



## **Středoškolská technika 2023**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

# **Animace tanku T-72 a jeho bojových systémů**

**Jan Pokorný**

**Vyšší odborná škola, střední škola, centrum odborné přípravy,**

**Budějovická 421, 391 02 Sezimovo Ústí**

## **Anotace**

Tato práce se zabývá popisem a vysvětlením bojových systémů tanku T-72, který má hlubokou historii v České republice, postupně jsou popsány nejdůležitější české verze tohoto tanku a jejich výhody/nevýhody. V práci můžeme také najít postupy při vytváření 3D modelů, zdokonalování animací, aby co nejlépe replikovaly skutečnost a na závěr další postupy při tvorbě naukového videa. Nejčastěji se v práci setkáme s prací v programu Blender, ale také byli využity programy jako Adobe Substance 3D Painter a Adobe Premiere Pro

## **Klíčová slova**

T-72; tank 3D; modelování; výpočet; simulace

## **Annotation**

This final thesis deals with the description of the T-72 tank, which has a deep history in the Czech Republic, the most important Czech versions of this tank and their advantages/disadvantages are described. In the thesis we can also find procedures for creating 3D models, improving animations to best replicate reality and finally other procedures for creating a tutorial video. Most often in the thesis we will find work in Blender, but also programs such as Adobe Substance 3D Painter and Adobe Premiere Pro have been used

## **Keywords**

T-72; tank; 3D; modelling; calculation; simulation

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Teoretická část.....</b>	<b>7</b>
2.1	Historie tanků .....	7
2.1.1	Tiger 1 .....	7
2.1.2	Historie T-72 .....	8
2.2	České a Československé verze tanku T-72.....	8
2.2.1	T-72M1.....	9
2.2.2	T-72M2 Moderna .....	10
2.2.3	T-72M3.....	11
2.2.4	T-72 SCARAB .....	11
2.2.5	T-72M4 CZ .....	12
2.3	Výzbroj a bojové systémy T-72M4CZ.....	13
2.3.1	Hlavní zbraň .....	13
2.3.2	Sekundární výzbroj .....	14
2.3.3	Ochrana tanku .....	14
2.3.4	Automatický nabíjecí systém .....	16
2.4	Nevýhody tanku a porovnání s konkurencí .....	16
2.4.1	nevýhody T-72M4CZ.....	16
2.4.2	Porovnání s Leopard 2A7.....	18
<b>3</b>	<b>Praktická část .....</b>	<b>20</b>
3.1	Průzkum.....	20
3.1.1	Získávání podkladných materiálů .....	20

3.1.2	Vybírání programu pro modelování .....	22
3.2	vytváření 3D modelů tanku .....	22
3.2.1	Pásky a kola.....	22
3.2.2	Korba a věž.....	23
3.2.3	Autoloader a kanón .....	24
3.2.4	Detaily tanku .....	28
3.3	Realistické pohyby a animace .....	29
3.3.1	Constraints.....	29
3.3.2	Rigid body .....	30
3.4	Textury a finální střih videa.....	34
3.4.1	Texturování .....	34
3.4.2	Stříhání videa.....	35
<b>4</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>36</b>
4.1	Splnění cílů a celkové zhodnocení .....	36
4.2	Budoucnost projektu.....	36
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>37</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>38</b>
	<b>Použitá literatura.....</b>	<b>39</b>
	<b>Přílohy .....</b>	<b>41</b>

## 1 Úvod

V dnešní době pravděpodobně už každý slyšel o ocelových kolosech neboli tancích. Tanky jsou důležitou součástí moderní války již od svého vzniku v první světové válce. Tyto impozantní válečné stroje prošly v průběhu let významným technologickým pokrokem a staly se výkonnějšími, obratnějšími a smrtonosnějšími. Přestože se jedná o velice zajímavé a propracované stroje, většina široké veřejnosti nemá přehled o tom, co všechno jeden tento kolos vlastně dokáže. To se pokusím svou prací pozměnit, a tedy alespoň trochu přiblížit, čím vším je jeden tank vybaven. Konkrétně se pokusím vyobrazit na modernizovaném tanku T-72M4CZ, který do nedávna představoval hlavní výzbroj Armády České republiky.

Cílem práce je vytvoření modelu tanku T-72M4 CZ a části jeho interiéru, v co nejpřesnější podobě jak jen je to pro žáka střední školy možné. Dále se pokusit nasimulovat pohyby tanku, aby byly co nejvíce podobné skutečnosti. Nakonec vytvořit krátkou animaci, v které stručně ukázat a popsat určité části tanku.

## 2 Teoretická část

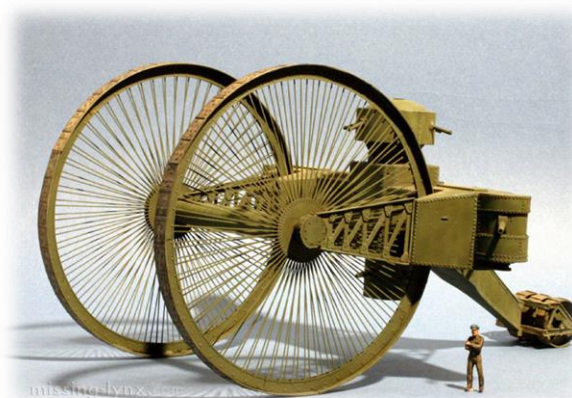
V teoretické části se pokusím shrnout historii a postupné zdokonalování tanků, konkrétně tank typu T-72 a stručně popsat výbavu kterou disponuje.

### 2.1 Historie tanků

Historie tanků sahá až do první světové války, kdy byly vyvinuty první tanky jako reakce na výzvy zákopové války. Prvním bojovým tankem byl britský Mark I, který byl použit v bitvě na Sommě v roce 1916. Tyto první tanky byly pomalé, nespolehlivé a často se rozbíjely nebo uvízly v blátě. Byly však silně pancéřované a mohly překonávat zákopy, což jim poskytovalo značnou výhodu nad nepřátelskou pěchotou.

V následujících letech byly tanky dále vyvíjeny a zdokonalovány. Často vývoj vedl k dosti zvláštním a absurdním konstrukcím (viz. Obrázek 1.).

Tanky byly obzvláště využívány během druhé světové války, kde sehrály významnou roli v mnoha klíčových bitvách války. Díky rozmachu technologií se z nich staly více obratné a pohyblivé stroje, a proto, díky svému rychlému přemísťování na bojišti, byly ve většině větších bitev nepostradatelné.

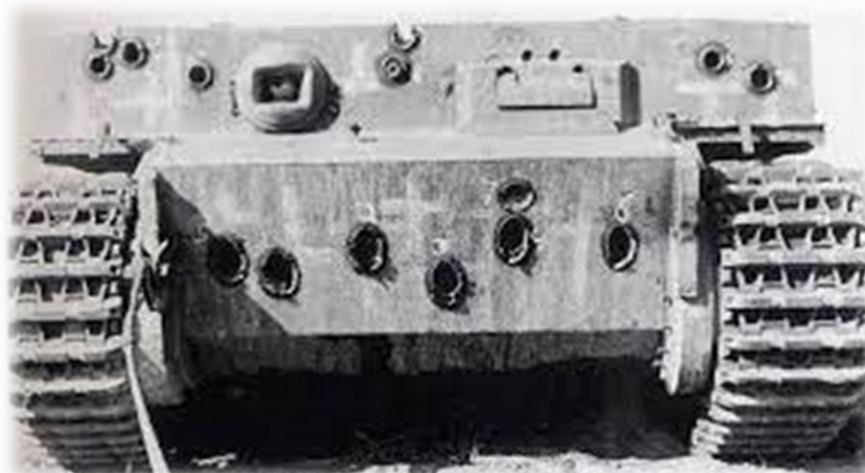


Obr. 1 Tsar tank-rok 1914 [5]

#### 2.1.1 Tiger 1

Za zmínku stojí jeden určitý stroj, kterému se svou konstrukcí a výbavou nemohl rovnat žádný jiný tank té doby. Jedná se o tank Tiger 1 navržený a vyráběný nacistickým Německem za 2. světové války. Pravděpodobně se jedná o jednoho z nejznámějších a na svou dobu určitě nejobávanějších tanků, díky svému silnému pancíři a velkorážnému dělu byl pro oponenty obrovskou hrozbou, fungoval také perfektně jakožto psychologická zbraň, jelikož je potvrzeno, že nebylo neobvyklé pro spojence po spatření tohoto kolosu utéct. Aby bylo možné ho zaručeně zničit bylo téměř vždy potřeba více spojeneckých tanků, většinou stačilo 4-5, ale jsou dochovány i případy kdy na zničení 2 tanků Tiger 1, bylo použito 20 amerických tanků M4 Sherman. [6]

Důvod proč se zmiňuji o tanku jako je Tiger 1 je, že byl celkově důležitý, protože představoval významný pokrok ve vojenské technologii a utvořil základ pro další technologický vývoj. Samozřejmě nebyl perfektní, byl velice náročný na údržbu a drahý na výrobu, ale Tiger 1 je stále perfektním příkladem jakou moc tanky doopravdy mají. [4]



Obr. 2 Zničený trup Tiger I, trup vydržel přibližně 10 zásahů než byl probit [6]

### 2.1.2 Historie T-72

T-72 je hlavní bojový tank sovětské éry, který byl poprvé vyroben v roce 1971. Zkratka "T-72" znamená "Tank-72" a číslo 72 označuje hlavní rok výroby, tedy 1972. Byl navržen jako levnější a jednodušší alternativa k pokročilejšímu tanku T-64, přičemž byl stále velmi účinnou zbraní na bojišti. Zvláštností tanku, stejně jako u mnoha tanků Sovětské konstrukce, je takzvaný automatický nabíjecí systém, který dokáže kanón autonomně nabít bez jakéhokoliv zásahu posádky. [4]

T-72 byl poprvé bojově použit během Jomkipurské války v roce 1973, kdy jej proti Izraeli použily Sýrie i Egypt. Tank si v tomto konfliktu vedl dobře, později se však ukázalo, že má několik konstrukčních nedostatků, které jej činí zranitelným vůči útokům. Jeden z hlavních, bylo umístění palivových nádrží ve přední části tanku, tedy hrozila velká šance vznícení. [1] Navzdory těmto problémům zůstal tank T-72 oblíbeným tankem po celou dobu studené války a byl exportován do mnoha zemí světa. V 80. a 90. letech 20. století byl používán v konfliktech v Afghánistánu, Íránu, Iráku a mnoha dalších zemích. Tank se vyráběl také v několika různých variantách, z nichž každá měla vlastní sadu modernizací a vylepšení. [4]

