozemním laserovým skenováním a geodetickým zaměřením skutečného stavu terénu. Z takto získaných dat byl následně vytvořen DMT spolu s dalšími výstupy.

Tato bakalářská práce se věnuje opětovnému zpracování výše zmíněných, a již jednou zpracovaných dat, a to jinými metodami, než kterých využil předešlý vyhotovitel, což by mohlo vést k novým poznatkům o území. Dále je v práci také vyhotovena modelace pravděpodobné podoby valu v době jeho vybudování.

V první části práce jsou uvedeny hlavní a nejdůležitější informace o zpracovávaném území. Dále je v této části představen veškerý použitý softwar. Spolu s ním jsou představeny také datové struktury a formáty, které byly během zpracování vytvořeny.

Popis pracovních postupů při zpracování a analýze dat je součástí druhé, nejobsáhlejší části této práce. Ta je rozdělena na 2 oddíly dle využívaného softwaru. První oddíl popisuje jednotlivé kroky a výsledky práce v programu ArcMap. V tomto programu byla analyzována převzatá data a následně z nich vytvořeny potřebné DMT. Ty jsou v závěru oddílu vzájemně porovnány a analyzovány. Hlavním výstupem je zjištění kubatury rozvalu. Druhý oddíl popisuje práci a její výsledky dosažené v programu AutoCAD Civil 3D. V tomto programu byla provedena modelace podoby valu. Výsledkem tohoto oddílu je model valu spolu s výpočtem jeho kubatury.

Z výše uvedeného vyplývá, že hlavním cílem této bakalářské práce je vytvoření DMT zaměřeného území, na kterém je následně vymodelována skutečná podoba valu před jeho rozvalením. Dalším z cílů je získání kubatur valu v obou podobách a následné porovnání, které by mělo odpovědět na otázku, kolik z původního materiálu zůstalo dodnes. Cíl lze stručně definovat jako získání přesnějších výsledků a vytěžení maxima informací z poskytnutých dat. Výsledky mé bakalářské práce budou také následně poskytnuty zadavateli pro usnadnění jeho dalších výzkumů.

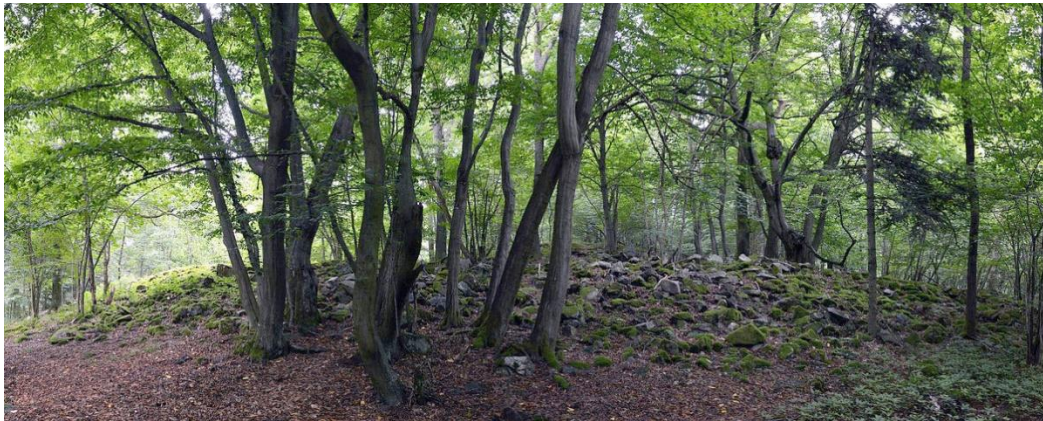


## 2 Hradiště Hrad u Čimelic

Hradiště Hrad u Čimelic se nachází v okrese Písek asi kilometr od obce Boudy. Hradiště leží na vrcholu kupovitého kopce v nadmořské výšce 574 m. Je tvořeno 2 valy kruhového tvaru, které jsou tvořeny z nasucho kladených kamenů. Vnější val uzavírá plochu 2,26 ha a vnitřní val plochu 0,54 ha. Oba valy jsou k sobě navzájem nepravidelné, ovšem vnější val obkružuje hradiště při zachované vzdálenosti od jeho středu. Vchod do vnějšího valu se mohl nacházet na jeho západní straně, kde má zhruba 4 metry širokou mezeru. Naopak vstup do vnitřního hradiště byl nejpravděpodobněji v jeho východní části. (1)

Vznik tohoto hradiště je odhadován do doby 600 až 450 př. Kr., tedy do starší doby železné, nazývané také halštatské. Účel hradiště podle badatele Bedřicha Dubského byl pevnostní. Ovšem po nedávném výzkumu *Archeologického ústavu Akademie věd České republiky* se zdá, že hradiště sloužilo jako místo, na němž se scházeli okolní komunity při výjimečných událostech. Různé části valů vykazují různé způsoby stavby, což by naznačovalo, že se na stavbě podílel různé skupiny obyvatelstva z okolí různými technikami. (2)

*Obr. 1 : Vnitřní val hradiště (3)*



*Obr. 2 : Kamenná zed' v západní části valu (4)*



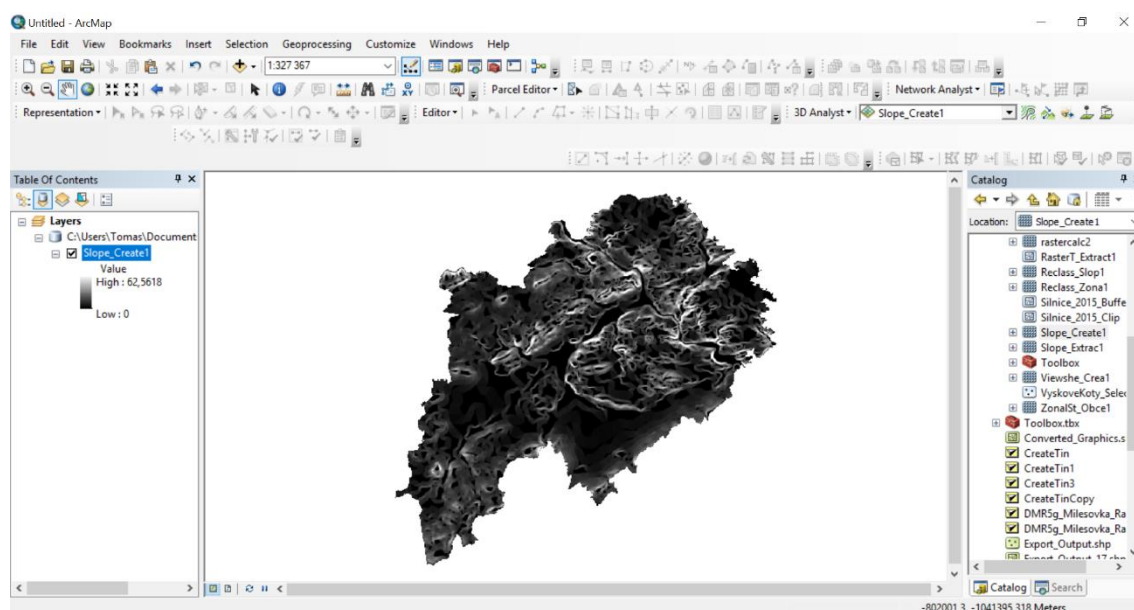
# 3 Použitý software

## 3.1 ArcMap

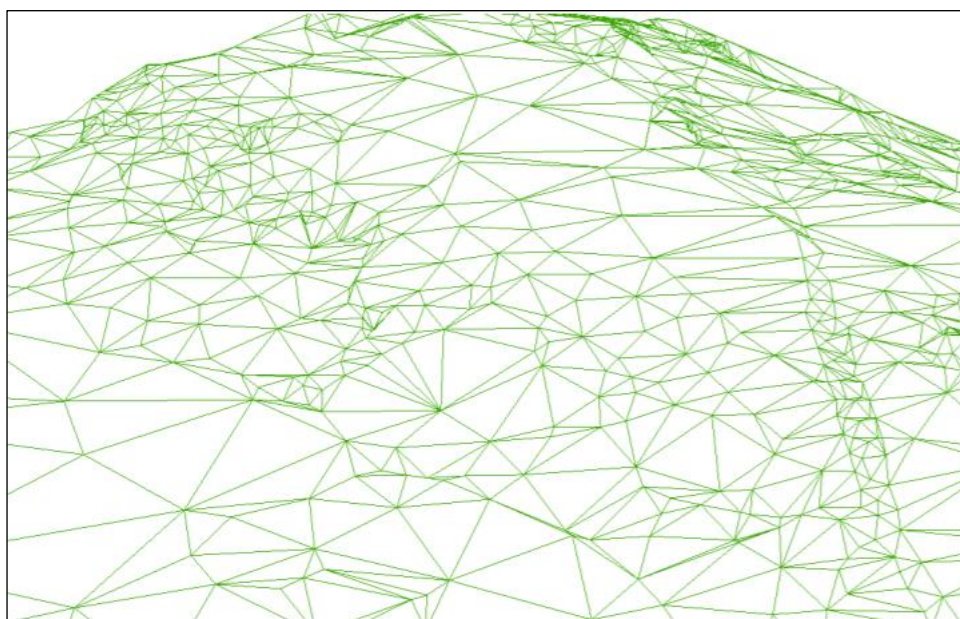
Program ArcMap je součástí softwarového balíku ArcGIS Desktop, který představuje seskupení systémových produktů společnosti ESRI (USA) pro tvorbu a správu geografických informačních systémů. Firma ESRI je od roku 1969 vývojářem globální GIS technologie. Celý systém se skládá z více modulů, díky kterým je možné vytvářet, analyzovat a vyhodnocovat řešení problému na základě použití geografických informací. Tento software má velké uplatnění především při síťových analýzách v dopravě a celkově v oboru logistiky, zemědělství, územním plánování, geologii, správě chráněných území, zátopových oblastí a záchranných systémů. Velký přínos a využitelnost má jak pro státní správu, tak i v soukromý sektor. (5)

Program ArcMap byl využit převážně ke tvorbě DMT struktury TIN a následnou analýzu takovýchto modelů. TIN je vektorový model tvořený pomocí nepravidelných trojúhelníků. Vzniká triangulací vstupních bodů, jejíž podmínkou je vznik co nejvíce rovnostranných trojúhelníků. (6)

Obr. 3 : Ukázka pracovního prostředí ArcMap



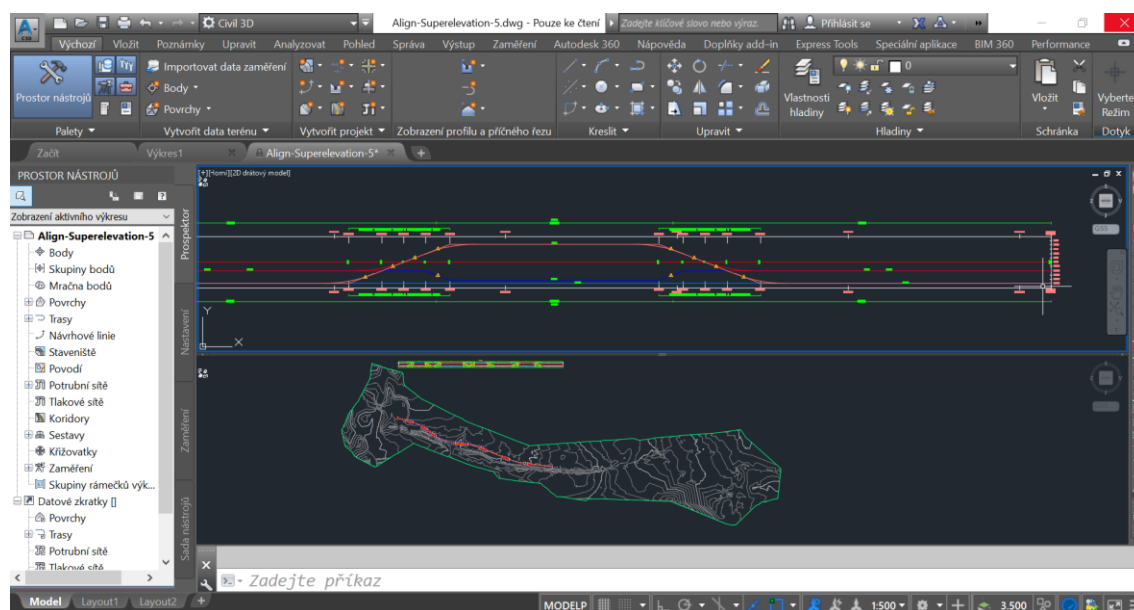
Obr. 4 : Ukázka struktury TIN (6)



## 3.2 AutoCAD Civil 3D

AutoCAD Civil 3D je CAD/BIM aplikace společnosti Autodesk, která byla založena v roce 1982 a specializuje se na 3D grafiku. Civil 3D je zaměřen na inženýrské stavby spojující kreslicí možnosti AutoCADu spolu s dynamickým modelem terénu. Hlavní využití aplikace je v dopravě a u liniových staveb, projektů obytných a obchodních zón, práce s krajinou, potrubím, kanály, skládky odpadů, rekultivace, sanace, těžbu nerostných surovin a mnoha dalších druhů inženýrských projektů. (7)

Obr. 5 : Ukázka pracovního prostředí Civil 3D



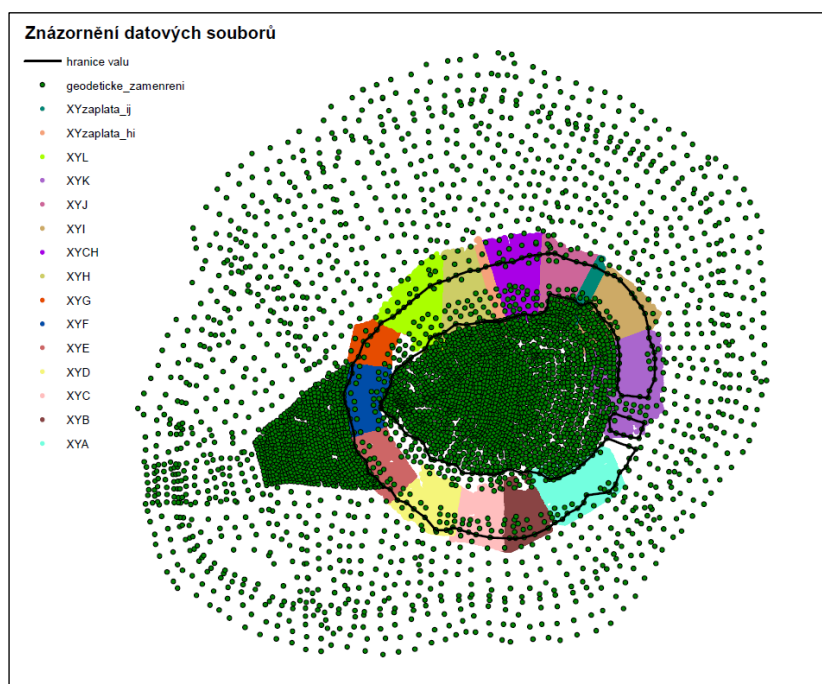


## 4 Analýza dat

V této části bakalářské práce budou popsána veškerá vstupní data a jejich úpravy pro další zpracování. Primárně je důležité zmínit, že všechna data, která byla použita byla získána od pana Ing. Čišeckého z *Archeologického ústavu Akademie věd České republiky*.

Pro zpracování bakalářské práce byly stěžejním zdrojem dat hlavně seznamy souřadnic bodů zpracovávaného území. Tyto seznamy souřadnic se dají rozdělit do tří skupit. První skupinu tvoří data naměřená v roce 2003 pozemním laserovým skenováním. Tuto skupinu tvoří 7 seznamů souřadnic pojmenovaných postupně XYA až XYG. Druhou skupinu tvoří data naměřená v roce 2005 taktéž metodou pozemního laserového skenování. Tato skupina je tvořena 8 seznamy souřadnic. Seznamy pokračují v řadě písmenných pojmenování, a to od XYH do XYL. Dále do této skupiny patří 2 seznamy souřadnic, které zhušťují prostor mezi oblastmi I a J, H a I. Tyto seznamy jsou pojmenovány XYzaplata\_HI a XYzaplata\_IJ. Poslední, tedy třetí skupinu, tvoří seznam souřadnic, který byl pořízen pozemním geodetickým zaměřením s názvem XYgeodeticke\_zamereni. Zatímco první dvě skupiny mapují území samotného valu, data naměřená geodetickým měřením mapují nejen val, ale i jeho okolí, konkrétně celé území, které je valem obehnané a také prostor mezi vnitřním a vnějším valem. Znárodnění oblastí, které jsou zachyceny jednotlivými seznamy souřadnic, je vidět na obrázku číslo 6. Z obrázku je patrné, jak hustě byly zaměřeny oblasti pozemním laserovým skenováním, a také rozsah geodetického zaměření území. Černou čarou je na obrázku zachycena hranice rozvaleného valu. Tato křivka byla součástí dat jako jeden z gisových souborů a určuje hranici rozvaleného valu.

Obr. 6 : Znárodnění rozložení datových souborů



Vytvoření seznamů souřadnic a určení jejich správnosti, předcházely analýzy všech zaslaných materiálů. Materiály obsahovaly velké množství dat zpracovaných v různých programech, a tedy i různých datových formátech. Také seznamy souřadnic, které byly nakonec použity, byly původně v různých datových formátech. Data získaná pozemním laserovým skenováním byla v textovém souboru s příponou *dat*. Data geodetického zaměření byla v gisovém souboru *shapefile*. Proto byl velmi důležitý vhodný výběr softwaru pro zpracování. Pro veškeré prvotní analýzy území byl vyhodnocen jako ideální ArcMap. V důsledku tohoto rozhodnutí bylo nutno seznamy souřadnic XYA až XYL a záplaty převést do formátu, ve kterém je bylo možné nahrát do ArcMapu. Tento proces byl značně pracný, a to z důvodu velkého množství naměřených bodů. Pro převod a vstup bodů do ArcMapu bylo zvoleno převedení dat do, ArcMapem podporovaného, databázového formátu *dbf* a následné nahrání do programu. Během těchto převodů se nabízela možnost seskupení dat patnácti menších seznamů souřadnic v jeden obsáhlý. Ovšem, po uvážení velikosti, jakou by jediný soubor měl, bylo rozhodnuto data ponechat rozdělena. Spojení by zmenšilo počet různých výpočtů, ovšem velikost souboru by mohla právě tyto výpočty časově zkomplikovat nebo dokonce znemožnit. Rozdělená data tedy znamenala opakování výpočtů zvlášť pro každý soubor, ale jistotu provedení výpočtu, a to často v rozumném čase.

## 5 Zpracování v programu ArcMap

Po výše uvedených úpravách souborů bylo možné přistoupit k samotnému zpracování dat. Nejprve bylo nutné si vytvořit představu o tom, jak zaměřené území vypadá. Vhodným nástrojem, který by nám dal tuto možnost, je DMT. Proto pro prvotní zpracování, které zahrnovalo hlavně tvorbu různých konfigurací a možností DMT z našich dat, byl zvolen jako nejvhodnějším již dříve uvedený ArcMap. Tento program byl vybrán hlavně pro jeho možnost práce a editace velkého množství dat, a také díky jeho nástrojům a jednoduchosti tvorby a úpravy DMT.

Pro získání představ o území byl nejprve vytvořen DMT z dat získaných geodetickým zaměřením. Model zachycuje celé zkoumané území a jeho okolí, ovšem v místech rozvaleného valu je hustota zaměřených bodů značně řídká. A právě z toho důvodu, je tento model ideální pouze pro nastínění toho, jak území vypadá. Jeho největší přínos bylo především to, že zachycuje okolí valu, čehož bylo v dalším průběhu práce využito. Dalším plusem modelu byla jeho velikost. Jelikož neobsahuje tak velké množství bodů, tedy i trojúhelníků tvořících strukturu TIN, byl velmi snadno a rychle vytvořitelný. Velikost modelu také snižuje náročnost procesů, které byly v dalších fázích prováděny. Z výše uvedených důvodů tento DMT sloužil jako ideální zjednodušení, na kterém byly prováděny veškeré zkoušky všech možných postupů práce. Zvláště během finální modelace samotné stěny valu ušetřil tento model spoustu času. Tato skutečnost se může zdát jako nevýznamná, ovšem během modelace, při které bylo vyzkoušeno množství postupů a metod, a tudíž i spousta opakovaných pokusů přepočtů a automatických umístování objektů, ušetřil mnoho času, oproti pokusům s plnohodnotným DMT zadaného území vytvořeným ze všech dat. Z tohoto důvodu je tento model zmíněn i v samotném textu této bakalářské práce (viz výše).

### 5.1 Tvorba DMT

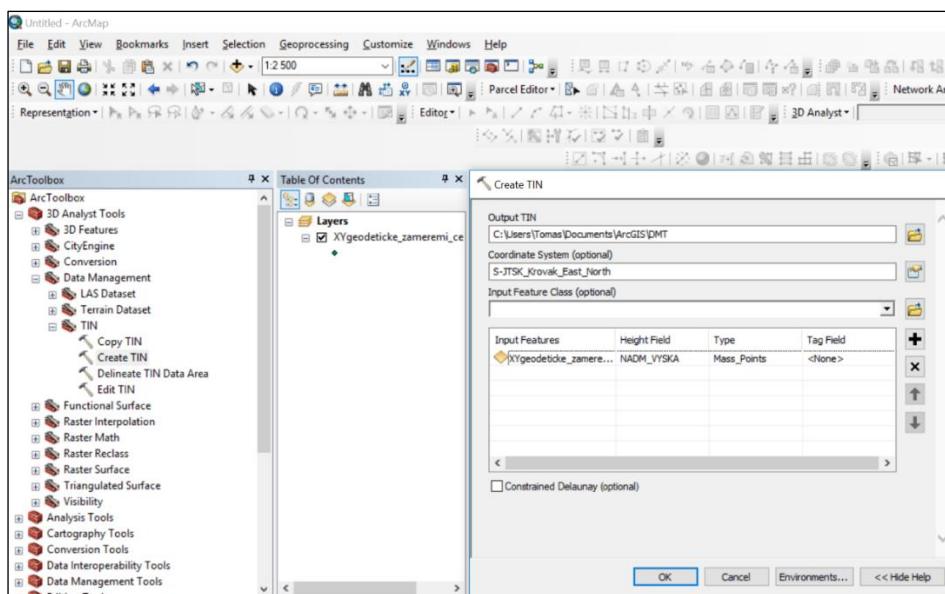
V této části bakalářské práce bude popsán postup tvorby DMT. Všechny modely byly tvořeny obdobným způsobem, jež bude níže popsán. DMT v této bakalářské práci byly tvořeny, jak jsem již uváděl, v programu ArcGis prostřednictvím jeho aplikace ArcMap a její nadstavbové části 3D Analyst.

Postup tvorby DMT v ArcMapu je snadný a do jisté míry intuitivní. Pro tvorbu DMT je obecně možné využít bodových, liniových i polygonových datových vrstev. Je důležité zmínit, že jsem během zpracování pokaždé tvořil vektorové modely terénu, které jsou označovány TIN. Základem pro tvorbu našich modelů byl vždy jeden nebo více seznamů souřadnic, tedy bodové vrstvy, které byly nahrány do pracovního okna aplikace. V okně *Table of Contents* jsou k vidění všechny datové vrstvy, které byly nahrány do pracovní plochy. V tabulce je možnost upravovat pořadí jednotlivých vrstev, což ovlivňuje jejich viditelnost, pokud se překrývají. Dále je tu možnost úplného vypnutí viditelnosti

jednotlivých vrstev na pracovní ploše. Po nahrání všech dat potřebných pro tvorbu DMT, v tomto případě seznamů souřadnic, bylo vše připraveno ke tvorbě DMT.

V okně *ArcToolbox* lze nalézt, kromě ostatních standardních nástrojů i nadstavbové nástroje *3D Analyst Tools*, které byly využity při tvorbě modelu. Z množství záložek této nadstavby byl vybrán *Data Management* a následně záložku *TIN*, ve které se nacházejí funkce vztahující se právě k této požadované, struktuře. Zde byla vybrána funkce *Create TIN*. Jak již název funkce napovídá, pomocí této funkce byl vytvořen vektorový model terénu. Po spuštění funkce bylo otevřeno dialogové okno této funkce. V tomto okně postupně byl vybrán název a místo uložení vytvořeného modelu, souřadnicový systém modelu a datové vrstvy ze kterých bude model tvořen. U navolených datových vrstev se dále volí *Height Field*, kde se vybírá, který sloupec z atributové tabulky bude programem považován za výšku v daném bodě. Dále *Type* což určuje typ a vlastnosti datové vrstvy v modelu. U bodových vrstev se jedná o *Masspoint*, což jsou výškové body, které budou tvořit vrcholy trojúhelníkové sítě. U liniových vrstev jsou to *Hardline* a *Softline*, což jsou spojnice, které ovlivní tvar modelu. A nakonec u polygonových vrstev *Hardclip* a *Softclip*, což jsou plochy, které ohraničí obvod budoucího modelu oříznutím okolní oblasti. *Harderase* a *Softerase*, což jsou opět plochy, které ohraničí území, kde se model nebude vytvářet. V tomto případě to jsou například budovy nebo vodní plochy. A jako poslední *Hardplace* nebo *Softplace* což jsou plochy, ve kterých má být výška modelu konstantní, příkladem jsou vodní plochy. *Hard* a *Soft* označuje zlomy terénu a plynulý přechod výšky. Posledním parametrem, který byl při tvorbě volen je popis jednotlivých segmentů modelu ve sloupci *Tag Field*. Zde je možnost nechat sloupec prázdný, a tedy i bez popisu nebo zvolit sloupec atributové tabulky, kterým je každý segment popsán. Posledním krokem je potvrzení kliknutím na *OK* a povrch TIN se automaticky začne vytvářet. Postup je znázorněn na následujícím obrázku. (8)

Obr. 7 : Postup tvorby DMT struktury TIN v programu ArcMap



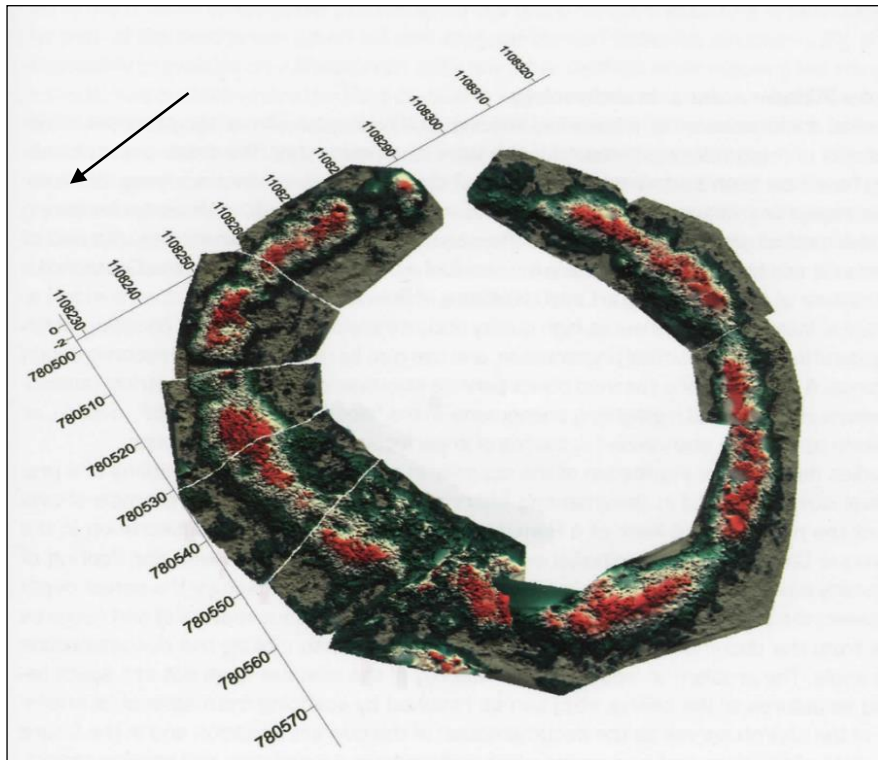
Poté se začne vytvářet model. Doba vytváření závisí na množství dat, ze kterých je model tvořen. Hotový model se zobrazí v pracovním okně. Standardně bývá model vykreslen do devíti barev znázorňující rozmezí nadmořských výšek. Toto rozdělení lze snadno pozměnit, ať přidáním množství intervalů, tak i změnami délky jednotlivých intervalů. Dělení bylo vhodné pozměnit vzhledem k charakteru zpracovávaného území. V místech tvořící okolí valu nebylo detailní vykreslení nijak extra důležité, proto bylo namísto nechat delší intervaly. V místech nebo spíše výškách ve kterých se nachází val bylo ovšem přínosné intervaly zkrátit v některých případech i na pouhých 20 cm. V maximálních výškách byl interval také zkrácen, ovšem ne již na tak nízké číslo. K těmto změnám se dá dostat poklepáním pravým tlačítkem myši na název DMT v *Table of Contents* a následným zvolením záložky *Properties*. V této sekci se zvolí záložka *Symbolology*, ve které tato nastavení nalezneme. V této sekci lze měnit intervaly manuálně, jak je popsáno výše, nebo použít automatického dělení za pomoci statistických či matematických metod. V neposlední řadě zde lze měnit barevnou škálu, kterou se budou jednotlivé nadmořské výšky a jejich intervaly vykreslovat. Vytvořený DMT se v ArcMapu zobrazuje ve 2D zobrazení. Pokud bude ovšem potřeba vytvořený model zobrazit a prohlédnout ve 3D, lze využít další z aplikací ArcGis a to aplikaci ArcScene, která toto zobrazení umožňuje.