Dnes je tank T-72 stále ve výzbroji mnoha zemí po celém světě, včetně Ruska, Ukrajiny, Indie, Sýrie, a hlavně i České republiky. Přestože se jedná o starší konstrukci, je stále považován za vysoce účinný tank. [4]

## 2.2 České a Československé verze tanku T-72

Československo bylo velkou část své existence členem smlouvy o přátelství, spolupráci a vzájemné pomoci, také nazývaná Varšavská smlouva. Členy tohoto paktu bylo 8 zemí, včetně Svazu sovětských socialistických republik. Jelikož se jednalo o vojenský pakt, od Československa se tedy očekávalo, že přijme vybavení a taktiku sovětského typu a T-72 byl považován za přirozenou volbu pro nahrazení stárnoucích tanků T-55. Licenční výrobou tanku T-72 mohlo Československo modernizovat své obrněné síly a zároveň podpořit vojensko-průmyslový komplex Sovětského svazu. [1]

Po rozpadu Sovětského svazu začalo mnoho zemí bývalé Varšavské smlouvy, včetně České republiky, přecházet od sovětského vojenského vybavení k vybavení západního typu. Tento přechod byl však pomalý a postupný a existovala řada faktorů, které přispěly k tomu, že se Česká republika rozhodla ještě nějakou dobu používat T-72. [1]

Česká republika měla ve svém inventáři velké množství tanků T-72 a tyto tanky byly stále považovány za účinné a spolehlivé. Náklady na jejich výměnu za novější typ tanku by byly neúměrně vysoké, zejména vzhledem k ekonomickým problémům, kterým země čelila po rozpadu Sovětského svazu. [1]

Česká republika měla i nadále úzké vazby na Rusko a mnoho českých vojenských úředníků bylo vyškolen v Rusku a mělo zkušenosti s prací s ruskou technikou. To usnadňovalo údržbu a provoz tanků T-72, protože již existovala dobře vybudovaná infrastruktura pro jejich podporu. [1]

Vzhledem ke strategické poloze České republiky v Evropě bylo pro zemi důležité udržovat schopné obrněné síly. Tank T-72 sice nebyl nejmodernějším tankem na světě, ale stále představoval impozantní zbraňový systém, a proto se mělo za to, že pro udržení věrohodné obranyschopnosti je nutné zachovat určitý počet tanků T-72. [1]

Kvůli těmto důvodům se tedy začalo spíše uvažovat, jak aktuální bojová vozidla vylepšit a modernizovat, namísto výměny za techniku západních zemí. [1]

Jak tedy Československo, tak i Česká republika za svou existenci vyrobila spoustu modernizací tanku T-72 a dokázala tak z relativně zastaralého tanku, udělat stroj, který dokázal konkurovat všem bojovým vozidlům na světě.

### 2.2.1 T-72M1

Standardní verze tanku T-72 vyráběná v Československu v 80. letech. Byla podobná sovětskému T-72A, ale měla menší úpravy a vylepšení, například silnější pancíř, laserový



dálkoměr a nový systém řízení palby.

*Obr. 3 T-72M1 na vojenské přehlídce [7]*



Také se můžeme setkat s typem T-72M1K, což byla velitelská varianta tanku T-72M1 vyráběná v Československu. Měla přídatné komunikační vybavení a upravenou věž se zvýšenou kopulí pro umístění velitele. Jinak byla naprosto identická s verzí T-72M1

### 2.2.2 T-72M2 Moderna

T-72M2 Moderna byla modernizace předchozího typu T-72M1. Její vývoj započal v Československu, ale první prototyp vznikl až v roce 1993 v již odděleném Slovensku. Celkově byl tank T-72M2 Moderna významným vylepšením oproti dřívějším verzím, neboť se zlepšila jeho palebná síla, přesnost a přehled o situaci, také je důležité zmínit že byla vylepšená i pancéřová ochrana tanku, přidáním nových kompozitních pancéřových modulů a výbušných reaktivních pancéřových desek (ERA – Explosive Reactive Armor). To poskytlo lepší ochranu proti protitankovým střelám a dalším hrozbám. [8]

Modernizační balíček byl vyroben v omezeném množství, před ukončením výroby bylo modernizováno pouze několik set tanků. Modernizace však byla považována za významné zlepšení oproti standardnímu tanku T-72 a pomohla prodloužit životnost tanku o několik dalších let. Zajímavostí bylo, že na rozdíl od ostatních verzí, měla tato verze namontovaný 30 mm automatický kanón s kadencí až 300 ran za minutu, původní návrhy dokonce obsahovaly dva kanóny 20 mm ráže na obou stranách tanku, tento návrh však byl využit pouze u prvního prototypu. 30 mm kanón byl převzatý z obrněného pásového vozidlo BVP-2, byl tedy primárně používaný proti lehkým a středně těžkým tankům a tvořil tak skvělý dodatek k útočné síle tanku. [8]



Obr. 4 Jediné dochovalé foto prototypu T-72M2 moderna s dvěma 20mm kanóny [8]

### 2.2.3 T-72M3

T-72M3 byl prototyp vyvinutý Československem na konci 80. let. Měl být další modernizací tanku T-72M/M1 s vylepšeními, jako je nový systém řízení palby, zdokonalené pancéřování a nový systém stabilizace zbraně. [23]

Rozpad Sovětského svazu a konec studené války však znamenaly, že projekt byl zrušen a T-72M3 se nikdy nedostal do výroby. Místo toho se pozornost přesunula na vývoj tanků T-72M4 CZ, který získal všechny vylepšené atributy, kterými disponoval T-72M3. Jediný vytvořený prototyp je zachován v Technickém muzeu v Lešanech dodnes.



Obr. 5 T-72M3 ve vojenském muzeu v Lešanech

### 2.2.4 T-72 SCARAB

Poslední verze, o které se budu zmiňovat je T-72 SCARAB, tato verze byla představena v roce 2017 a je tak nejnovější českou modernizací tanku T-72. Přestože posunula tento tank zase o kus dál, stále se ale jedná o více jak 50 let starou konstrukci, proto se tento tank s největší pravděpodobností velké budoucnosti ve členských zemích NATO nedočká. Avšak velký zájem o tuto modernizaci projevily země ze střední Asie a Afriky. [9]



Obr. 6 T-72 SCARAB [9]

Jednou z klíčových vlastností tanku T-72 Scarab je vylepšená pancéřová ochrana. Věž tanku je vybavena přidavnými pancéřovými moduly, které poskytují zvýšenou ochranu proti široké škále hrozeb, včetně protitankových řízených střel (ATGM-Anti Tank Guided Munitions), granátometů (RPG-Rocket Powered Grenade) a střel využívající kinetickou energii. Tank má také modulární systém pancéřování, který lze přizpůsobit specifickým hrozbám na různých bojištích. [9]

Sice nebude určitě rovnocennou konkurencí ostatním nejnovějším tankům členských zemí NATO, avšak stále tento tank zaručuje nízké náklady na údržbu a nadstandardní výkon ve všech oblastech.

### 2.2.5 T-72M4 CZ

Dostáváme se k jedné z nejznámějších modernizací tanku T-72, která je také hlavním předmětem této práce, jedná se o modernizaci s jménem T-72M4 CZ díky této modernizaci byly v tanku vyměněny a vylepšeny téměř všechny části, tudíž z původní verze nezbylo téměř nic. [24]



*Obr. 7 T-72M4CZ při cvičení [10]*

Jednou z klíčových modernizací tanku T-72M4 CZ je jeho nový motor, který je výkonnější než motor používaný v dřívějších verzích tanku T-72. Díky tomu se tank může pohybovat rychleji a efektivněji a dosahovat rychlosti až 60 km/h, a to jak na silnicích, tak v náročném terénu. T-72M4 CZ má také nový systém stabilizace kanonu, který střelci tanku usnadňuje přesnou střelbu za jízdy. [23]

Kromě těchto důležitých vylepšení obsahuje T-72M4 CZ spoustu dalších modernizací, mezi ty hlavní lze zařadit také nový systém řízení palby, který zahrnuje laserový dálkoměr a termovizní funkce. Díky tomu může posádka tanku snadněji zaměřovat a zasahovat cíle, a to i za špatného osvětlení nebo nepříznivých povětrnostních podmínek. Vylepšeno bylo také pancéřování tanku, na přední část věže byly přidány další vrstvy kompozitního pancíře a vznikl díky tomu ikonický vzhled tanku. [10]

Unikátností této verze oproti svým protějškům je systém převzetí kontroly řízení, který umožňuje veliteli tanku převzít kontrolu nad hlavním kanónem a střílet z něj nezávisle na střelci. Tento systém může být užitečný v situacích, kdy střelec není bojeschopný nebo kdy tank zasahuje více cílů současně. Systém převzetí řízení velitelem tanku T-72M4 CZ se aktivuje přepínačem umístěným na ovládacím panelu velitele a umožňuje veliteli tanku mířit a střílet z hlavního kanonu pomocí joysticku a sady ovládacích prvků. To dává veliteli tanku větší flexibilitu a kontrolu nad zbraněmi tanku a může přispět ke zvýšení celkové bojové účinnosti tanku. [10] [23] [24]

Celkově je T-72M4 CZ je jednou z nejlepších modernizací tanku T-72. Jelikož ale rok výroby se pohyboval mezi roky 2003-2006, nejedná se tak zrovna už o nejnovější tank, měl by tedy proti soupeřům s novějšími bojovými vozidly pravděpodobně problém, stále však tvoří jednu z hlavních složek Armády České republiky a díky velice dobře udělané modernizaci, tento tank skvěle balancuje mezi ochranou, palebnou silou a obratností. [23]

## 2.3 Výzbroj a bojové systémy T-72M4CZ

Jak už jsem se zmiňoval, tank T-72M4CZ, má spoustu systému, které z něj tvoří hlavní bojový tank, ty nejdůležitější z těchto systémů se tu pokusím přiblížit.