## 5.2 První modely území

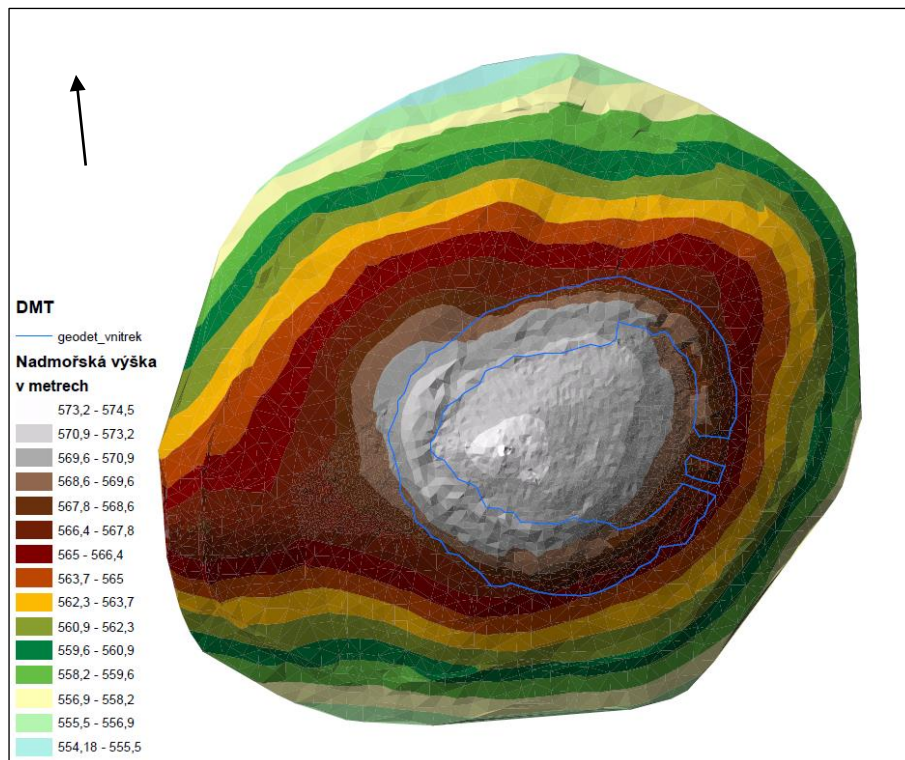
Již z prvního modelu bylo zjištěno několik zajímavých informací. Tou hlavní bylo, že území obehnané valem stále stoupá, tedy nejedná se o plochý vrchol kopce. Vrchol kopce dosahuje vyšší nadmořské výšky než většina dnes rozvaleného valu. Tato skutečnost byla pro mne překvapením, neboť dat, která jsem obdržel, a která obsahovala i několik modelů, vyplývalo něco jiného. Z modelů nebylo vůbec poznatelné, že celý val stojí v kopci. Po vytvoření prvního DMT jsem byl tedy velmi zaskočen, jelikož ukazoval jinou skutečnost, než kterou jsem po prohlédnutí obdržených modelů očekával. Vzhledem k očekávanému rovinatému vrcholu kopce, měly být nejvýše položenými body modelu právě vrcholky již rozvaleného valu. Ty měly také být jasně patrné, stejně tak jako v dřívějších modelech zpracování. Místo toho byl vytvořen, zjednodušeně řečeno, DMT kopce, bez jasně patrného valu. Prvotní překvapení byla lehce zmírněno po upravení hranic vykreslování jednotlivých výškových pásem, po kterém byl rozvalený val alespoň trochu více patrný. Vysvětlení tohoto jevu bylo nakonec jednoduché. Model vytvořený dříve nebyl tvořen z absolutních naměřených výšek. V datech jsem našel několik souborů se seznamy souřadnic, jejichž výšky nebyly nad rovinou moře, ale nad jistou srovnávací rovinou. Tato úprava nakonec zapříčinila právě dojem, že val se nachází na rovinném povrchu, a ne v kopci. Nutno dodat, že tato skutečnost byla dále podpořena také tím, že v předcházejícím modelu byl zachycen pouze val bez prostoru jím obehnaném. Porovnání obou prezentací je na následujících obrázcích, první obrázek číslo 8 zachycuje model území vytvořený předešlým zpracovatelem a na druhém obrázku číslo 9 je mnou vytvořený DMT.



Obr. 8 : Celkový pohled na vnitřní val. Zobrazení v programu Surfer: A. Danielisová (9)



Obr. 9 : První zjednodušený DMT z dat geodetického měření



## 5.3 Finální modely a analýzy

Po zorientování se v datech a celkově ve zpracovávaném území, bylo přistoupeno ke tvorbě pracovních modelů vhodných k analyzování. První myšlenkou bylo ořezání všech dat polygonem tvořícím plochu valu. Tento polygon byl snadno vytvořen v programu ArcMap. Základem pro něj byla linie tvořící hranice rozvaleného valu. Tato linie v gisovém formátu byla součástí prvotních dat. Linie byla pomocí příkazu *Feature To Polygon* převedena v již zmiňovaný polygon, který tvoří plochu valu. Tento polygon byl důležitý hlavně pro budoucí průběh práce.

Následně byly nahrána veškeré datové sady a postupně, pomocí funkce *Clip*, každá z nich ořezána. Funkce *Clip* funguje snadno, a to tím způsobem, že ze dvou vrstev vytvoří novou, která obsahuje veškeré objekty, které jsou společné pro obě vrstvy. Tedy v tomto případě bude vytvořena datová sada pouze těch bodů, které leží uvnitř polygonu. Je důležité zadat, že vrstva, která z funkce vystupuje, bude mít atributy a vlastnosti vstupní vrstvy. V našem případě je vstupní vrstva bodová, a tedy i výsledkem bude bodová vrstva. Z takto získaných datových sad byl vytvořen DMT, který měl tvořit pouze rozvalený val. DMT byl získán postupem popsáním v kapitole 5.1. Tento model měl ovšem velkou nevýhodu. Prstencovitý tvar valu způsobil, že se body automaticky pospojovali i v místech, která měla zůstat nespojena a prázdná. Po konzultaci s vedoucím této práce bylo rozhodnuto, že ačkoliv se tento problém dá vyřešit odstraněním nepotřebných spojnic v jiném softwaru, by tento model při práci nebyl nikterak zásadní, a dokonce ani přínosný. Proto bylo z tvorby takového DMT upuštěno. Po větším zamyšlení a pohledu na následující práci, jsme se s vedoucím bakalářské práce shodli na tvorbě komplexních DMT, čímž se předejde takovýmto problémům. Komplexní modely mají vždy stejný tvar a velikost, což je vhodné pro následné porovnávání modelů, čehož je nejvíce ceněno při výpočtu kubatur. Tímto závěrem bylo rozhodnuto o dalším postupu. Vytvoření komplexního DMT ze všech datových souborů. Tedy souborů, které mapovaly samotný val, i dat geodetického zaměření, která vyplňovala prostor uvnitř a okolí valu. Takto vytvořený model je velice podobný prvnímu modelu, který byl vytvořen pouze z dat geodetického zaměření. Rozdíl těchto dvou modelů je v hustotě zaměření v prostoru valu, a tedy i jeho přesnosti a podrobnosti. Ve zbytku plochy jsou oba modely shodné, protože tyto prostory jsou tvořena z totožných dat geodetického zaměření. Právě v místech rozvaleného valu tvoří model velká spousta trojúhelníků struktury TIN, díky čemuž je tím nejpřesnějším a zároveň nejskutečnějším DMT zadaného území. Tento model naleznete v digitální příloze a můžete na něm jasně zřetelně vidět, že v místech valu je tvořen velmi hustou trojúhelníkovou strukturou. Změna je patrná natolik, že ani není potřeba zvýraznění hranice valu. (10)

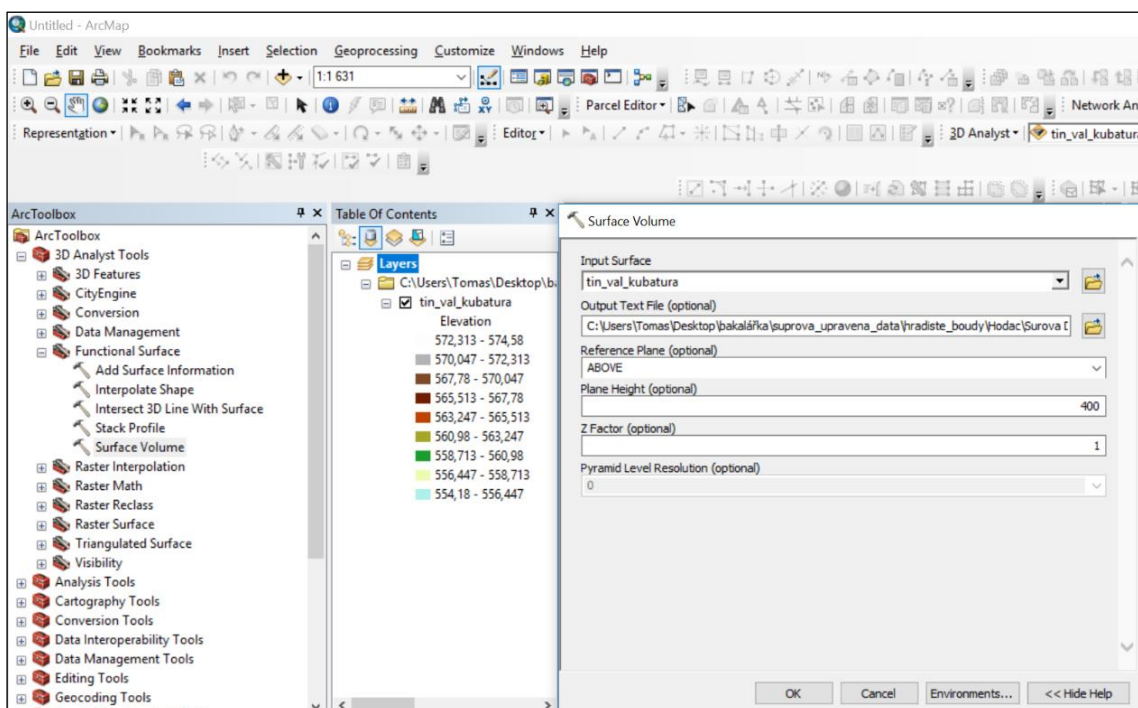
Takto podrobný val bylo vhodné zanalyzovat a zjistit o něm základní údaje. Zjištění základních parametrů, jako je 2D či 3D plocha modelu a především jeho objem, bylo provedeno pomocí funkce *Surface Volume*. Funkce je opět součástí *3D Analyst*, proto se k ní dostaneme opět přes *Arctoolbox* a v něm nástroje *3D Analyst Tools*. Zde byla vybrána záložka *Functional Surface* a nakonec funkce *Surface Volume*. Po otevření funkce vybereme z rozbalovací lišty *Input Surface* DMT, jehož objem budeme zjišťovat. Umístění a název výsledného textového souboru zadáme do *Output Text File*. Funkce počítá objem mezi analyzovaným povrchem a zvolenou referenční rovinou. Kromě volby

roviny je důležité také určení, zda se bude počítat objem nad referenční rovinou k povrchu nebo pod referenční rovinou k povrchu. Této volbě je důležité věnovat pozornost hlavně u členitých povrchů, jež referenční rovina rozděluje na 2 části. Tato volba byla provedena na liště *Reference Plane*, kde je defaultně nastavena hodnota *Above*, tedy výpočet nad referenční rovinou a výpočet pod referenční rovinou je označen *Below*. Výšku referenční roviny byla určena v záložce *Plane Height* a to na hodnotu 400 m. Tato hodnota byla volena, tak aby žádná část povrchu nezasahovala pod tuto hodnotu, a tím bylo zamezeno chybám ve výpočtu. Poslední položkou v nastavení výpočtu byl *Z Factor*. Tímto číslem by se násobila hodnota výšky. Toho se obvykle využívá při převodu lineárních jednotek výšky tak, aby odpovídaly lineárním jednotkám souřadnic X a Y. Defaultně je nastavena hodnota 1, která výšky nikterak nemění. Při výpočtu byla ponechána defaultní hodnota. Po spuštění výpočtu byl vytvořen do zvolené složky textový soubor, který obsahuje zjištěné údaje. Na následujícím obrázku je výstup z výpočtu a na dalším obrázku je znázorněn postup zadání výpočtu v programu. (10)

Obr. 10 : Výstup výpočtu objemu DMT s valem v ArcMap

Dataset,	Plane_Height,	Reference,	Z_Factor,	Area_2D,	Area_3D,	Volume
..a Data\vystup\tin_val_kubatura,	400,	ABOVE,	1,	26861.660500033,	29296.406795133,	4415678.8546763

Obr. 11 : Znázornění zadání výpočtu objemu DMT v ArcMap



Následný postup vedl ke zjištění kubatury valu, tedy toho, co z něj během vývoje zbylo. Výsledky, získané předešlým postupem, byly prvními kroky vedoucími k cílům tohoto úkolu. Po zjištění celkového objemu bylo potřeba vytvoření modelu, který v místech valu dále pokračoval v linii terénu. Zjednodušeně řečeno, vytvořit model toho, jak území vypadalo, kdyby tam žádný val nebyl. K vytvoření takového modelu bylo využito myšlenky, odstranění veškerých bodů, které byly zaměřeny na území valu. Po odstranění těchto bodů se při tvorbě modelu spojí body, které leží v kopci pod valem a nad valem. Spojením těchto bodů mělo vést k docíleno tíženého efektu, tedy zjištění toho, jak by svah pokračoval pod valem. Proto bylo prvním krokem odstranění těchto bodů. K tomu bylo využito již dříve vytvořené polygonové vrstvy tvořící území rozvaleného valu. K odstranění bodů nebo jakýchkoli jiných datových vrstev z území slouží funkce *Erase*. (10) Funkce se nachází opět v *ArcToolboxu* v sadě nástrojů *Analysis Tools* v záložce *Overlay*. Funkce funguje vlastně na obdobném principu jako funkce *Clip*. Rozdíl je ovšem v tom, že u funkce *Clip* jsou data, která se překrývají ponechána, zatímco u funkce *Erase* jsou tato data naopak odstraněna a nově vzniklou vrstvu tvoří zbylá data. Výše zmíněnou funkcí byly postupně upraveny všechny původní seznamy souřadnic. Důležitou úpravou tohoto procesu bylo doplnění bodů, které se nacházely na samotné hranici valu. Tyto body byly totiž předešlou funkcí odstraněny, ale bez nich by výsledný val ztrácel přesnost. Z toho důvodu byla vytvořena také další bodová vrstva, do které byly vloženy všechny body tvořící hranici polygonu a také ty body, které sice byly uvnitř polygonu, ale opticky tvořily hranici.