### 2.3.1 Hlavní zbraň

Hlavní výzbrojí tanku T-72M4 CZ je kanón ráže 125 mm s hladkým vývrtem. Hlavní zbraň může střílet několika typy munice, včetně pancéřové střely se stabilizovanou ploutevní střelou (APFSDS – Armor Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot), vysoce explozivní protitankové střely (HEAT – Higly Explosive Anti-Tank) a vysoce explozivní tříštivé střely (HE-FRAG – Higly Explosive-Fragmentation). [11]

Náboje APFSDS mají maximální účinný dostřel přibližně 2,5-4 km, zatímco náboje HEAT mají kratší účinný dostřel přibližně 1,5-2,5 km. Náboje HE-FRAG mají podobný účinný dostřel jako náboje HEAT. Hlavní zbraň je vybavena systémem řízení palby, který zahrnuje laserový dálkoměr, balistický počítač a termovizní systém, což umožňuje posádce tanku přesně zasahovat cíle na velké vzdálenosti, a to i za špatného osvětlení nebo nepříznivých povětrnostních podmínek. Hlavní zbraň má rychlost střelby přibližně 8 ran za minutu a zpětný ráz je zmírňován systémem odpružení a stabilizace tanku [11] [24]



Obr. 8 kanón 2A46M [11]

### 2.3.2 Sekundární výzbroj

Tank T-72M4 CZ je vybaven koaxiálním kulometem PKT ráže 7,62 mm, který je sekundární výzbrojí umístěnou hned vedle hlavního kanonu. Kulomet PKT je zásobován z pásu s 2000 náboji a má rychlost střelby přibližně 700-800 ran za minutu. Účinný dostřel kulometu je přibližně 1 500 metrů, i když nejúčinnější je na kratší vzdálenosti. Kulomet se obvykle používá k boji proti pěchotě a lehkým vozidlům a k zajištění obrany tanku na krátkou vzdálenost. [24]

Kromě koaxiálního kulometu PKT ráže 7,62 mm je tank T-72M4 CZ vybaven také střešním protiletadlovým kulometem NSVT ráže 12,7 mm. Kulomet NSVT se obvykle používá k zasahování nízko letících letadel, ale i lehkých vozidel a osob. Je zásobován z pásu s 500 náboji a má rychlost střelby přibližně 600 ran za minutu. Účinný dostřel kulometu je přibližně 1 500 metrů, i když nejúčinnější je na kratší vzdálenosti. Kulomet NSVT je namontován tak, aby střelci umožňovala pohybovat se a zvedat zbraň tak, aby zasáhl cíle v libovolném směru. [24]

### 2.3.3 Ochrana tanku

Tank T-72M4 CZ je silně pancéřován kombinací kompozitního a reaktivního pancíře. To poskytuje ochranu proti řadě hrozeb, včetně pancéřových střel, bomb a protitankových střel.



Obr. 9 Reaktivní pancéřování DYNA na tanku T-72M4CZ [12]

Reaktivní pancíř tanku T-72M4 CZ s názvem DYNA, se nachází na přední části a na bocích tanku a je určen k dodatečné ochraně proti protitankovým střelám a raketám. Přesné složení reaktivního pancíře tanku T-72M4 CZ je tajné, ale předpokládá se, že se skládá z kombinace kovových plátů a vysoce výbušných materiálů. Reaktivní pancíř je rovněž navržen jako vyměnitelný, což umožňuje rychlou a snadnou výměnu poškozených nebo vyčerpaných panelů. [12] [24]

Reaktivní pancíř určitě není dokonalým řešením ochrany tanku, protože je méně účinný proti průbojným střelám s kinetickou energií a jiným typům střel pronikajícím pancířem. Poskytuje však dodatečnou ochranu proti určitým typům hrozeb a může zvýšit schopnost tanku a jeho posádky přežít na bojišti za relativně nízkou pořizovací cenu. [4]

Když se nebudeme zaměřovat pouze na pancéřovou ochranu tanku kouřové granátometry pro zakrytí pozice tanku, systém NBC ochrany proti chemickým útokům, protipožární systém pro hašení požárů uvnitř tanku a vysoká manévrovatelnost pro vyhýbání se protitankovým zbraním.

Pokud pomineme pancéřovou ochranou, u T-72M4 CZ nalezneme dále tuto obranu: [17] [22] [24] [23]

1. Dýmavnice – Tank je vybaven dýmavnice, které lze použít k vytvoření kouřové clony, která zakryje pozici tanku nebo zakryje výhled nepřátelských sil.
2. Systém NBC ochrany – Tank je vybaven systémem jaderné, biologické a chemické ochrany (NBC-Nuclear, Biological and Chemical), který chrání posádku před škodlivými látkami v případě chemického útoku nebo ozáření.
3. Protipožární systém – Tank je vybaven automatickým protipožárním systémem, který detekuje a hasí požáry, které mohou vzniknout uvnitř tanku.
4. Laserový varovný systém – Tank T-72M4 CZ je vybaven laserovým výstražným systémem, který detekuje laserové paprsky používané laserově naváděnými protitankovými střelami a dalšími laserově naváděnými zbraněmi. Při detekci laserového paprsku výstražný systém upozorní posádku, aby mohla provést úhybné manévry nebo aktivovat odpalovače kouřových granátů tanku a zakrýt tak jeho polohu.
5. Manévrovatelnost – Asi ne každého napadne že i vysoká rychlost a manévrovací schopnosti tanku ztěžují nepřátelským silám přesné zaměření tanku protitankovými zbraněmi, proto jsem zařazuji i tuto vlastnost.

### 2.3.4 Automatický nabíjecí systém

Tank T-72M4 CZ je vybaven automatickým nabíjecím systémem, jak jsem se již zmiňoval dříve, známým také jako autoloader. Autoloader je mechanické zařízení, které automaticky nabíjí hlavní zbraň tanku novým nábojem, místo aby nabíječ musel každý náboj nabíjet ručně.



Obr. 10 Autoloader T-72A [13]

Autoloader je schopen uložit až 22 nábojů do speciálního místa pod věží tanku. Munice je uložena v karuselovém mechanismu, který se otáčí a přivádí další náboj na místo k nabití. Systém autoloader dokáže nabít nový náboj během několika sekund, což pomáhá udržovat vysokou rychlost střelby a zvyšuje bojovou účinnost tanku. [17]

Autoloader tanku T-72M4 CZ je ovládán elektrickým motorem a hydraulickým systémem, které spolupracují při pohybu muničního karuselu a nabíjení zbraně. Autoloader je navržen tak, aby byl spolehlivý a snadno se udržoval, což pomáhá snížit pracovní zátěž posádky tanku během bojových operací. [3]

## 2.4 Nevýhody tanku a porovnání s konkurencí

Do této doby jsme se bavili pouze o výhodách a silných stránkách tanku T-72M4 CZ, to však není vše, co je podstatné vědět.

### 2.4.1 nevýhody T-72M4CZ

Jednou z hlavních nevýhod tanku T-72M4 CZ je jeho zastaralost. Jedná se o starší konstrukci tanku, a proto postrádá některé pokročilejší funkce, které se nacházejí u modernějších tanků. Například jeho systém řízení palby a zaměřovací schopnosti nejsou tak pokročilé jako u novějších tanků, přestože byly modernizovány, stále se jedná o starší design, což může omezovat jeho přesnost a účinnost v boji. [22]

S jeho konstrukcí souvisí také již zmiňovaný autoloader, což je největší výhoda a nevýhoda tanku zároveň. Přestože díky autoloaderu nemusí být přítomen další člen posádky a je zaručena stabilní nabíjecí doba, znamená to také že sklad munice je odhalen, a ne příliš zabezpečen, takže při sebemenším poškození hrozí velké riziko vznícení celého tanku a vyhoření muničního skladu. [22]



Obr. 11 T-72 po výbuchu muničního skladu [20]

Další nevýhodou tanku T-72M4 CZ je jeho zranitelnost moderními protitankovými zbraněmi. Ačkoli má poměrně silný pancíř, je stále zranitelný moderními protitankovými zbraněmi, jako jsou například řízené protitankové střely FGM-148 Javelin, které na tank míří ze shora tandemovou náloží. Tato nevýhoda může ztížit jeho použití v podmínkách moderního bojiště, kde jsou tyto druhy zbraní rozšířené. [22]

Kromě zranitelnosti má tank T-72M4 CZ také omezené povědomí o situaci kolem něj. Velitel tanku se musí spoléhat na tradiční periskopové zaměřovače, což může omezovat jeho situační přehled ve srovnání s tanky s vyspělejšími senzory a kamerami, přestože tank byl vylepšen různými varovnými systémy, které tento problém zmenšují, stále se nevyrovná špičkovým kamerám a sensorům u moderních tanků. Tato nevýhoda může ztížit odhalení a zasažení nepřátelských cílů, zejména v městském prostředí, kde je viditelnost často omezená. [22]

Poslední důležitá nevýhoda tanku T-72M4 CZ je že má také vysoké nároky na údržbu, což může být v terénu problém, zejména v drsném prostředí nebo v bojových podmínkách. K udržení provozuschopnosti tanku je nutná pravidelná údržba, to je samozřejmě u všech bojových vozidel, ale jelikož T-72 je starý typ tanku, údržba často zabere více času než u modernějších tanků. [22]

Celkově má tank T-72M4 CZ sice řadu výhod, ale také několik významných nevýhod, které je třeba při hodnocení jeho bojové účinnosti pečlivě zvážit.



## 2.4.2 Porovnání s Leopard 2A7

Pro lepší představu o bojové účinnosti tanku T-72M4CZ jsem se rozhodl udělat porovnání s hlavním bojovým tankem Leopard 2A7, který je experty považován za jedno z nejlepších bojových vozidel na světě. Vyráběný v nedalekém Německu a s největší pravděpodobností nahradí pozici T-72M4CZ v Armádě České republiky.

Toto porovnání nevznívá pro T-72 příznivě, jelikož není lehké najít důležité vlastnosti které má T-72M4CZ lepší oproti Leopardu 2A7, avšak můžeme vytknout dvě hlavní.

1. Náklady-průměrně by se za cenu jednoho Leopardu daly postavit přibližně čtyři T-72M4CZ, ale samozřejmě cena se může měnit v závislosti vybavení tanku. [2]
2. Obratnost a velikost-Leopard dosahuje téměř dvojnásobného objemu oproti T-72, přestože Leopard má lepší a výkonnější motor, tedy i vyšší průměrnou rychlost, teoreticky by se T-72, díky malé velikosti a váze, považovat za obratnější tank co má větší šanci se vyhnout útoku, avšak v dnešní době to není moc pravděpodobné z velice dobrých zaměřovacích systémů. [2]

Leopard 2A7 je obecně považován za vyspělejší a schopnější tank s lepší palebnou silou, ochranou posádky a celého tanku, pokročilými systémy a vyšší rychlostí. Proto tedy v přímém setkání těchto dvou tanků jsou šance na výhru T-72 opravdu minimální. [3]



Obr. 12 Porovnání velikosti Leopard 2A7 a T-72M4CZ

## Animace tanku T-72M4CZ a jeho bojových systému

Tabulka 1 charekterisky Leopard 2A7 a T-72M4CZ [19] [16]

Název tanku	T-72M4 CZ	Leopard 2A7
Země původu	Česká republika	Německo
hlavní výzbroj	125 mm kanón s hladkým vývrtem	120 mm kanón s hladkým vývrtem
Průbojnost střely	~550mm	~700-750mm
Pancíř	Věž: ~700-800mm Trup: ~500mm	Věž: ~600mm Trup: ~400-500mm
Posádka	3 (velitel, střelec, řidič)	4 (velitel, střelec, nabíječ, řidič)
Váha	41-45 tun (v závislosti na konfiguraci)	~62 tun
Výroba	začátek 20. století	prvně představen v roce 2014
Cena	~2-3 miliony amerických dolarů za kus	~10-12 milionů amerických dolarů za kus

## **3 Praktická část**

### **3.1 Průzkum**

Když jsem se rozhodoval, jaký druh práce budu dělat, věděl jsem, že chci dělat něco z oboru vojenství, co je zároveň všem povšechně známé, ale nějaké bližší podrobnosti většina běžných občanů nezná.

Nakonec jsem tedy zvolil tank T-72M4CZ, který je symbolický pro českou republiku, ale jeho pravé funkce nezná téměř nikdo, a tak jsem si jakožto projekt rozhodl vytvořit výukovou animaci o tomto tanku.

#### **3.1.1 Získávání podkladných materiálů**

Poté co jsem si stanovil předmět své práce, hned jsem narazil na první výrazný problém, a to že udělat alespoň přibližně realistický model tanku, který je doposud v aktivní výzbroji, nebude tak lehké, jak jsem si myslel, z důvodu utajování přesných parametrů, a to zejména vnitřku tanku.

Proto jsem se rozhodl, požádat o pomoc ministerstvo obrany České republiky a také Univerzitu obrany ve Vyškově. Avšak odpověď byla přesně taková, jakou jsem očekával, Ministerstvo obrany mě odmítlo rovnou a Univerzita obrany mi sdělila, že bych musel být studentem jejich školy pro poskytnutí takových materiálů.

Po prvním nezdařeném pokusu, jsem se rozhodl kontaktovat 2 zahraniční firmy, Gaijin Entertainment a Wargaming.net, které se specializují ve vytváření počítačových her s válečnou tematikou, a tedy i musí mít přibližné rozměry, které potřebuji, ale výsledek byl opět stejný a byl jsem odmítnut.

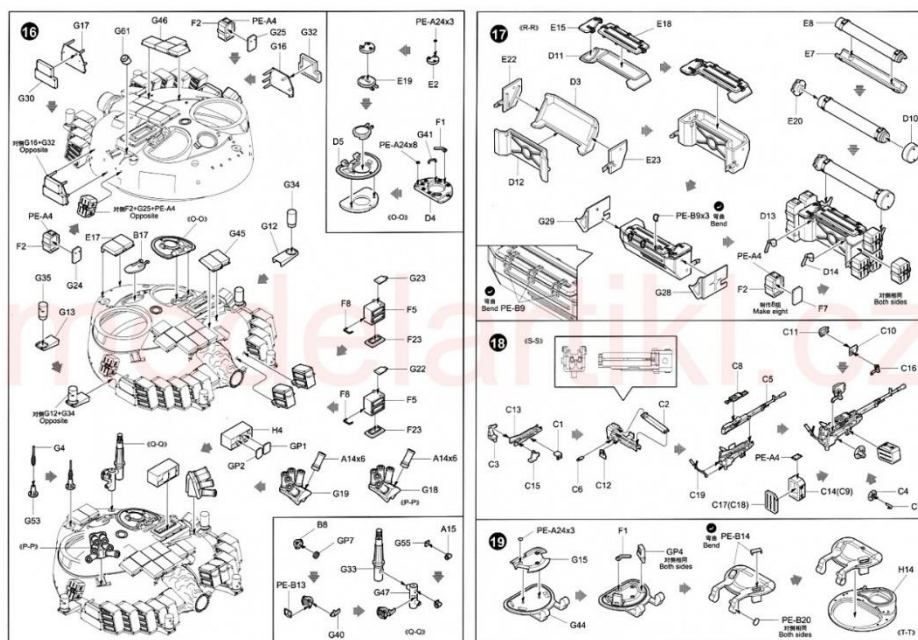
## Animace tanku T-72M4CZ a jeho bojových systémů

Nakonec si mi podařilo dostat se do kontaktu s Františkem Sýkorou, správcem vojenského muzea v Lešanech, který mi díky speciálnímu povolení umožnil si nafotit jediný prototyp tanku T-72M3, a dokonce jsem se mohl i v tanku projet a lépe zjistit funkci jednotlivých součástí tanku.



Obr. 13 Fotka výtahu autoloaderu ve vnitřku tanku T-72M3

Jakožto dodatečné podklady k vytváření 3D modelů jsem používal modelářskou stavebnici tanku T-72M4CZ, která přes návod k sestavě, jednotlivě ukazuje všechny součásti, a to mi také značně pomohlo při 3D modelování



Obr. 14 Návod k sestavě plastového modelu T-72M3 [19]

### 3.1.2 Vybírání programu pro modelování

Jakožto program pro vytváření 3D modelů jsem zvolil program Blender. Tento program jsem si vybral zejména z důvodu, že je relativně používaný na mé škole, a tedy když jsem se v něm začínal učit, mohl jsem se s případnými radami obrátit na učitele školy, druhý hlavní důvod pro výběr tohoto programu bylo že nejsou za potřeba přesné rozměry modelovaných dílů, jak tomu je například v programu Siemens Solid Edge nebo Autodesk AutoCAD, s kterými jsem doposud pracoval.

## 3.2 vytváření 3D modelů tanku

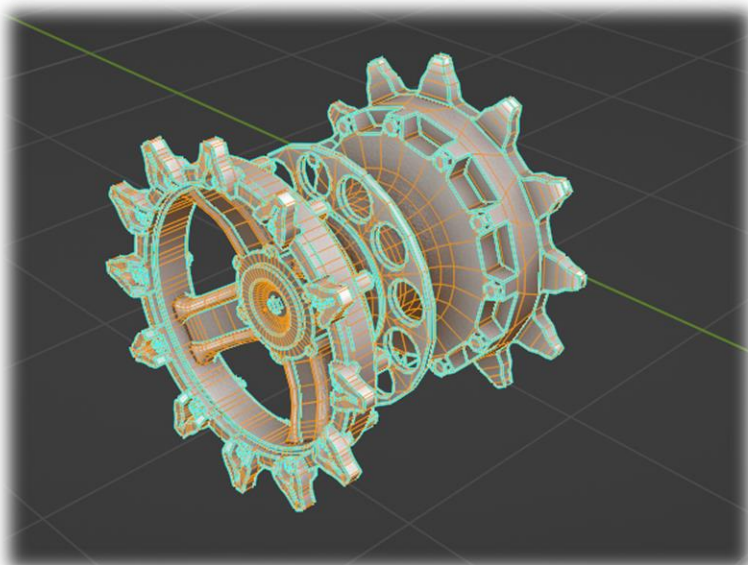
Poté co jsem sesbíral dostatečné množství informací, podle kterých lze modelovat a naučil se základy tvoření v daném programu, nezbyvalo nic jiného než samotné modelování. Vytváření modelů byl velice zdoluhavý a relativně nezábavný proces, obzvláště když jsem musel dělat některé části i na 5 pokusů, aby se co nejvíce podobali realitě. Pokusím se tedy nyní přiblížit jednotlivé části a můj postup při jejich vytváření, jelikož tuto část nepovažuji za nejdůležitější část této práce, nebudu zacházet do moc velkých podrobností.

### 3.2.1 Pásky a kola

Řekl jsem si, že nejlehčí bude začít od spodu tanku, avšak později se ukázalo že pásy jsou nejnáročnější částí modelu, ale k tomu se více vyjádřím později.

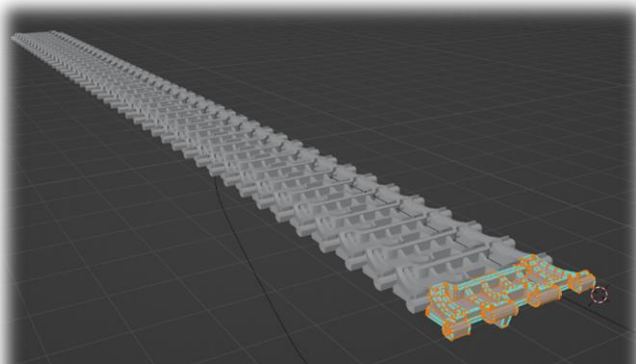
Základní kola byla relativně snadná. Pomocí blueprintu v pozadí jsem vymodeloval základní tvar a udělal prohlubně tam, kde mají být šrouby a pomocí proporciálního editování vytáhnout střed kola, aby vznikla menší vypuklina, pak jen stačilo dodělat šrouby které se dali lehce udělat z 6 úhelníku a hrubý model kol byl hotov.

Větší problém nastal u hnacího kola, které pohání celý pás, krom toho že celé kolo bylo více detailnější tím pádem i těžší udělat, hlavní problém nastal u ozubení protože jsem nevěděl jeho velikost, jelikož jsem ale dokázal z obrázku odvodit poloměr rozteče (300 mm) vymodeloval jsem jeden zub podle výkresu podobně jako u předchozích kol, následně jsem na duplikoval zub kolem osy vzdálené 300 mm a to přesně 24krát, jelikož kolo má 24 zubů a vytvořil jsem tak relativně přesné ozubené kolo od kterého se dále bude odvíjet model pásů.