Z těchto dat byl vytvořen DMT postupem popsáným výše v kapitole 5.1. Tento model byl pojmenován pracovním názvem *rovina*, protože v místech valu byl teoreticky vyrovnán, model naleznete v digitální příloze. Na modelu je opět jasně vidět území tvořící rozvalený val. V tomto modelu, na rozdíl od předchozího, je ovšem viditelné z důvodu velkých a často protáhlých trojúhelníků struktury TIN, které spojují v modelu protilehlé body tvořící hranici území valu. Takový model přesně vyhovoval požadavkům, kterých mělo být tímto postupem docíleno.

Proto byla na řadě analýza DMT a zjištění základních parametrů. Postup byl stejný jako při zjišťování těchto informací u předešlého modelu i s valem. Tedy byly nastaveny stejné parametry, a to hlavně výška, ve které se tvoří referenční rovina. Nastavení jiné hodnoty by vedlo k fatální chybě. Výstup z výpočtu je na následujícím obrázku.

Obr. 12 : Výstup výpočtu objemu DMT bez valu v ArcMap

The screenshot shows a text window titled "kubatura\_rovina - Poznámkový blok" with a menu bar containing "Soubor", "Úpravy", "Formát", "Zobrazení", and "Nápověda". The main content area displays the following text:

```
Dataset, Plane_Height, Reference, Z_Factor, Area_2D, Area_3D, Volume
..ata\vystup\tin_rovina_kubatura, 400, ABOVE, 1, 26861.660500014, 28022.726191318, 4414641.3696406
```

Bylo také nutné ověřit správnost takto získaných dat. Nejjednodušším nástrojem kontroly bylo provést veškeré výpočty znovu, ovšem s jinými parametry, konkrétně s jinou výškou, ve které by se nacházela referenční plocha, nad kterou se počítá objem modelu. Proto byl postup opakován ještě jednou, a to s hladinou referenční plochy ve výšce 500 metrů nad mořem. Získané výsledky jsou shrnuty v tabulce číslo 1. Je patrné, že výpočty byly provedeny správně, což lze vyčíst ze shody velikostí všech čtyř ploch, které model zaujímá ve 2D. Jedná se o ukazatel toho, že modely se vůči sobě tvarově ani velikostně nezměnili v půdorysu. Shodují se také plochy 3D jednotlivých dvojic shodných povrchů. A nakonec rozdíl objemů získané dvojicí výpočtů jsou stejné. Tento rozdíl tedy určuje výsledek této části práce, a to kubaturu valu. Konkrétně kubaturu rozvalu valu nad hranicí terénu. Výsledky analýz modelů jsou shrnuty v následující tabulce číslo 1. v tabulce je vidět i výsledná kubatura valu, která činí přibližně 1037,5 m<sup>3</sup>.

Tabulka 1 : Porovnání DMT svalem a bez valu. Výsledná kubatura valu

Hladina referenční plochy	DMT s valem		DMT bez valu	
	400 m. n. m.	500 m. n. m.	400 m. n. m.	500 m. n. m.
Plocha 2D[m <sup>2</sup> ]	26861,661	26861,661	26861,661	26861,661
Plocha 3D [m <sup>2</sup> ]	29296,407	29296,407	28022,726	28022,726
Objem[m <sup>3</sup> ]	1729512,805	1729512,805	1728475,320	1728475,320
Výsledná kubatura [m <sup>3</sup> ]	<b>1037,485</b>			

## 5.4 Závěr zpracování v programu ArcMap

Zde bych rád shrnul veškeré práce a výsledky ze zpracování v programu ArcMap. Díky programu jsem se seznámil s veškerými datovými vrstvami, které jsem dostal. Data zde byla také upravena k dalšímu zpracování. Z upravených dat bylo vytvořeno několik DMT. Jedním z vytvořených modelů byl zjednodušený model vhodný k dalším pracím, hlavně k následné modelaci, která byla prováděna právě na tomto modelu. Další modely byly analyzovány. Výsledky, jako například jejich 2D plocha sloužily jako potvrzení jejich totožnosti. Díky tomuto potvrzení se mohly modely dále porovnávat. Dalším porovnáním modelů byla získána výsledná kubatura rozvaleného valu v podobě, v jaké byl zaměřen. Výsledná kubatura činí 1037,5 m<sup>3</sup>. Toto číslo v závěru celé bakalářské práce porovnáme s kubaturou modelovaného valu, což nastíní, jaké množství valu bylo odvezeno či odstraněno jiným způsobem. Digitální modely z této části jsou v digitálních přílohách v gisovém formátu *tin*.

# 6 Zpracování v programu AutoCAD Civil 3D

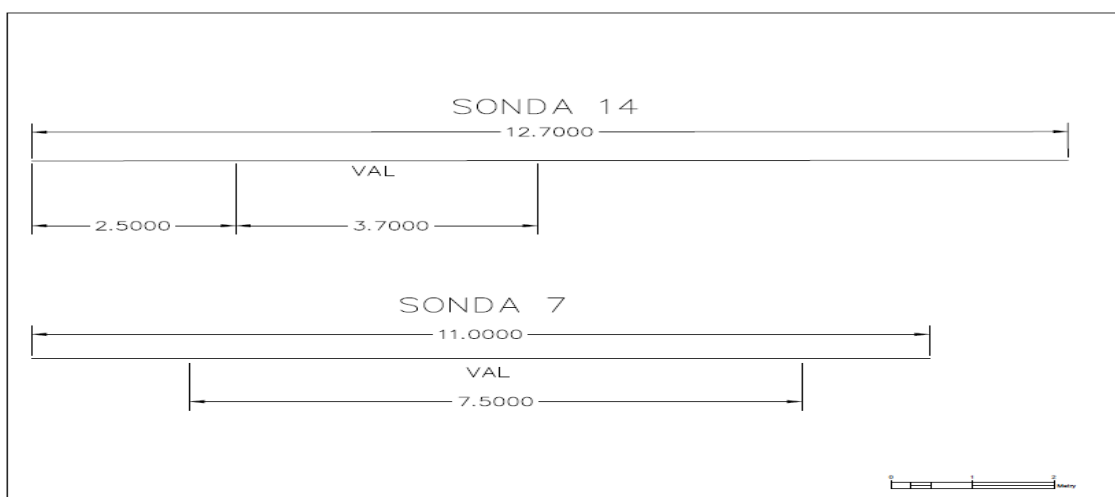
V této kapitole se již zaměříme na modelaci. Bude zde popsán postup všech prací, které vedly až k samotné modelaci, kterou byl vytvořen návrh podoby valu. Veškeré parametry modelu byly určeny a navrhnuty v souladu se získanými podklady, jejichž autorkou či spoluautorkou je paní PhDr. Dagmar Dreslerové Ph.D. z *Archeologického ústavu Akademie věd České republiky*, která je také poskytla a okomentovala. Všechny tyto podklady jsou uvedeny v seznamu literatury.

Před samotnou modelací vystávala otázka, jaký software použít. Pro výběr konkrétního vhodného softwaru bylo důležité software vyzkoušet, zda umožňuje veškeré funkce, které by mohly být potřeba. Jako ideální se zdál být MicroStation nebo některá ze součástí programu AutoCAD. Nakonec jsem se přiklonil k volbě AutoCAD Civil 3D. Jeho hlavní předností byla možnost vytváření povrchu struktury TIN a možnost následných úprav povrchu. Pro tyto úkony byl software navržen, proto má veškeré potřebné možnosti a funkce, které by během práce mohly být potřeba. Dalším důležitým aspektem byla možnost importu výsledků z předešlého postupu do programu. Tedy podpora gisových formátů, což ulehčilo práci.

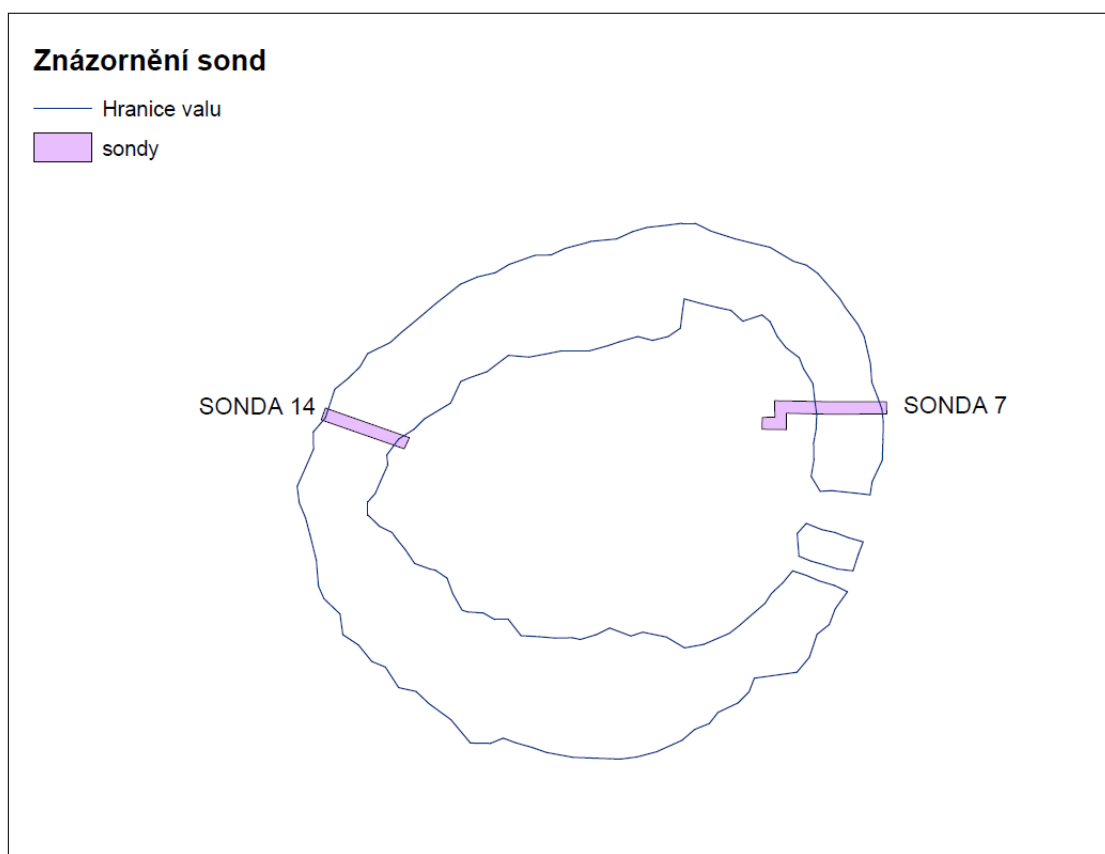
## 6.1 Tvorba návrhu valu-půdorys

Jelikož je výsledkem této části nástin toho, jak mohl val dříve vypadat, bylo důležité vhodně navrhnout veškeré parametry valu. Při návrzích jsem vycházel, jak jsem již výše uvedl, z podkladů. Celý návrh byl ovšem ještě prokonzultován se zadavatelem, abychom docílil co nejpřesnějších výsledků. První navrhovanou částí byl půdorys valu. Linie zobrazující hranici rozvaleného valu, která byla využita v předchozí části práce, zde určovat hranici valu nemůže. Zobrazuje hranici valu v době naměření dat, nikoliv jak vypadala v době, než byl val pobořen a rozvalen. To ovšem neznamená, že nebyla vůbec využita. Jelikož určuje hranici rozvalu bylo dohodnuto, že se bude uvažována jako hranice, za kterou by se návrh půdorysu neměl dostat. Tedy návrh by se neměl nikde křížit s touto linií. Další pomůckou ke tvarování byly dvě změřené sondy, jejichž nákres nám poskytl zadavatel. Sondy 7 a 14 tvořily dva profily v půdorysu. Udávaly nám tedy informace o umístění zdi a její šířce v daných místech. Nebyly bohužel úplné, ovšem důležité parametry jako šířka valu, byly v obou sondách. Konkrétní umístění těchto sond je vidět na obrázku číslo 14. Parametry v metrech těchto dvou sond jsou znázorněny na obrázku číslo 13.

Obr. 13 : Parametry zaměřených sond



Obr. 14 : Umístění měřených sond



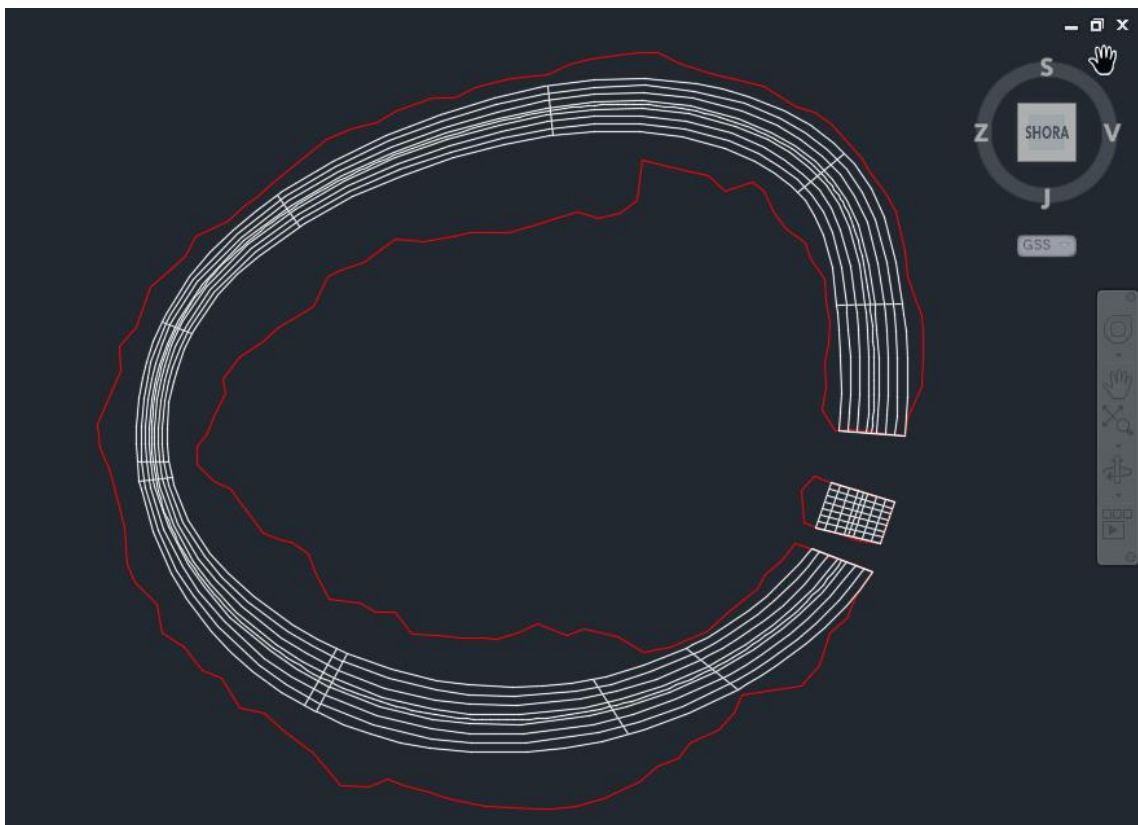
Zmíněné sondy představovaly jediné přesné údaje, ze kterých se dalo čerpat. Metoda tvorby byla tedy navržena a přizpůsobena tomuto faktu, a hlavně k maximálnímu využití těchto informací. Nejprve byla do AutoCADu nahrána linie hranice rozvaleného valu. Tím byl vymezen prostor pro tvarování. Do tohoto prostoru byly přesně umístěny zadané sondy s patřičnými rozměry, dále profily. Profily byly nakresleny v režimu *3D modelování* funkcí *úsečka*, za pomoci zadávání přesných rozměrů úseček. Dále bylo



zapotřebí vytvořit a vhodně umístit další profily. Bylo zvoleno doplnění dalších 5 profilů na hlavní části valu a 2 profily na menší části valu na východní straně. Volba umístění byla na strategických místech valu, tak aby celý návrh splňoval prostorovou podmínku, umístění uvnitř linie hranice rozvalu.