Obr. 15 Hnací kolo, finální 4. pokus

Poslední část soukolí jsou pásy, přestože to byla pravděpodobně nejvíce problematická část tohoto projektu, nebylo to kvůli modelování. Podle fotky jsem jednoduše vytvořil jeden článek pásu a čep pomocí kterého jsou články spojené. Podle informací z knih jsem zjistil že článků na jednom pásu je přesně 90, tak jsem tedy vytvořil křivku v přibližném tvaru sestavného pásu a na článek který jsem vymodeloval jsem použil modifier array, který naduplikoval článek přesně 90krát a následně jsem použil další modifier s názvem curve, který nastavil aby se všech 90 článků obepínalo kolem křivky a vzniknul tak celý pás, musel jsem si jen trochu pohrát s velikostmi jelikož první a poslední článek do sebe přesahovaly, tak jsem jen zmenšil velikost čepu a všechno do sebe pasovalo

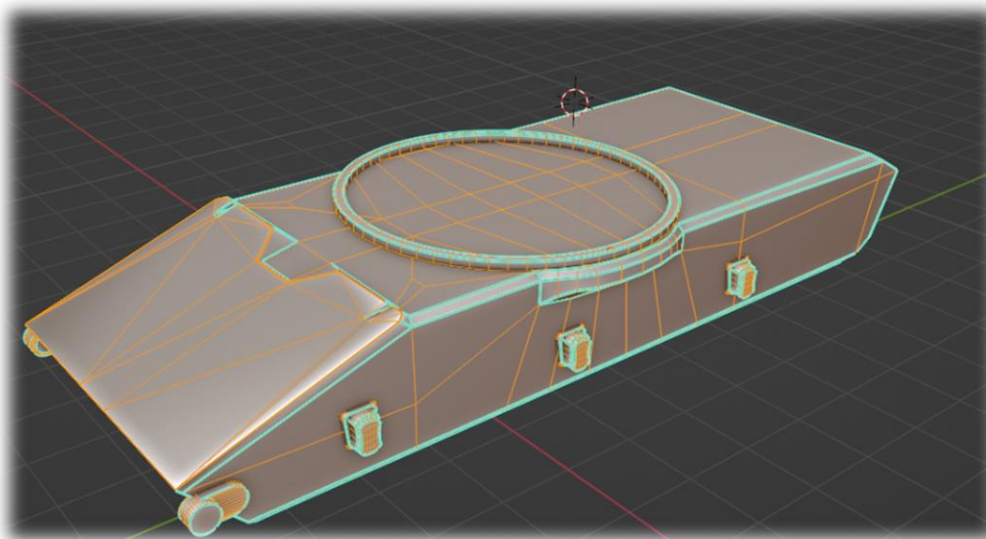


Obr. 16 model pásu pro obtočení kolem křivky, představující tvar pásu

### 3.2.2 Korba a věž

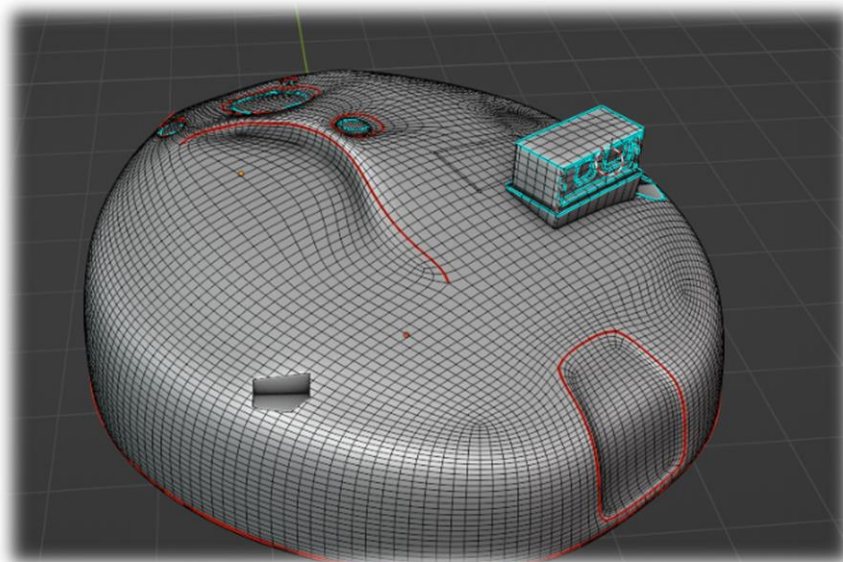
Modelování korby tanku T-72M4CZ není ani tak náročné na samotné tvoření, ale zato vyžaduje důkladnou znalost konstrukce a struktury tanku. Korba se skládá z několika součástí, jako je přední pancéřová deska, motorový prostor a prstenec věže. Každou z těchto součástí je třeba vymodelovat zvlášť a teprve poté je spojit do konečné podoby korby.

Základ je jednoduchý, opět stačilo pomocí bluepintu v pozadí vytvořit základní tvar korby a následně pomocí fotek dodělat jednotlivé detaily. Jelikož jsem zprvu dělal pouze obecné holé modely (bez periskopu, přídatných pancéřování atd.), trup byl hotový relativně rychle, jediné, co zabralo trochu více času, bylo upevnění kol ke korbě a tlumiče nárazů, jelikož jsou řešeny pomocí torzních tyčí, s těmi jsem se setkal poprvé.



Obr. 17 finální model trupu 2. pokus

Věž byla už trochu náročnější, z důvodu nepravidelného tvaru, a také jelikož je celá posetá různými senzory, poklopy a reaktivním pancířem, z fotek ani z blueprintu nelze moc odvodit samotný tvar věže. Tady jsem se musel obrátit na starší modernizace tohoto tanku, které mají zřetelně vidět celou věž, samozřejmě jsem si pečlivě zkontroloval, jestli se základ věže v průběhu let nezměnil, ale žádné informace, které by toto potvrzovaly jsem nenašel.

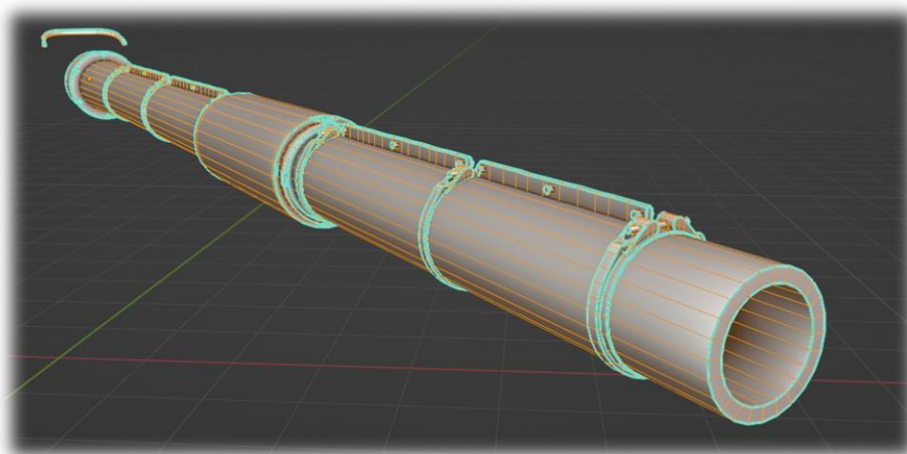


*Obr. 18 model věže, pokus 1. jen byli potřeba menší úpravy kvůli zbytku součástí věže*

Při modelování jsem zároveň musel myslet na to, že chci později modelovat část vnitřku věže, proto musel tedy perfektně sedět na trupu, aby později nevznikaly žádné zbytečné problémy.

### 3.2.3 Autoloader a kanón

Co se týče hlavního kanónu, jediná menší nepříjemnost byla, že na rozdíl od ostatních druhů tanků, tanky sovětské konstrukce mají kanóny složené z více částí, tedy je za potřeba i některé části vyztužit, aby zaručeně vydrželi výstřely, to tedy znamená více malých částí na modelování, ale nic, co by se nedalo zvládnout.



*Obr. 19 kanón pokus 2.-3.*

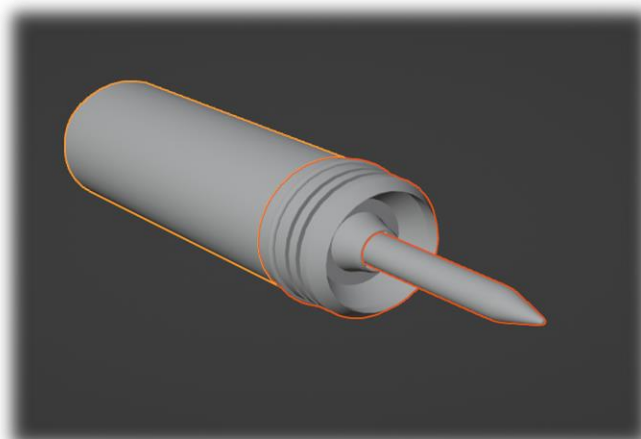
Stejně jako u ostatních částí modelu, základ je nutné obkreslit podle blueprintu, aby vše bylo ve stejném měřítku. Poté co máme základní „trubku“ je potřeba uprostřed udělat další kulatinu s větším průměrem, která se zde nachází z důvodů spojení dvou částí kanónu. Před a za touto spojkou se nachází dohromady 6 zpevňovacích kroužků, proti roztrhnutí kanónu, na každé straně se tedy nachází tři. Všechny tyto části se dají vyrobít z kruhu, který stačí jen různě vytahovat měnit velikost. Poslední kus byl na horní části jakýsi hranol, který opět slouží ke zpevnění děla, vymodelovat se dal velice lehce z kostky, kterou jsem jen trochu upravil. S horní části hranolu jsem si trochu vyhrál se zahýbáním a deformací, aby kanón vypadal více realisticky, ale na finálním kousku to není skoro vidět.

Autoloader byl asi nejtěžší část na vymodelování, protože jsem opravdu nenašel téměř žádné podklady z kterých vycházet, z fotek bylo velice těžké cokoli rozpoznat a na internetu tyto informace najít také nelze. Hodně jsem se orientoval pomocí knih, v kterých se mírně autoloader popisuje, stejně tak jsem sám už něco málo věděl, ale u některých částí mi opravdu nějakou dobu trvalo, než jsem zjistil k čemu slouží, s trochou nadsázky se dá říct že vnitřek jsem z části sám konstruoval a je to jediná část celé práce, která nemusí na 100% odpovídat skutečnosti, ale myslím, že bez bližších podkladných materiálů (které jsou utajované) vnitřek lépe vymodelovat již nejde.

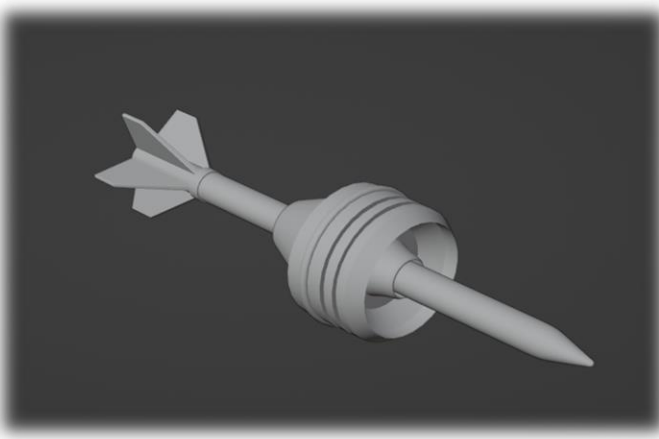
Začal jsem samotnou střelou, která se skládá z dvou hlavních částí, jedna je přímo „šipka“ s výbušninou a dalšími menšími kusy, a druhá je pohonná část s rozbuškou,

T-72M4CZ používá náboj s názvem EPpSv-97 APFSDS-T od firmy Synthesia Přerov, problém je, že u tohoto náboje nelze dohledat, jak přesně vypadá. Tato střela je modernizace ruského náboje 3BM22, proto jsem usoudil že vlastnostmi a rokem výroby se bude nejvíce podobat opět ruskému náboji 3BM44 nazývaný „Mango“, u kterého už nalézt výkres nebyl velký problém. Podle výkresu a fotek jsem vymodeloval střelu, jelikož se jedná o rotační součást, stačilo obkreslit poloměr a následně rotovat kolem osy. druhá pohonná část náboje je u všech typů prakticky stejná, proto jsem ji udělal jakožto jednoduchý válec s pár detaily.