Velikost profilů byla volena na základě zadaných sond. Na koncích valu byly umístěny profily o délce 7,5 m, tedy stejné ze sondy 7. O stejné velikosti byly zvoleny a umístěny také profily na menší straně valu a nakonec také 2 profily na jižní straně valu. Poslední volený profil měl velikost 3,7 m, která odpovídá délce ze sondy 14. Ten byl umístěn poblíž sondě 14 v místě, kde se hranice rozvalu zužuje. Do prostoru mezi sondami nebyl vložen žádný profil. Dalším krokem bylo propojení profilů. K tomu bylo využito funkce kreslení křivky *Spline*. Křivka byla vytvořena tak, aby protínala všechny profily ve středu. A zároveň, aby se úhel protnutí co nejvíce blížil pravému úhlu, což bylo poupraveno i pootočením navržených profilů. Hlavním kritériem křivky bylo, aby co nejpřesněji opisovala tvar pomyslné osy hranice rozvalu. Dva profily v menší části valu byly navzájem spojeny klasickou úsečkou. Vše bylo připraveno k dokončení finálního návrhu půdorysu. Vytvořené profily byly následně pomocí funkce *Šablonování* spojeny. Funkce vytvořila plochu mezi vybranými průřezy. Musela být však následně doplněna o trajektorii, která určila zakřivení jednotlivých spojnic průřezů. Bez zadání trajektorie tvoří funkce vlastní zakřivení, které by nemuselo odpovídat požadavkům. Jako vodící trajektorie byla zvolena dříve vytvořená křivka *Spline*. Takto byla získána šablona požadovaného tvaru, která ovšem obsahovala vodící linie a byla bez vlastností, které byly potřeba. Na obrázku číslo 15 je vidět struktura *šablony*, která byla vytvořena.

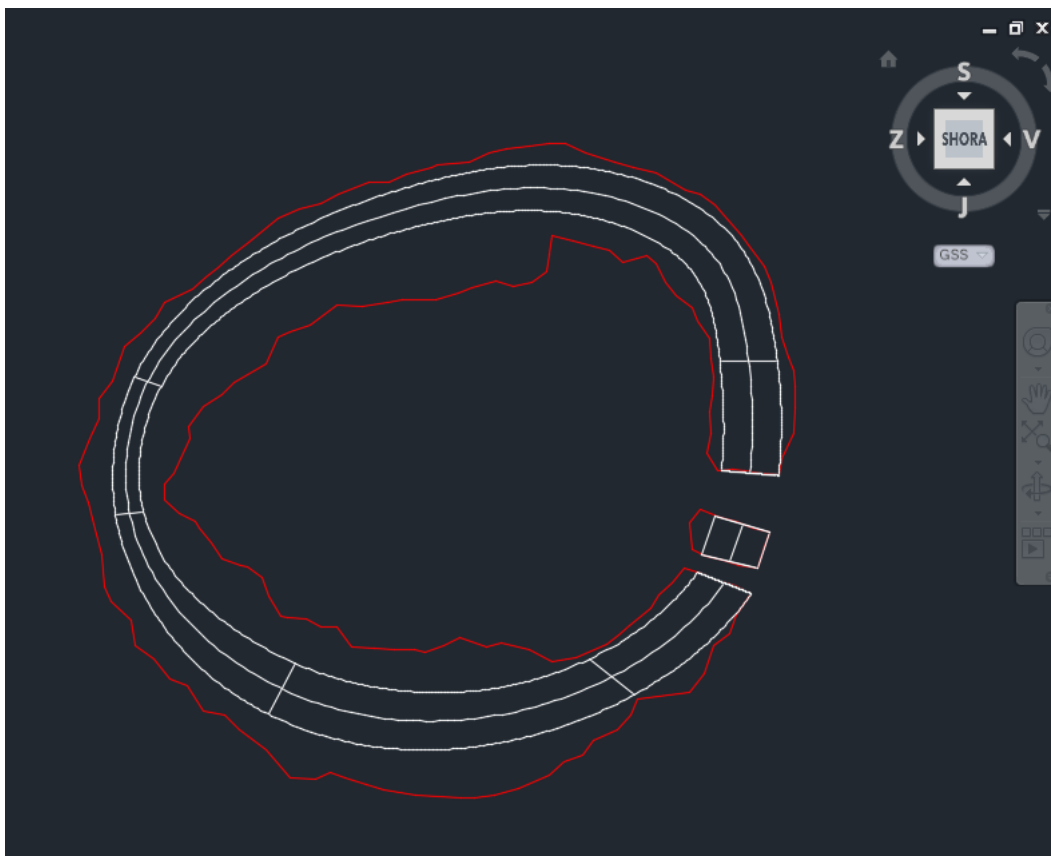
Obr. 15 : Šablona valu v Civil 3D





Aby bylo možné vytvořený tvar dále využívat při další modelaci, bylo nutné ze *šablony* získat jiný formát, umožňující připojení k povrchu či převedení na povrch. Formátem umožňující tyto požadavky je formát *křivka*. K převodu bylo využito snadného postupu, o kterém sice nemohu říci, zda byl nejjednodušší či nejelegantnější, ale fungoval, což bylo hlavní. Prvním krokem převodu bylo rozložení šablony pomocí funkce *Rozlož.* Touto funkcí se zbavíme vodících linií šablony. Dále rozdělí celý objekt na 4 části. Dvě hranice připomínající oblouky formátu *spline* a 2 úsečky spojující tyto oblouky. Následným krokem bylo spojení těchto 4 částí v jednu. K tomu bylo využito funkce *Spoj.* Po zadání tohoto příkladu byly označeny všechny 4 části a potvrzením se spojily v jednu křivku formátu *spline*. Zbýval poslední krok převodu a ten zajistila funkce *Kedit.* Tato funkce umožňuje úpravu *křivek* a objektů, které mají být připojeny s *křivkami*. Pro mne byla nejdůležitější vlastností funkce možnost převodu objektu, který není křivkou na křivku. Po spuštění funkce a potvrzení převodu na *křivku* se zobrazil dotaz na přesnost převodu. Dotaz se ukazuje pouze při převodu *spline* na *křivku* a určuje, jak přesně bude výsledná křivka odpovídat zdrojové. Volit je možné z hodnot 0 až 99. Pro mou křivku byla zvolena ideální hodnota přesnosti 10. Toto byl poslední krok převodu, a tím byla získána finální křivka, se kterou lze dále pracovat. Výsledný tvar a umístění křivky je vidět na obrázku číslo 16. Nutno dodat, že během prací jsem dlouhou dobu pracoval se spojenou křivkou formátu *spline*. Tato, řekl bych maličkost, ovšem bránila postupu v práci, protože neumožňovala některé funkce a úpravy.

Obr. 16 : Finální návrh půdorysu modelovaného valu



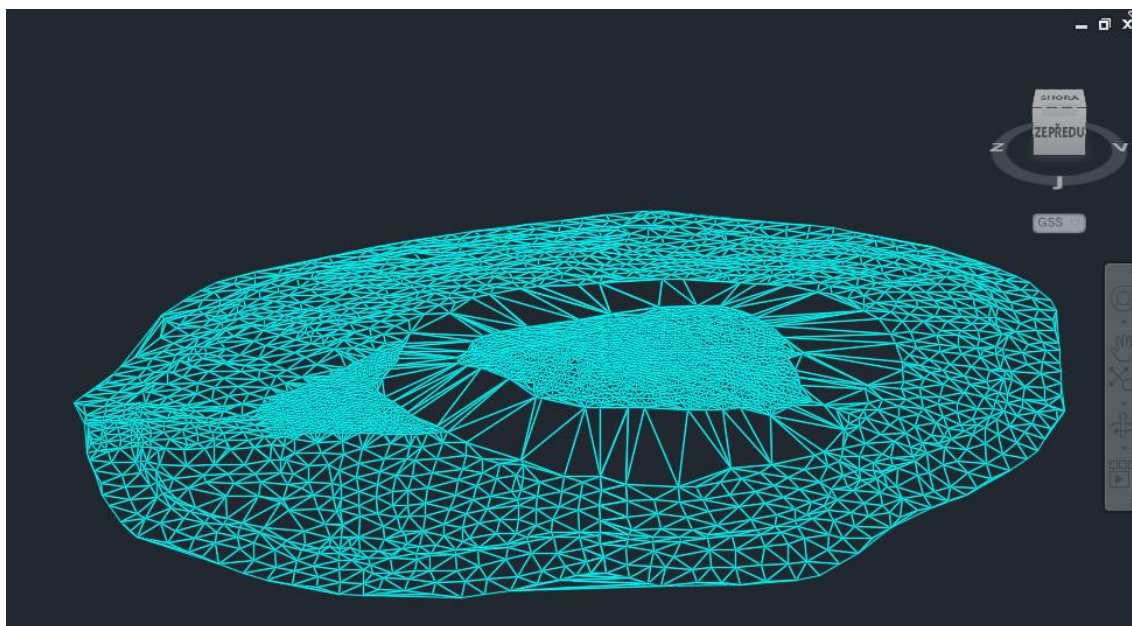
## 6.2 Modelace valu

V následujících části práce budou popsány postupy, kterými bylo docíleno řešení modelace. Přesné parametry modelu budou rozebrány až v následující kapitole. První postupy byly prováděny s nadsazenými hodnotami. Po navržnutí půdorysu valu bylo vše připraveno k pokračování modelace. Samotná modelace bohužel nestačila, výsledný model musel být následně umístěn a připojen k DMT místo rozvalu, tak aby byl vytvořen kompletní model území. Právě řešení připojení modelovaného valu k povrchu bude klíčovou činností této části práce.

První pokus o řešení byl ve svém principu snadný. Již vytvořený půdorys valu mohl být vytažen do výšky. Po vytažení do dostačující výšky byl vytvořen povrch, a to pomocí dat získaných předchozím postupem v programu ArcMap. Po získání těchto 2 objektů mohlo následovat oříznutí modelu valu povrchem. Tímto postupem by se docílilo přesného umístění i přichycení obou objektů tak, jak by bylo třeba. Takový byl princip prvního postupu řešení, podrobněji je popsán níže.

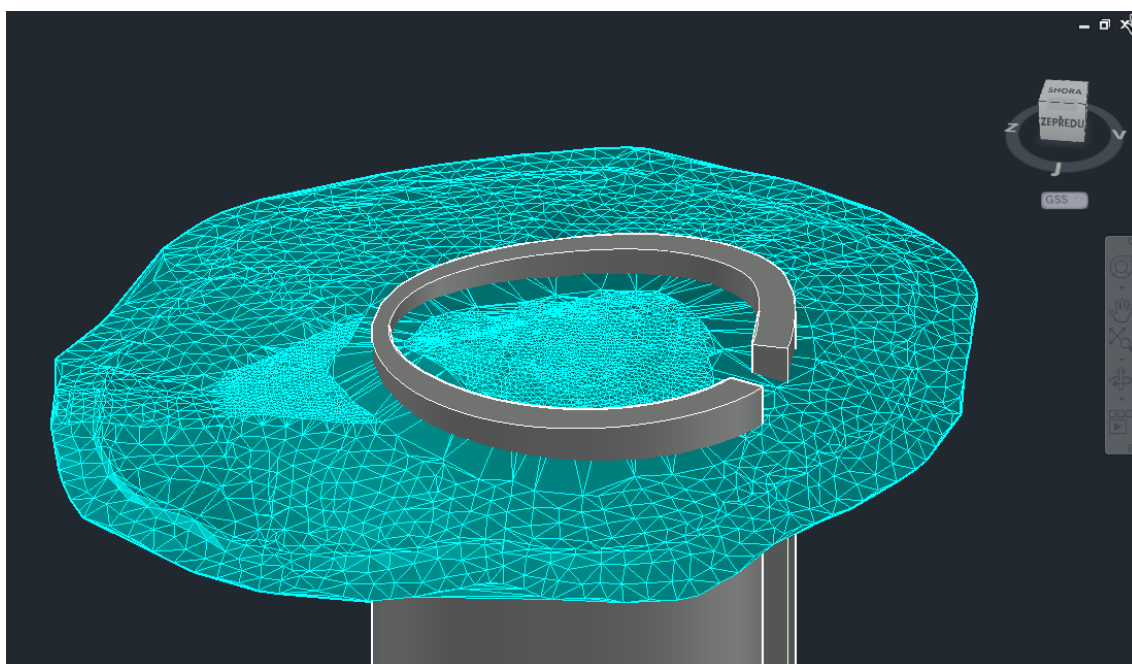
Vytažení půdorysu muselo být značné, protože DMT se nacházel přibližně ve výšce 570 m od půdorysu. Půdorys valu musel být vytažen do takové míry, aby dosahoval požadované výšky. Proto musel procházet DMT až nad jeho úroveň. Vytažení bylo provedeno v režimu *3D modelování*, a byla použita funkce *Vytáhnout*. Důležitou skutečností tohoto postupu bylo, že byl prováděn ještě před zjištěním potřeby vytvořenou šablonu převést na formát *křivky*. Po spuštění funkce byla vybrána vytvořená šablona půdorysu a zadána požadovaná výška. Takto bylo vytvořeno 3D těleso znázorňující val. Po jeho vytvoření byl na řadě export DMT bez valu, který byl vytvořen v předešlé kapitole v programu ArcMap. Pro vložení tohoto DMT bylo nejdříve potřeba přepnout do režimu *Civil 3D*. V tomto režimu na kartě *Výchozí*, na panelu *Vytvořit data* terénu byla zvolena rozevírací nabídka *Povrchy* a v ní položka *Vytvořit povrch z TIN*. Následně byl vybrán již vytvořený TIN a vložen do výkresu jako struktura *povrch*. Během dalších prací bylo využíváno možnosti nového povrchu TIN z datových sad gisového formátu *shapefile*. Tyto *shapefile* obsahovaly bodové vrstvy, z nichž se následně v CADu vytvořil povrch TIN. Tento postup probíhal stejně jako předchozí, ovšem v rozevírací nabídce *Povrchy* byla vybrána položka *Vytvořit povrch z dat GIS*. Po otevření této funkce bylo potřeba zadat několik dalších parametrů. V první záložce *Možnosti objektů* byl zadán název povrchu a hladina, do které měl být povrch vytvořen. V další záložce *Připojit k datům* byl zvolen typ zdroje dat SHP a následně cesta k datům. Zde jsou 2 možnosti volby, buď výběr jednoho konkrétního souboru, a tedy navolení cesty k němu, nebo navolení cesty ke složce, ve které může být vybráno více souborů. Při zvolení druhého způsobu, tedy cesty ke složce, se po kliknutí na políčko *Přihlášení* otevře seznam všech souborů *shapefile* nacházející se ve složce. V seznamu byly zaškrtnutím vybrány soubory, které měly být použity. Posledním nastavením bylo v záložce *Mapování dat* u každého z použitých souborů vybrat, který z atributů představuje výšku bodu. Bylo potvrzeno dokončení a spuštění funkce a následně byl automaticky vytvořen povrch struktury TIN ze zadaných dat.

Obr. 17 : Povrch TIN vytvořený v Civil 3D



Na obrázku číslo 17 je ukázka vytvořeného povrchu struktury TIN v programu Civil 3D. Obrázek je zobrazen pod zenitovým úhlem přibližně 150 stupňů. Na obrázku je dobře pozorovatelná část, ze které byl uměle odstraněn rozval. V těchto místech by měl být průsečík povrchu s vytaženým modelem valu. Právě vzniklý průnik valu s povrchem je vidět na následujícím obrázku číslo 18. Val i povrch byly obarveny, tak aby vynikly vzniklé struktury. Na obrázku je vidět, jak část valu nad povrchem, tak i část pod povrchem, která vznikla vytažením a v následujícím postupu bude potřeba odstranit.

Obr. 18 : Průnik povrchu a valu

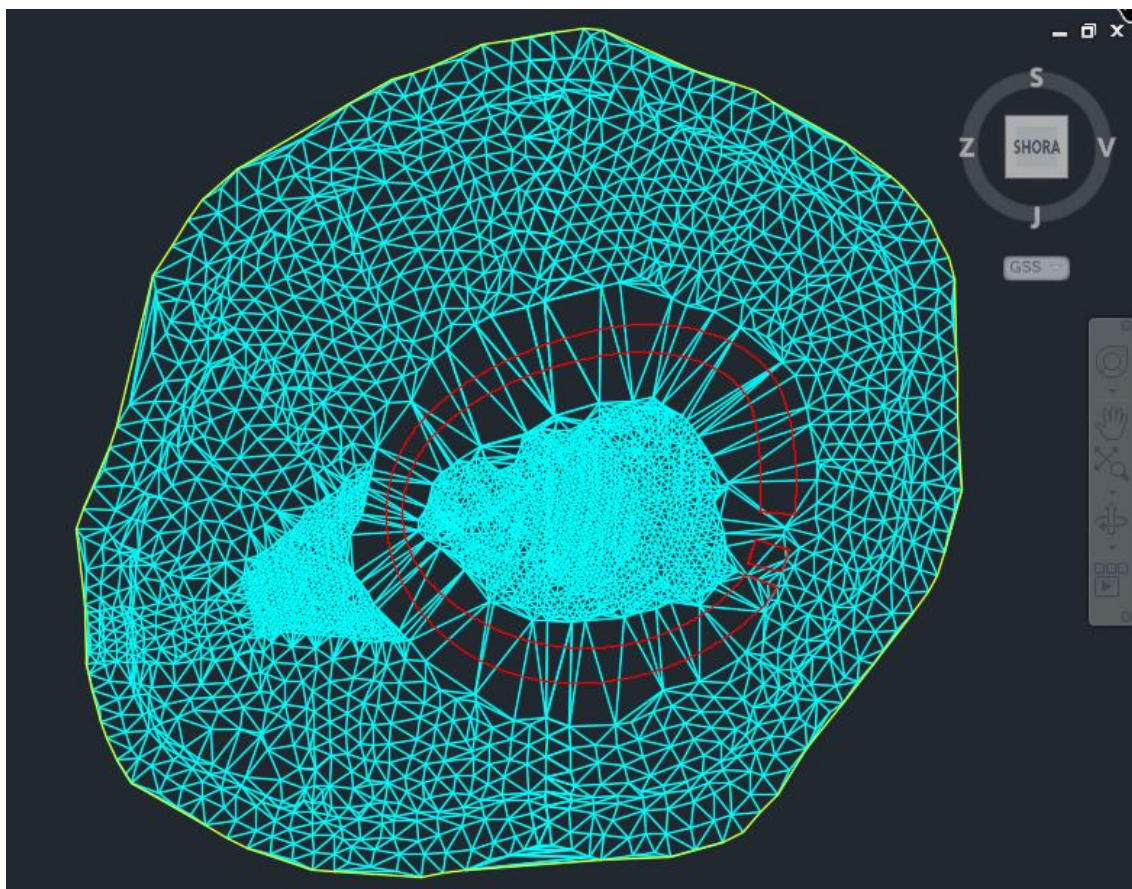


Jak již bylo zmíněno, pokračováním tohoto postupu mělo být oříznutí modelu valu povrchem, tak aby byla odstraněna část pod povrchem a zůstala pouze část nad povrchem, která je pevně přimknutá k povrchu. Po mnoha nevydařených pokusech, byl ovšem nalezen možný postup řešení tohoto problému. Tento postup ovšem byl značně náročný a vyžadoval více zkušeností s prací v Civil 3D. Proto jsem oslovil pana Ing. Petra Pánka, Ph.D., z Fakulty Stavební ČVUT, s prosbou konzultace práce v Civil 3D, protože mi byl doporučen pro pomoc s prací v tomto programu. Pan doktor s konzultací ochotně souhlasil a poradil mi několik tipů, jak docílit požadovaného výsledku právě ořezáním valu povrchem. Upozornil mě na důležitý prvek, který v předešlém postupu nebyl dodržen, a proto komplikoval veškeré snahy o vyřešení problému. Tímto prvkem byla nutnost a podmínka ořezávání 2 objektů struktury *povrch*. Po celou dobu jsem se pokoušel o ořezání objektu struktury *3D tělesa* strukturou *povrchu*, proto měl následovat převod modelu valu na strukturu *povrchu*. Převod by nebyl snadno dosažitelný a musel by se model vytvořit znovu, ale v režimu *Civil 3D*, a to za pomoci vytvoření prázdného povrchu, do kterého by následně byla nahrána povinná spojnice vycházející z půdorysu návrhu tvořící stěnu o zadané výšce. S takto vytvořeným modelem valu by se již dalo pokračovat v ořezávání. Problémem ovšem bylo, že vytvořená stěna se tvořila nesourodě a nepospojovala veškeré body tak, jak by bylo potřeba. Tím v modelu vznikaly díry ve tvaru trojúhelníků. Možnost editace a ruční opravy těchto děr byla nemožná. Při veškerých pokusech o editaci se zobrazila chybová hláška, na jejíž opravu nebylo nalezeno žádné řešení. V tu chvíli byl nalezen nový, řekl bych elegantní postup řešení celé modelace.

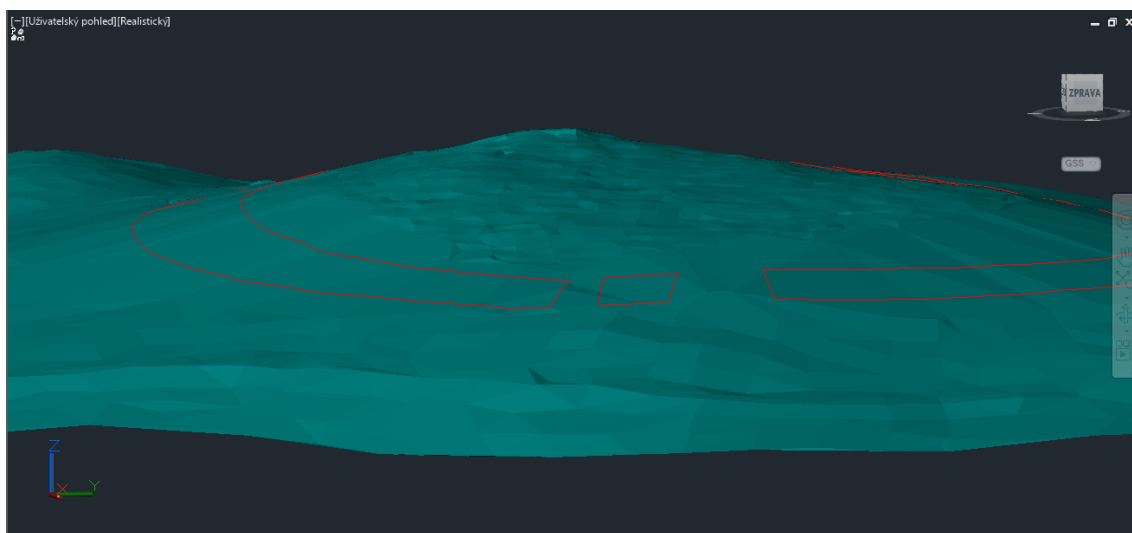
Celý postup byl vlastně velice snadný a rychlý. Šlo o to přenést křivku znázorňující půdorys valu na vytvořený povrch. A následné vytvoření stěny. Velmi důležité bylo, aby linie znázorňující půdorys valu, byla převedena na strukturu *křivka*. Tato křivka byla následně v režimu *Civil 3D*, na kartě *Upravit*, na panelu *Upravit výšky*, využitím funkce *Položit na povrch* připojena k vytvořenému povrchu TIN. Po spuštění funkce byl vybrán povrch, na který měla být křivka přesunuta. Funkce křivku přesunula a umístila tak, aby byla přimknutá k povrchu. Změnila rovinnou křivku na 3D křivku. Takto umístěná křivka byla ideálně připravena k další modelaci. Umístění křivky na povrchu TIN je vidět na obrázku číslo 19. Na obrázku číslo 20 je detail, jak křivka kopíruje strukturu a převýšení povrchu.



Obr. 19 : Umístění křivky na povrchu TIN, pohled shora



Obr. 20 : Umístění křivky na realistickém modelu, detail



K získání finálního výsledku už chybělo pouze vytvořit model valu o správné výšce. Přimknutí k povrchu zajišťoval přesun křivky na povrch. Nejprve ze všeho bylo potřeba vytvořit prázdný *povrch*, jehož postup vytvoření byl popsán výše. Následoval přesun do okna *Prostor nástrojů*. V tomto okně byla zvolena záložka *Prospektor*, ve které se nachází veškeré objekty vytvořené v režimu Civil 3D. Zde se rozbalila záložka *Povrchy*, čímž se ukázali veškeré povrchy ve výkresu. Byl vybrán vyrobený prázdný povrch. U něj byla rozkliknuta záložka *Definice* a ukázalo se mnoho možností, jak definovat či doplnit povrch. Takové možnosti jsou například definice hranic povrchu, povinných spojnic či doplnění a upravení pomocí vrstevnic. Já klikl pravým tlačítkem myši na volbu *Povinné spojnice* a volbu *Přidat povinné spojnice*. V okně které se otevřelo byl zadán název povinných spojnic a typ povinných spojnic *Stěna*. Po spuštění funkce byla vybrána návrhová křivka valu a definován směr odsazení nahoru. Následovalo určení měnicí se maximální výšky po segmentech křivky, nebo jedna konstantní hodnota pro celý objekt. Pak se zobrazila možnost nastavení buď převýšení, které se má vymodelovat nebo nastavení výšky, ve které bude vrchol modelu. Po výběru byla nastavena výška a byl automaticky vytvořen model valu.

Vytvořený model bylo potřeba upravit. Hlavní úpravou bylo ruční vymazání spojnic, které nebyly vhodné. Takových spojnic se vytvořilo spoustu a tvořili dno obrazce. K této úpravě jsem našel pouze jediný nástroj, ke kterému jsem se dostal pokliknutím na *povrch* tvořící model valu. Tím se otevřela nabídka nástrojů k úpravám *povrchu*. V liště byla vybrána záložka *Upravit povrch* a v ní položka *Odstranit spojnic*. Po tomto kroku bylo zapotřebí vybrat veškeré přebytečné spojnice, které tím byly odstraněny. Úprava byla dělaná tak, aby bylo docíleno modelu tvořící pouze val prstencového tvaru bez dalších zbytečných hran.

## 6.3 Rozbor výsledků

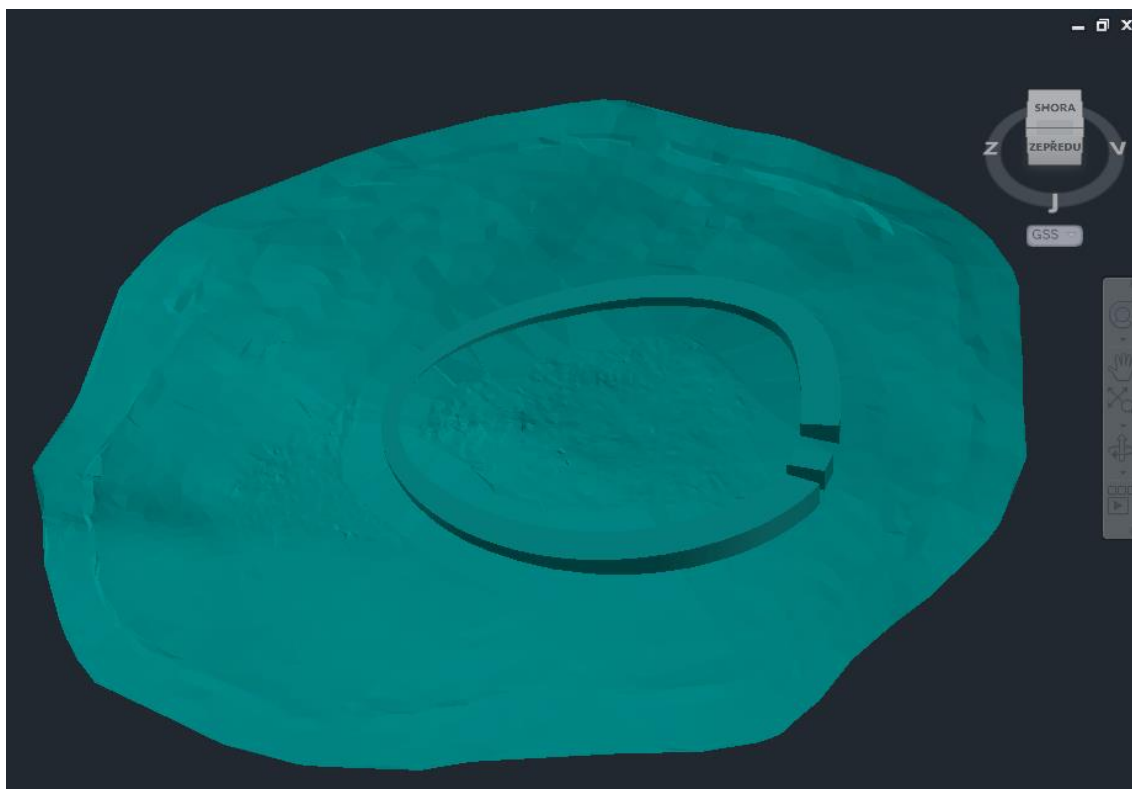
V následující kapitole budou určeny konkrétní hodnoty, které byly využity během modelování. Budou zde prezentovány a popsány veškeré získané výsledné modely a výsledky. Získané modely budou následně porovnány mezi sebou i výsledky z předchozích částí práce.