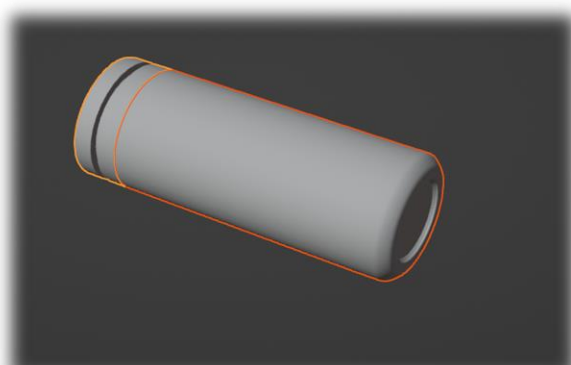




Obr. 22 Celý náboj se střelou



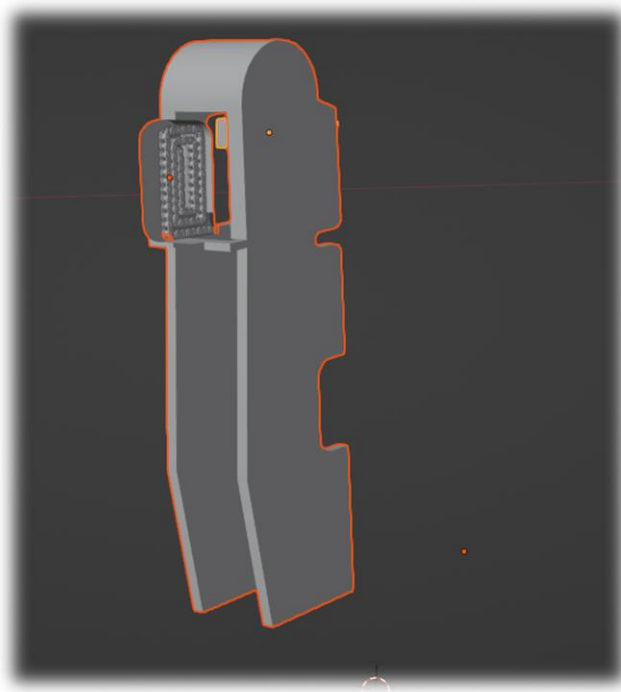
Obr. 21 náboj bez výbušné části, pouze šipka a stabilizační kruh



Obr. 20 sekundární výbušná složka s rozbuškou

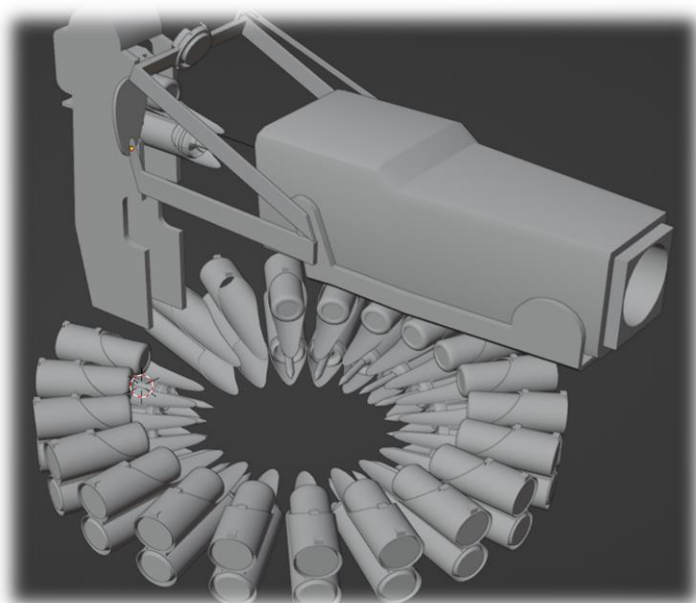
Další na řadě byl jeřáb a pouzdra na náboje, pouzdra jsem udělal jakožto dva válce, které jsem trochu ručně upravil, aby na sebe plynule navazovaly. Vpředu bylo nutné udělat jakési výběžky, jinak by náboj při vjíždění do děla mohl vypadnout, u „šipky“ musel být výběžek trochu větší, jelikož tomu tak je i ve skutečnosti, pravděpodobně proto, že je těžiště více u špičky náboje kvůli wolframové části, bez většího výběžku by hrozilo převážení a vypadnutí z pouzdra. Tyto výběžky jsem udělal pomocí proporciálního editování, tedy vybral jsem jeden bod na špičce a body v jeho blízkosti částečně následovaly úpravy, které jsem na vybraném bodu provedl. Nakonec jsem na celé pouzdro použil modifier solidify, který dal celé části určitou tloušťku. Následně pomocí modifieru array naduplikoval 22krát a srovnal velikost pomocí výkresu celého tanku, aby autoloader pasoval dovnitř.

K Jeřábu jsem moc předloh neměl, proto jsem ho dělal hodně podle mého uvážení, tvar jsem udělal podle nějakých fotek, ale určitě není přesný. Dal jsem si celkem záležet na řetězu který zasouvá nábojnice do kanónu, je udělaný, aby se mohl ohýbat pouze na jednu stranu, může se tedy v zadní části jeřábu navíjet a při nabíjení vyjede opřený spodní částí a horní část mu neumožňuje se ohýbat v tom směru, působí tak jakožto pevné tlačící rameno a při pohybu



Obr. 24 Jeřáb pro autoloader a válečkový řetěz speciálně upravený pro ohyb pouze v jednom směru

zpátky se opět navine. Uchycení pouzder v jeřábu je řešeno pomocí dvou trapézových šroubů, na kterých se pohybují čelisti, které se za pouzdro zachytí. Zbylé části jakožto uzávěr kanónu a rameno na zachycení použité rozbušky, byli relativně lehké, základ obou částí byl kvádr, který jsem jen různě poupravil a rozřezal, aby se části co nejvíce podobaly předloze. Nakonec jsem vše napasoval do vnitřku tanku, ale jelikož jsem všechno dělal v měřítku, nebyl to žádný problém, jediná problematická část byl jeřáb, jelikož jsem ho udělal moc vysoký, ale zmenšit ho nebyl problém.

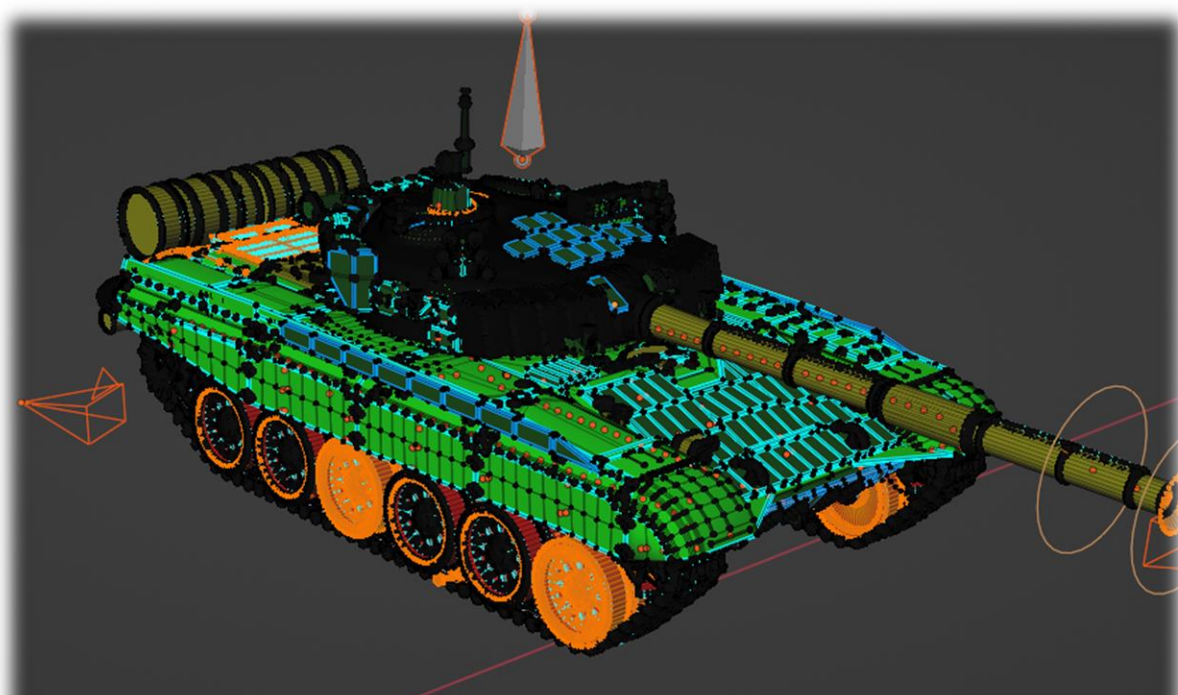


Obr. 23 Celý model autoloaderu, přibližně 7. pokus

### 3.2.4 Detaily tanku

Poslední část modelování byly jednotlivé detaily, které primárně sloužily, aby bylo na první pohled poznat, o jaký druh tanku se jedná. To znamená všechna zařízení umístěná na věži a trupu, ale zároveň i všechny šrouby, matice, kolíky atd., kterým jsem se celou dobu takticky vyhýbal, protože jsem věděl, že to bude opravdu nezáživná práce. Co se týče ale jednotlivých zařízení, na trupu se jednalo hlavně o ERU neboli reaktivní pancíř. Ta nebyla na modelu nikterak náročná ve většině případů se jedná o jednoduché hranoly, u kterých se jen upravuje velikost. Na věži se již trochu zkomplikovaly, jelikož se zde nachází velké bloky reaktivního pancíře, na nich jsem udělal pár menších detailů jakožto nýty apod. Ale opět se nejednalo o žádnou výzvu. To se ale již nedá říci o zadní části tanku, kde se nachází kryt na motor. Tady jsem si opravdu vyhrál s mřížemi, kabely a ocelovým lanem. Zde se modelování podle blueprintu neukázalo jako efektivní řešení, proto jsem opět vycházel z části z obrázků a z části podle vlastní úvahy. Nejvíce času zabrala mřížka, snažil jsem se ji udělat nějak efektivně aby později zbytečně nezatěžovala výpočty při pohybech tanku, ale přibližně u pátého pokusu jsem to vzdal a udělal jsem ji přibližně z 200 000 ploch. Nebudu popisovat podrobně postup modelování, jelikož se nejedná o důležitou část modelů, pouze estetickou.