Nejprve je důležité vysvětlit a odůvodnit množství výsledků. Původním záměrem bylo vytvoření modelu terénu, jehož nadmořská výška vrcholku modelu by se neměnila. To bylo dohodnuto na společné konzultaci se zadavatelem. Dalším parametrem modelu valu bylo, aby v maximální výšce byl mezi 2 až 3 metry vysoký. Ovšem vytvořený model, splňující tyto parametry, nemohl odpovídat realitě. Tento problém vznikl v západní části valu. Vyrovnaná část, která byla připravená na umístění modelu valu, zde dosahovala maximální nadmořské výšky. Maximální výška byla vyšší než možná nadmořská výška vrcholu modelu valu při splnění druhé podmínky. Proto ve zmiňované západní a severozápadní části valu nebyl model valu vůbec viditelný nad povrchem DMT. Nereálnost tohoto výsledku byla určena po důkladném nastudování odborné literatury vztahující se k hradišti a prostudování dříve vytvořeného modelu terénu znázorňujícího stav území v době zaměření. V modelu i literatuře bylo jasně vidět, že i v dnešní době jsou znatelné pozůstatky valu, a to po celém obvodu valu včetně jeho základů. Z toho lze usuzovat, že získaný výsledek byl nereálný. Po tomto zjištění byl znejasněn požadovaný výsledek, a proto bylo rozhodnuto o vytvoření více možných výsledků. Z jejich porovnání by se následně dala uvažovat jejich reálnost a také to, jak moc se mohou blížit skutečnosti. Mimo to mohou položit základ dalšímu výzkumu.

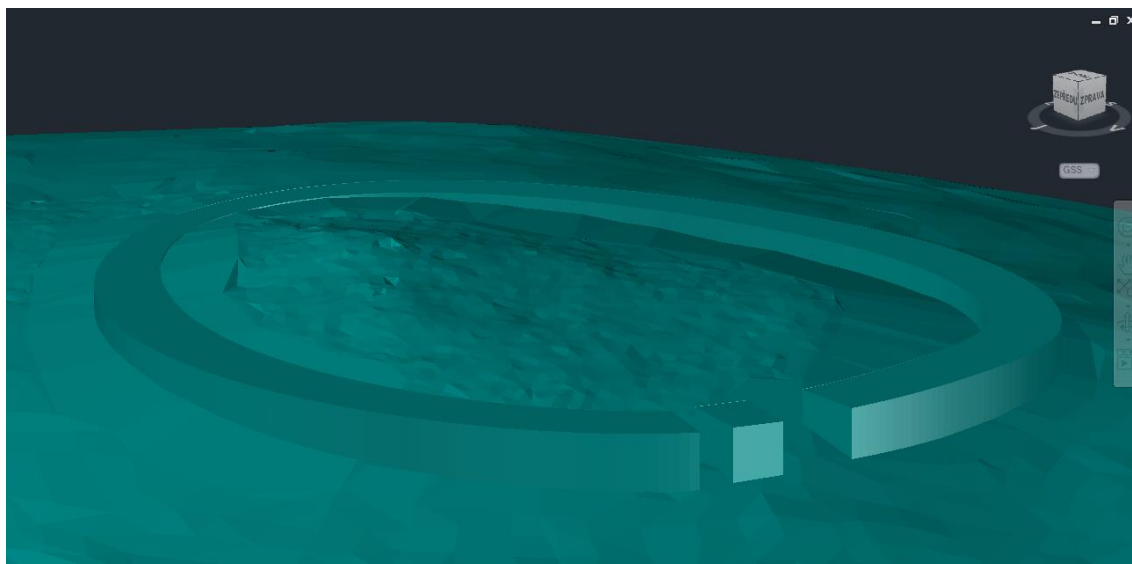
### 6.3.1 Modely s konstantní nadmořskou výškou

Výsledné modely byly tvořeny opět kombinací 2 parametrů. První skupina měla splňovat první parametr, a to stejnou nadmořskou výšku vrcholu vymodelovaného valu. Jelikož v kombinaci s maximální výškou valu nad terénem 2,5 metru byla nereálná, byly modelovány 4 možnosti výsledků. Ty zobrazovaly modelovaný val s vrcholem v takové nadmořské výšce, aby se dotýkal terénu v jeho nejvyšším bodě, a tedy se nedostával pod jeho hranici. Řešena byla samozřejmě maximální výška vyrovnané části DMT, do které byl model zasazen. Další výsledky touto metodou zobrazovaly model valu při výškách 0,5 až 1,5 metru nad nejvyšším bodem povrchu. K získání těchto modelů bylo potřeba při finální modelaci, popsané v kapitole 6.2, zvolit možnost zadání výšky a zadat požadovanou nadmořskou výšku vrcholu modelu. U všech takto vytvořených modelů byla změřena maximální výška vrcholu valu nad terénem. Dále byla zjištěna kubatura valu a pro kontrolu správnosti měření taky obsah půdorysu modelovaného valu. Zjištěná kubatura byla následně porovnána s kubaturou rozvaleného valu zjištěnou v kapitole 5.3. Na obrázku číslo 21 je ukázka modelu s nulovou výškou nad nejvyšším bodem srovnaného povrchu pohled z jihu pod zenitovým úhlem 135 stupňů. Na dalším obrázku číslo 22 je zobrazen z jihovýchodní strany a zobrazuje průnik s modelem v místě nejvyšší výšky povrchu. Na posledním z obrázků číslo 23 je zobrazen opět detail na průniku povrchu s modelem s výškou 1,5 metru nad nejvyšším bodem srovnaného povrchu.

Obr. 21 : Model valu s nulovou výškou nad nejvyšším bodem povrchu

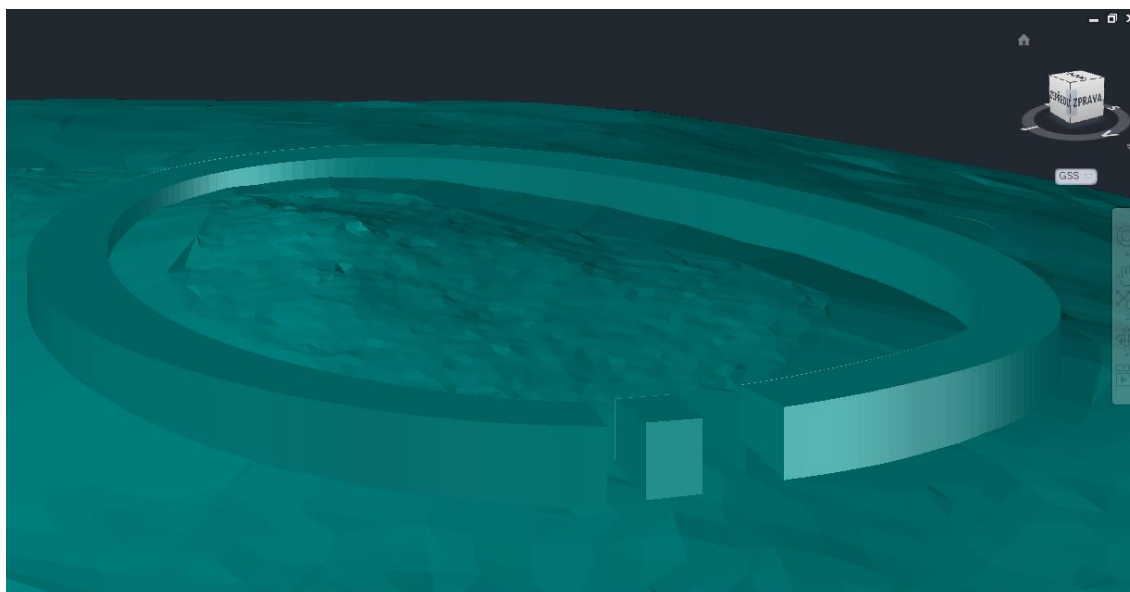


Obr. 22 : Detailní pohled průniku modelu s povrchem (0 metrů)





Obr. 23 : Detailní pohled průniku modelu s povrchem (1,5 metru)



Lze namítnout, že v detailu na průnik modelu s povrchem zachycujícím model s nulovou výškou nad povrchem, je znatelná část modelu. To je způsobeno tím, že model byl tvořen k jednomu bodu maximální výšky srovnaného povrchu. A právě v tomto bodě je výška nulová. Další skutečností, kterou je nutné objasnit je, že i v tomto nejvyšším bodě je na druhé straně hranice valu znatelný model valu. To je způsobeno sklonem srovnávané roviny, která je na protější hranici níže.

Analýzou modelů byly získány výše popsané hodnoty. Kubatury a obsahy jednotlivých modelů byly získány pomocí *Objemového povrchu*. Jeho správným zadáním a po spuštění funkce *Kubatury* ve stejnojmenném panelu v kartě *Analyzovat*, byly získány výsledné hodnoty. Výsledné hodnoty těchto modelů jsou shrnuty v tabulce číslo 2. V tabulce je také porovnání kubatur a informace o tom, jakou část tvoří to, co zbylo v rozvalu. Z výsledků vyplývá, že po uplynutí tisíciletí by při některé z těchto výšek valu zbyla na místě pětina až čtvrtina původního materiálu.

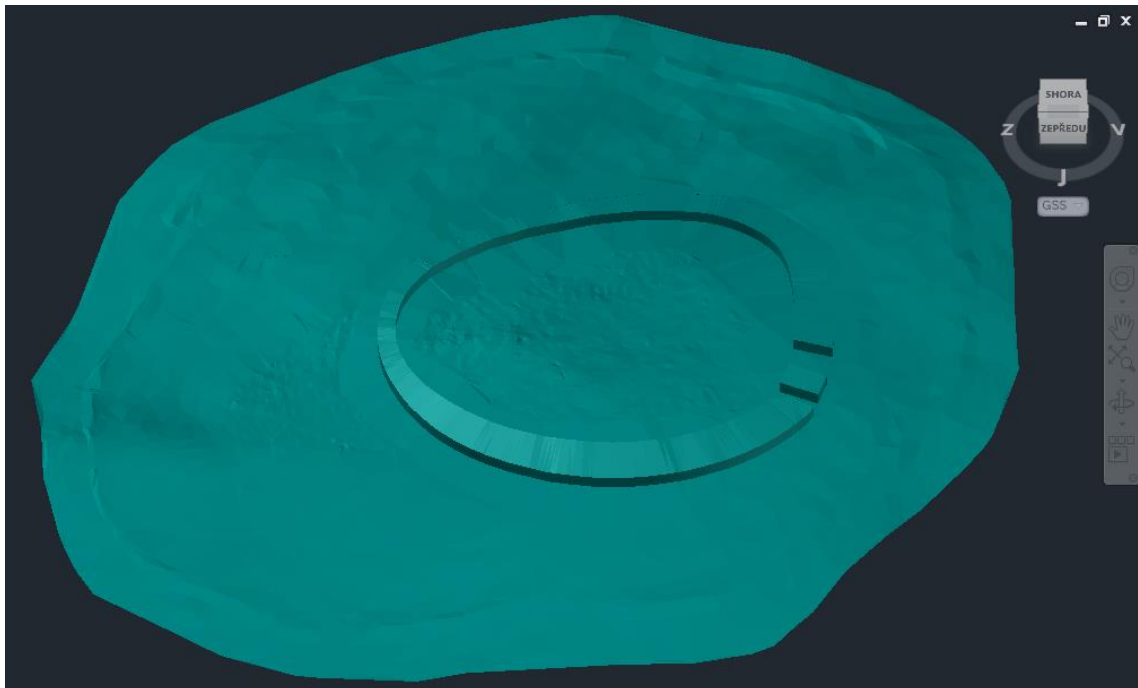
Tabulka 2 : Výsledné hodnoty modelů s konstantní nadmořskou výškou

Výška modelu nad povrchem [m]	Výsledky modelů s konstantní nadmořskou výškou			
	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Výška v maximu [m]	Kubatura[m <sup>3</sup> ]	Zbývá část[%]
0	1417	5,47	4049	25,62%
0,5	1417	5,97	4757	21,81%
1	1417	6,47	5465	18,98%
1,5	1417	6,97	6173	16,81%

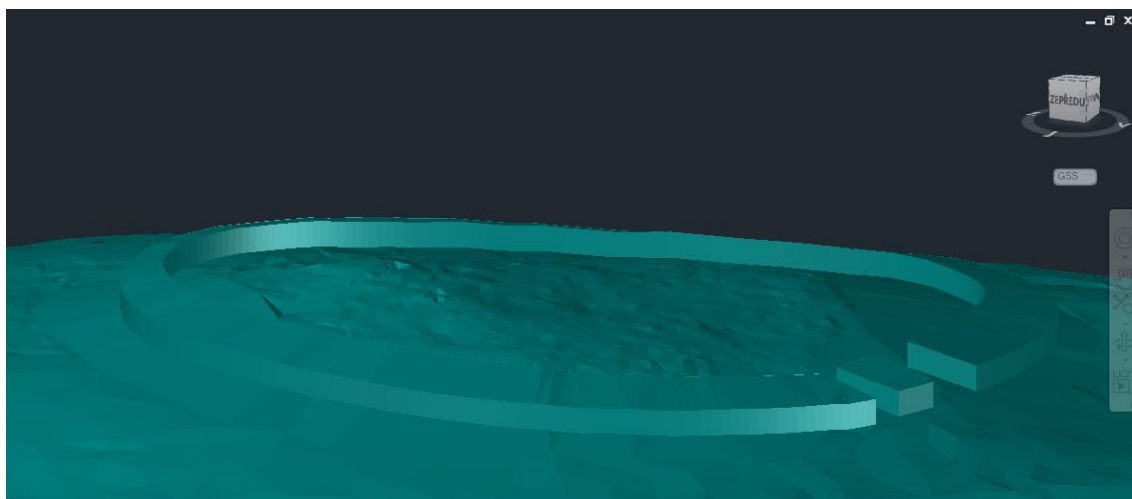
### 6.3.2 Modely s konstantní výškou nad terénem

Druhá skupina modelů byla vytvořena tak aby splňovala druhou podmínku. Podmínku maximální výšky 2 až 3 metrů nad terénem. V této skupině modelů bylo rozhodnuto vytvořit 3 možnosti takových modelů. Konkrétně hraniční výšky 2 a 3 metry a mezilehlá hodnota 2,5 metru nad terénem. Tvorba takového modelu byla snadná, při postupu tvorby modelu popsaném v kapitole 6.2, byla při finální modelaci zvolena možnost zadání rozdílu a zadán požadovaný rozdíl výšek mezi terénem a vrcholem modelu. U takto vytvořených modelů byly opět analýzou zjištěny stejné parametry jako u předchozích modelů, kromě maximální výšky vrcholu modelu od terénu, a to protože ta byla v celém modelu stejná. Na následujících obrázcích číslo 24 a 25 je zobrazen model s výškou 2,5 metru nad terénem. Nejprve je zde opět pohled na jižní stranu a poté na detail, ve kterém je dobře viditelné vlnění a změna nadmořská výška modelu dle terénu změny nadmořské výšky.