Dále byly na řadě senzory, poklopy a hrablo ve předu tanku, díky fotografiím nebyly části na věži žádný problém, pouze zabraly nějaký čas a u některých i více pokusů, než jsem došel k výsledku, se kterým jsem byl spokojen. Nejzajímavější byl asi velitelský poklop, který na sobě má umístěnou vlastní optiku v podobě malé věžičky. Základem byl kruh, u kterého se jen pozměňovaly průměry, aby odpovídaly měřítku, nahoře u poklopu jsem kruh díky proporciálnímu editování trochu „zmáčkl“ a pak udělal tlustší, aby odpovídal tvaru, po přidání úchyťů, nýtů, šroubů a pár dalších detailů byl poklop hotov. Ostatní části tu rozebírat nebudu, jelikož postup byl velice obdobný.



Obr. 25 celý model tanku

Poslední úpravu, kterou jsem později udělal, bylo vytvoření takzvaných „sharp seams“ (modré čáry na obrázku), které jednoduše ulehčují programu výpočty zahlazení tím, že pomocí těchto modrých čar označíte hrany, které jsou ostré a jsou důležité pro tvar objektu. Toto ulehčení dosti pomohlo v pozdějších částech při animaci.

### 3.3 Realistické pohyby a animace

Udělat reálné pohyby tanku byl jedním z hlavních cílů, které jsem si pro projekt stanovil. Nakonec se jakožto největší handicap nakonec ukázal samotný program, který nedokázal zvládat výpočty s tak složitými modely, avšak nakonec se mi to podařilo vyřešit. Animace se skládala z dvou hlavních částí „Constraints“ co by se dalo přeložit jakožto animace pomocí matematických omezovačů, a „Rigid body“, což je dynamická simulace objektu.

#### 3.3.1 Constraints

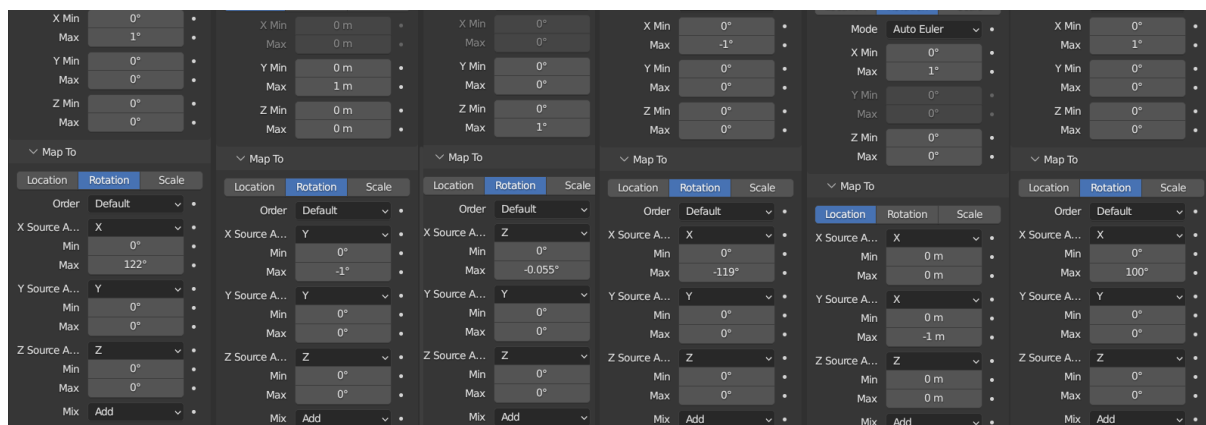
Jak už jsem řekl je to animace pomocí matematických funkcí. Ale co to vlastně znamená a proč to používat místo simulace? Jedná se o matematické vztahy, které udávají objektu, jak se má chovat, pokud další objekt udělá nějakou konkrétní činnost, např: pokud se rám auta pohne o 1 m dopředu, kola se otočí o 360°. Tato metoda se ukázala jako efektivní pro jednoduchou manipulaci s tankem, přestože touto metodou bylo pravděpodobně těžší správně nastavit parametry animace. Když jsem potřeboval s tankem popojet pouze dopředu nebo se otočit na místě, tato možnost byla rozhodně lehčí než Rigid Body. To hlavně z toho důvodu, že objem výpočtů je řádově menší než výpočty potřebné pro dynamickou simulaci pomocí Rigid Body. Avšak její hlavní nevýhoda je, že „nevnímá“ ostatní objekty. To znamená, že místo toho, aby tank překážku přejel, výpočet jí kompletně ignoruje a tank projede přímo rovně skrz překážku, jako by tam nebyla.

Nyní se pokusím vysvětlit můj postup při používání systému constraint v mém modelu tanku. Základem bylo si stanovit základní bod ze kterého se bude vycházet, v mém případě jsem použil nehmotný objekt neboli „empty“. Empty jsem umístil doprostřed pásu a nastavil, aby byl „přilepený“ ke zbytku tanku (když se tank pohne, tak empty také). Poté jsem musel vytvořit závislost všech kol a pásů na pohybu již umíněného empty, což se provede pomocí soustavy matematických funkcí.

Základ jsem si stanovil pohyb tanku o 1 metr dopředu, musel jsem zjistit kolik metrů pásu „odrotuje“ a poté vypočítat obvod kol, abych zjistil jejich rotaci po ujetí jednoho metru. Pohyb pásu jsem vyřešil tak, že jsem nastavil, aby se empty otočilo přesně o 1° v ose X, za každý 1 metr co se trup tanku pohne v ose Y, následně jsem nastavil, aby se pás pohnul o -1 metr v ose Y za každý 1° co se empty pohne v ose X. Pokud si říkáte, proč jsem nenastavil rovnou 1 metr trupu = -1 metr pásu, tak by tento postup sice fungoval, ale neumožňoval by následné zatáčení, které vysvětlím v následujících větách. Pro empty jsem nastavil další závislost, aby sledovala pohyb trupu v ose Z, a za každý 1° se pootočila v ose X o 0,055° (k tomu číslu se nedá přesně dopočítat, respektivě by to zajisté šlo, jen by to bylo velice složité, proto jsem z části používal empirickou metodu), všechny tyto závislosti bylo nutné nastavit i na

druhé straně pásu, avšak bylo vše potřeba vynásobit  $-1$ . Jakožto poslední část zbývala kola. Obvod kol jsem vypočítal pomocí vzorce  $o = 2 \pi r$ . Došel jsem k závěru, že při pohybu tanku o 1 metr se kolo obtočí přesně o  $100^\circ$ , následně zbývalo to samé udělat pro hnací a napínací kola, u hnacího vyšlo  $119^\circ$  a u napínacího  $122^\circ$ .

Po těchto všech nastavováních a závislostech byl pohyb tanku pomocí systému constraint hotov. Což znamená, že nemusím při animaci tanku animovat jeden každý díl pohybujícího se pásu, ale jejich pohyb vychází z pohybu řídicího tělesa-trupu.



Obr. 26 všechny použité funkce pro vytvoření realistického výpočtu pásů

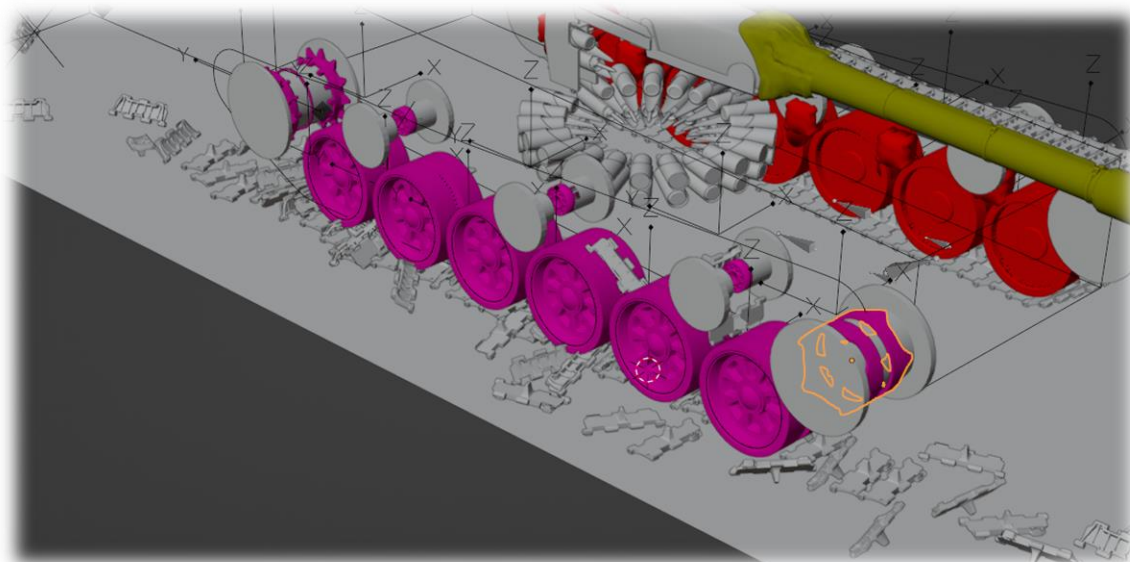
### 3.3.2 Rigid body

Nyní si vysvětlíme, jak funguje a jak jsem použil Rigid body. Rigid body je simulace, kdy se vypočítává pohyb tělesa, na které působí síly (gravitace) a vzájemně interagují (odraz, tření). Rozpoznává 2 hlavní typy objektů „active“ a „passive“. Active je objekt, který se pohybuje. Musíme mu tedy nastavit váhu, tření, velikost apod. Naopak passive rigid body se chová jako překážka, nepůsobí na něj gravitace ani žádné další jevy. Pokud si dáme příklad hození míče proti zdi, míč bude active rigid body a zeď passive.