Obr. 24 : Model s konstantním výškovým rozdílem 2,5 m



Obr. 25 : Detail modelu s konstantním výškovým rozdílem 2,5 m



Dle mého názoru, po pročetí odborné literatury, by měl být některý z této skupiny modelů právě ten, který by mohl nejvíce odpovídat skutečnosti. V následující tabulce číslo 3 jsou opět zapsány a porovnány zjištěné hodnoty jednotlivých valů. Hodnot bylo docíleno stejným postupem jako u předešlé skupiny modelů. Tabulka zobrazuje, kromě maximální výšky modelu, stejné parametry jako tabulka předešlá. Z výsledků vyplývá zůstatek čtvrtiny, až něco málo přes třetinu, původního materiálu.

Tabulka 3 : Výsledné hodnoty modelů s konstantním převýšením

Výška modelu [m]	Výsledky modelů s konstantním převýšením		
	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Kubatura[m <sup>3</sup> ]	Zbylá část[%]
2	1417	2834	36,61%
2,5	1417	3541	29,30%
3	1417	4249	24,42%

## 6.4 Závěr zpracování v programu AutoCAD Civil 3D

V programu byl navrhnut půdorys modelu valu. Z tohoto půdorysu byl následně vymodelován val připojený k povrchu. Bylo vytvořeno více možných variant valu. U každé z variant byla vypočtena kubatura valu spolu s dalšími parametry. Kubatury byly následně porovnány s kubaturou zjištěnou v předchozí kapitole, a tím následně určeno množství materiálu, které na místě zůstalo. Varianty vytvořených modelů jsou v digitálních přílohách ve formátu *dwg*.

## 7 Závěr

V rámci této práce jsem si stanovil několik cílů. Prvním z nich bylo získání kubatury nynějšího rozvalu. K té jsem se dopracoval vytvořením DMT z poskytnutých dat. Z vytvořeného DMT byl následně jednoduchou úpravou dat vytvořen DMT se srovnaným prostorem rozvalu. Analýzou obou modelů byla následně získána požadovaná kubatura, která činí 1037 m<sup>3</sup>.

Na vyrovnaném modelu byla dále modelována pravděpodobná podoba valu, což byl druhý z cílů. Jako velmi obtížné hodnotím nalezení vhodného postupu, který by se dal aplikovat. Původní plán byl vytvoření jediného výsledného modelu, ale během zpracování se ukázalo jako výhodné vytvoření několika možných návrhů, ze kterých by si zadavatel mohl vybrat ten historicky nejpřesnější. Modelovány byly varianty s konstantní nadmořskou výškou vrcholu modelu valu a varianty s konstantním převýšením vrcholu valu nad terénem. Veškeré tyto modely byly dále analyzovány a byly určeny jejich kubatury. Získaná data byla následně navzájem porovnána. Posledním krokem bylo porovnání zjištěných kubatur modelovaných valů s kubaturou rozvalu získané v předešlé části. Tímto porovnáním jsem dospěl k závěru, že na místě rozvalu zůstalo 16 % až 36 % původního materiálu. Hodnota závisí na druhu modelu.

Věřím, že tato práce a její výsledky budou zadavateli přínosem. Mohou být také základem pro další výzkum, neboť již během mého zpracování vyvstávalo mnoho zajímavých otázek.

## 8 Bibliografie

1. **Dreslerová, D. - Hrubý, P.** *Halštatské výšinné lokality v jižních čechách: nové výzkumy dvou hradišť. místo neznámé* : Študijné zvesti AÚ SAV 36, 2004.
2. **Dreslerová, D. a kol.** Využití trojrozměrného laserového scanneru v archeologii. [autor knihy] J. Macháček. *Počítačová podpora v archeologii 2*. Brno - Praha - Plzeň : Ústav archeologie a muzeologie FF MU - Archeologický ústav AV ČR - Katedra archeologie FF ZČU, 2008, stránky 199- 211.
3. **Turek, V.** Boudy, okr. Písek, Jihočeský kraj. *Archeologický atlas ČR*. [Online] 2014. [http://www.archeologickyatlas.cz/cs/lokace/boudy\\_pi\\_hradiste\\_hrad\\_u\\_cimelic](http://www.archeologickyatlas.cz/cs/lokace/boudy_pi_hradiste_hrad_u_cimelic).
4. **Dreslerová, D.** Boudy, okr. Písek , Jihočeský kraj. *Archeologický atlas ČR*. [Online] 2007. [http://www.archeologickyatlas.cz/cs/lokace/boudy\\_pi\\_hradiste\\_hrad\\_u\\_cimelic](http://www.archeologickyatlas.cz/cs/lokace/boudy_pi_hradiste_hrad_u_cimelic).
5. **esri.** esri. [Online] esri. <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>.
6. **Štroner, M.** Digitální model terénu.
7. **cadstudio.** *Autodesk Civil 3D*. [Online] cadstudio, 2019. <https://www.cadstudio.cz/civil3d#tabs-Popis>.
8. **GTK, VÚ.** Digitální modely terénu v programu ArcGIS - 3D Analyst. [Online] [http://www.vugtk.cz/OPVK/prezentace/09\\_01\\_DMT\\_1-prac%20list.pdf](http://www.vugtk.cz/OPVK/prezentace/09_01_DMT_1-prac%20list.pdf).
9. **Danielsová, A.** Boudy, okr. Písek, Jihočeský kraj. *Archeologický atlas ČR*. [Online] 2003. [http://www.archeologickyatlas.cz/cs/lokace/boudy\\_pi\\_hradiste\\_hrad\\_u\\_cimelic](http://www.archeologickyatlas.cz/cs/lokace/boudy_pi_hradiste_hrad_u_cimelic).
10. **ESRI.** pro.arcgis.com. *Help*. [Online] <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/analysis/clip.htm>.
11. **Turek, V.** Boudy, okr. Písek, Jihočeský kraj. *Archeologický atlas ČR*. [Online] 2014. [http://www.archeologickyatlas.cz/cs/lokace/boudy\\_pi\\_hradiste\\_hrad\\_u\\_cimelic](http://www.archeologickyatlas.cz/cs/lokace/boudy_pi_hradiste_hrad_u_cimelic).

## 9 Seznam obrázků

Obr. 1 : Vnitřní val hradiště (3).....	9
Obr. 2 : Kamenná zeď v západní části valu (4).....	9
Obr. 3 : Ukázka pracovního prostředí ArcMap.....	10
Obr. 4 : Ukázka struktury TIN (6) .....	11
Obr. 5 : Ukázka pracovního prostředí Civil 3D .....	11
Obr. 6 : Znázornění rozložení datových souborů.....	12
Obr. 7 : Postup tvorby DMT struktury TIN v programu ArcMap .....	15
Obr. 8 : Celkový pohled na vnitřní val. Zobrazení v programu Surfer: A. Danielisová (9) .....	17
Obr. 9 : První zjednodušený DMT z dat geodetického měření.....	17
Obr. 10 : Výstup výpočtu objemu DMT s valem v ArcMap.....	19
Obr. 11 : Znázornění zadání výpočtu objemu DMT v ArcMap.....	19
Obr. 12 : Výstup výpočtu objemu DMT bez valu v ArcMap .....	20
Obr. 13 : Parametry zaměřených sond .....	23
Obr. 14 : Umístění měřených sond .....	23
Obr. 15 : Šablona valu v Civil 3D.....	24
Obr. 16 : Finální návrh půdorysu modelovaného valu.....	25
Obr. 17 : Povrch TIN vytvořený v Civil 3D .....	27
Obr. 18 : Průnik povrchu a valu .....	27
Obr. 19 : Umístění křivky na povrchu TIN, pohled shora .....	29
Obr. 20 : Umístění křivky na realistickém modelu, detail .....	29
Obr. 21 : Model valu s nulovou výškou nad nejvyšším bodem povrchu .....	32
Obr. 22 : Detailní pohled průniku modelu s povrchem (0 metrů).....	32
Obr. 23 : Detailní pohled průniku modelu s povrchem (1,5 metru).....	33
Obr. 24 : Model s konstantním výškovým rozdílem 2,5 m.....	34
Obr. 25 : Detail modelu s konstantním výškovým rozdílem 2,5 m .....	35

# 10 Seznam tabulek

Tabulka 1 : Porovnání DMT svalem a bez valu. Výsledná kubatura valu.....	21
Tabulka 2 : Výsledné hodnoty modelů s konstantní nadmořskou výškou .....	33
Tabulka 3 : Výsledné hodnoty modelů s konstantním převýšením .....	35

# 11 Seznam příloh

## 11.1 Tištěné přílohy

1. Seznam a popis 3D modelů
2. Seznam a popis vrstev 3D modelů

## 11.2 Elektronické přílohy

1. Vstupni\_data
  - 1.1. XYA (formát \*.dat)
  - 1.2. XYB (formát \*.dat)
  - 1.3. XYC (formát \*.dat)
  - 1.4. XYD (formát \*.dat)
  - 1.5. XYE (formát \*.dat)
  - 1.6. XYF (formát \*.dat)
  - 1.7. XYG (formát \*.dat)
  - 1.8. XYH (formát \*.dat)
  - 1.9. XYCH (formát \*.dat)
  - 1.10. XYI (formát \*.dat)
  - 1.11. XYJ (formát \*.dat)
  - 1.12. XYJ (formát \*.dat)
  - 1.13. XYL (formát \*.dat)
  - 1.14. XYZaplata\_HI (formát \*.dat)
  - 1.15. XYZaplata\_IJ (formát \*.dat)
  - 1.16. Hranice\_valu (formát \*.shp)
  - 1.17. XYgeodeticke\_zamereni (formát \*.shp)
2. ArcMap
  - 2.1. tin\_rovina (formát \*.tin)
  - 2.2. tin\_val (formát \*.tin)
3. Civil 3D
  - 3.1. model\_komplex (formát \*.dwg, \*.dxf)
  - 3.2. model\_val\_0 (formát \*.dwg, \*.dxf)
  - 3.3. model\_val\_0\_5 (formát \*.dwg, \*.dxf)
  - 3.4. model\_val\_1 (formát \*.dwg, \*.dxf)
  - 3.5. model\_val\_1\_5 (formát \*.dwg, \*.dxf)
  - 3.6. model\_2\_prev (formát \*.dwg, \*.dxf)
  - 3.7. model\_2\_5\_prev (formát \*.dwg, \*.dxf)
  - 3.8. model\_3\_prev (formát \*.dwg, \*.dxf)



## Seznam a popis 3D modelů

Seznam 3D modelů		
Model	Formát	Popis
<b>model_val_0</b>	dwg, dxf	model s konstantní nadmořskou výškou, 0 m v maximu
<b>model_val_0_5</b>	dwg, dxf	model s konstantní nadmořskou výškou, 0,5 m v maximu
<b>model_val_1</b>	dwg, dxf	model s konstantní nadmořskou výškou, 1 m v maximu
<b>model_val_1_5</b>	dwg, dxf	model s konstantní nadmořskou výškou, 1,5 m v maximu
<b>model_val_2_prev</b>	dwg, dxf	model s konstantním převýšením, 2 m nad povrchem
<b>model_val_2_5_prev</b>	dwg, dxf	model s konstantním převýšením, 2,5 m nad povrchem
<b>model_val_3_prev</b>	dwg, dxf	model s konstantním převýšením, 3 m nad povrchem
<b>model_komplex</b>	dwg, dxf	model obsahující všechny vytvořené varianty

## Seznam a popis vrstev 3D modelů

Seznam a popis vrstev modelů		
Model	Vrstva	Popis vrstvy
<b>model_val_0</b>	0	vrstva s linií modelu valu
	DMT	vrstva s DMT
	objem	vrstva nutná k výpočtu objemu
	val	vyrstva s modelem valu
<b>model_val_0_5</b>	0	vrstva s linií modelu valu
	DMT	vrstva s DMT
	objem	vrstva nutná k výpočtu objemu
	val	vyrstva s modelem valu
<b>model_val_1</b>	0	vrstva s linií modelu valu
	DMT	vrstva s DMT
	objem	vrstva nutná k výpočtu objemu
	val	vyrstva s modelem valu
<b>model_val_1_5</b>	0	vrstva s linií modelu valu
	DMT	vrstva s DMT
	objem	vrstva nutná k výpočtu objemu
	val	vyrstva s modelem valu
<b>model_val_2_prev</b>	0	vrstva s linií modelu valu
	DMT	vrstva s DMT
	objem	vrstva nutná k výpočtu objemu
	val	vyrstva s modelem valu
<b>model_val_2_5_prev</b>	0	vrstva s linií modelu valu
	DMT	vrstva s DMT
	objem	vrstva nutná k výpočtu objemu
	val	vyrstva s modelem valu
<b>model_val_3_prev</b>	0	vrstva s linií modelu valu
	DMT	vrstva s DMT
	objem	vrstva nutná k výpočtu objemu
	val	vyrstva s modelem valu
<b>model_komplex</b>	0	vrstva s linií modelu valu
	DMT	vrstva s DMT
	val_2	vrstva s model_val_prev_2
	val_2_5	vrstva s model_val_prev_2_5
	val_3	vrstva s model_val_prev_3
	val_rov_0	vrstva s model_val_0
	val_rov_0_5	vrstva s model_val_0_5
	val_rov_1	vrstva s model_val_1
val_rov_1_5	vrstva s model_val_1_5	