První krok bylo si stanovit všechny active rigid body objekty. V mém případě jsem udělal zjednodušený model trupu, který je neviditelný a zbytek tanku se pohybuje podle něj. S touto metodou neviditelných objektů se setkáme v této práci vícekrát, hlavní důvod jejího využití je ulehčení výpočtu simulace, což znamená drastické snížení času pro výpočet. Při výpočtech dynamických simulací se počítá zvlášť každý jednotlivý vertex (vrchol) modelu. Můj tank má přibližně 1 500 000 vertexů. Ale díky použití „neviditelného“ zástupného modelu, který má cca 500 vertexů, je výpočet zjednodušený o tři řády. Další active objekty byly samozřejmě články pásu a kola, poté co se spustila simulace s tímto nastavením, všechny části se rozpadly vlivem

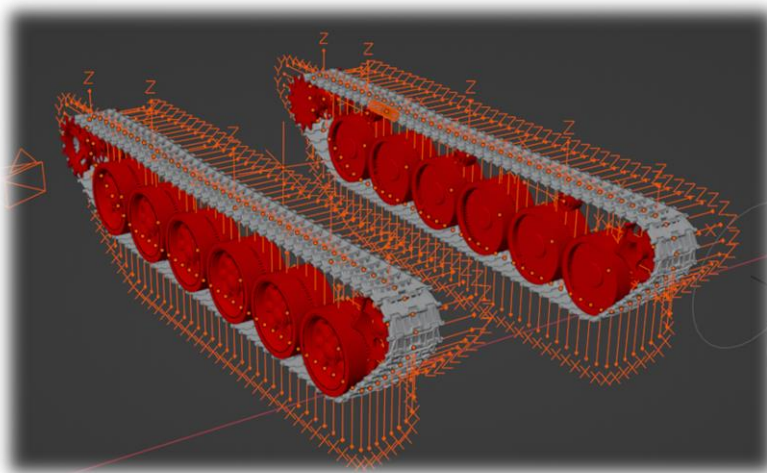
gravitace a vznikla pouze hromada součástí. Tady je velký problém s tím, že výpočet Rigid Body selže v okamžiku, kdy se začnou polygony sousedních článků prolínat. Nelze v tak hustém modelu, s články těsně u sebe, zajistit, aby k tomu nedošlo.

Tímto se dostáváme k prvnímu výraznému problému, na který jsem při nastavování rigid body



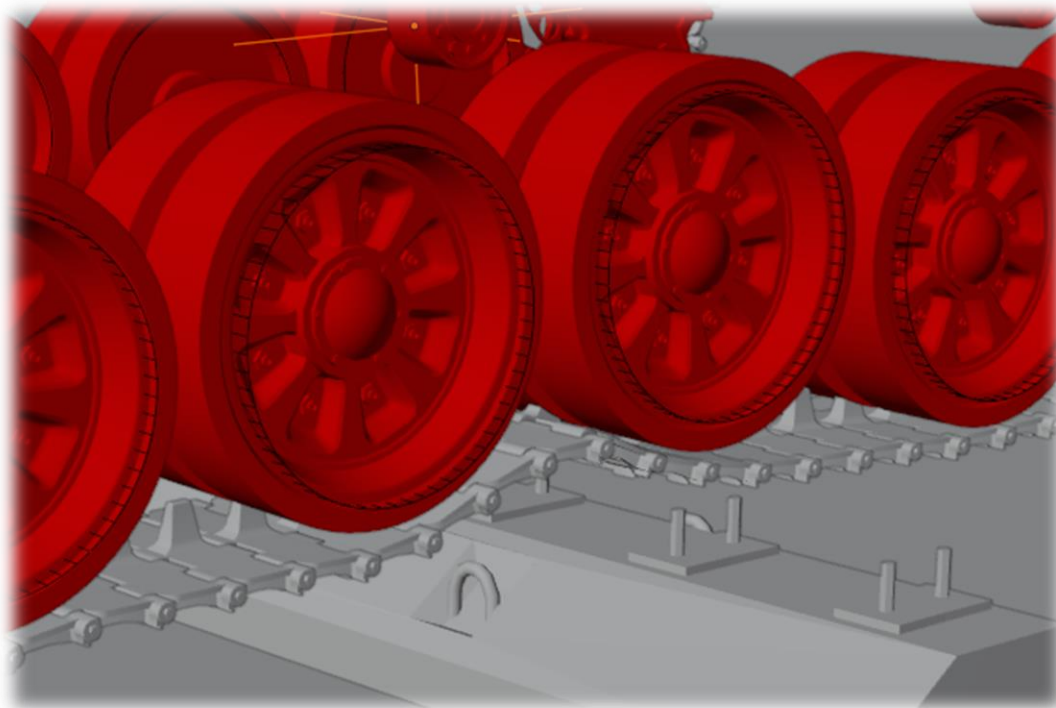
Obr. 27 Simulace bez constraint vztahů

narazil a to bylo, jak vytvořit reálné odpružení tanku a chování pásů? Po dlouhém několikadenním přemýšlení, jsem došel k závěru že by zde opět použít constrainty, tentokrát ale trochu jiné vztahující se pouze na rigid body. U pásu se osvědčil constraint s názvem „Hindge“, který zjednodušeně řečeno vytvoří závislost článku na předchozím článku, to znamená že článek A se bude pohybovat v závislosti na článku B, který se zase pohybuje v závislosti na článku C, vznikne nám tedy jistá uzavřená smyčka, které perfektně simuluje chování pásů. Tento constraint se většinou používá u napodobení chování lan apod. ale lze jej využít i tímto způsobem. Za jistou nevýhodu by se dalo považovat nepořádek, který díky tomu vznikl (viz obrázek), mezi každým článkem musel vzniknout objekt empty, který nastavoval tuto funkci.



Obr. 28 zvýrazněné objekty empty, symbolizují matematické vztahy mezi články pásu a koly

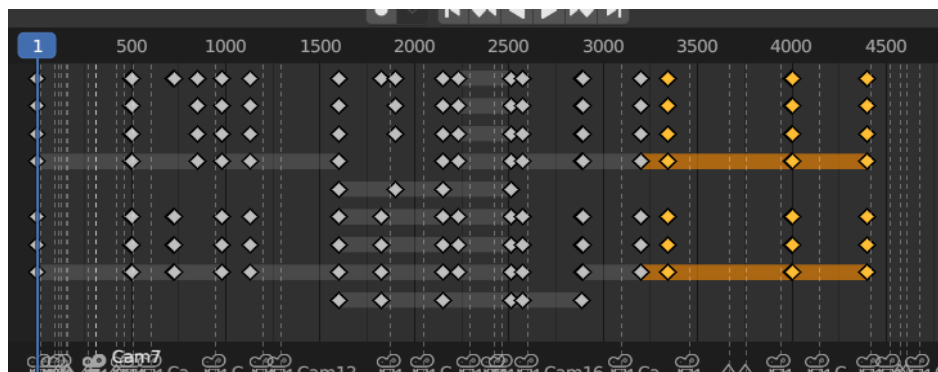
Kola bylo poněkud lehčí, opět vyřešená pomocí constraint, tentokrát však s názvem „Generic spring“. Stručně řešeno tato funkce vytvoří nad kolem neviditelnou pružinu, které když nastavíte sílu, vytvoří odpružení kol, avšak se musí dát pozor, aby se vypnul pohyb pružiny v osách X a Y, a naopak rotace byla povolena pouze v ose X, jinak by simulace kol nefungovala.



Obr. 29 První úspěšná simulace odpružení kol

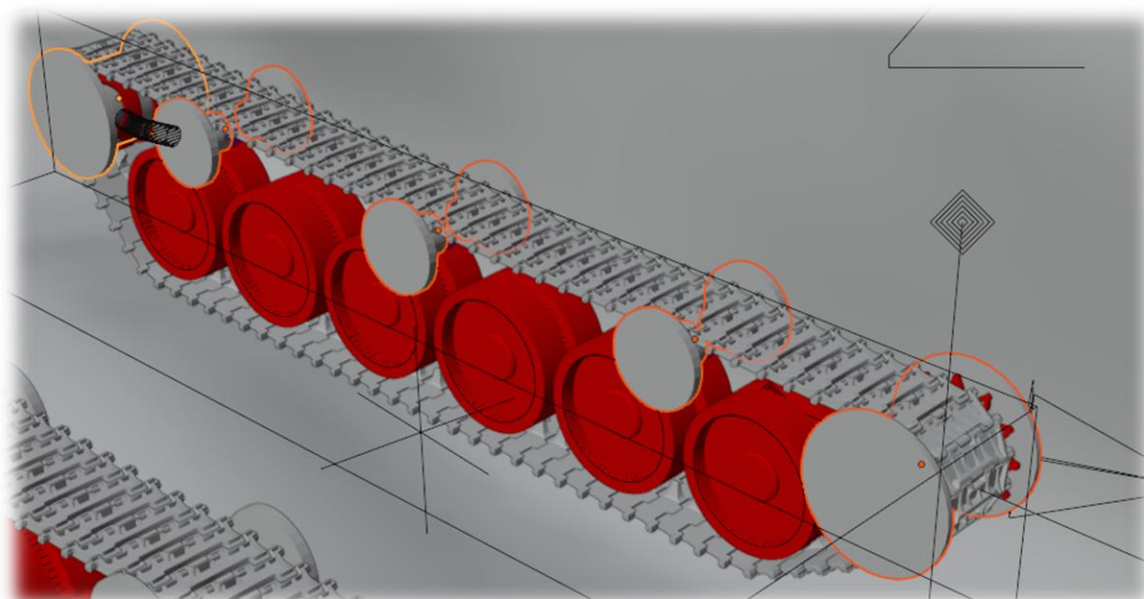
Nyní po spuštění animace pásy drží pohromadě, jak tomu je v realitě a kola po naražení do překážky pruží. Došel jsem k závěru, že neefektivnější je celý tank mít v menších hmotnostech, kupříkladu když nastavíme, že jeden článek pásu váží 5 kg jak tomu je v realitě, je mnohem větší šance ke vzniku chyby v průběhu animace, proto jsem u článku pásu nastavil váhu na 0,4 kg, a tedy jsem musel také zmenšit váhu všech ostatních částí přesně 12,5krát.

Tank potřeboval nějaký druh pohonu, ten šel vyřešit jednoduše, nastavil jsem hnací kolo, aby fungovalo jako v realitě, a tedy pohánělo celý tank, jenže nastal problém u počítání simulace, jelikož program nebyl stavěný na takhle náročné počty, a tedy průměrná rychlost byla 3 snímky za sekundu, proto jsem uznal že to musím udělat jiným způsobem.

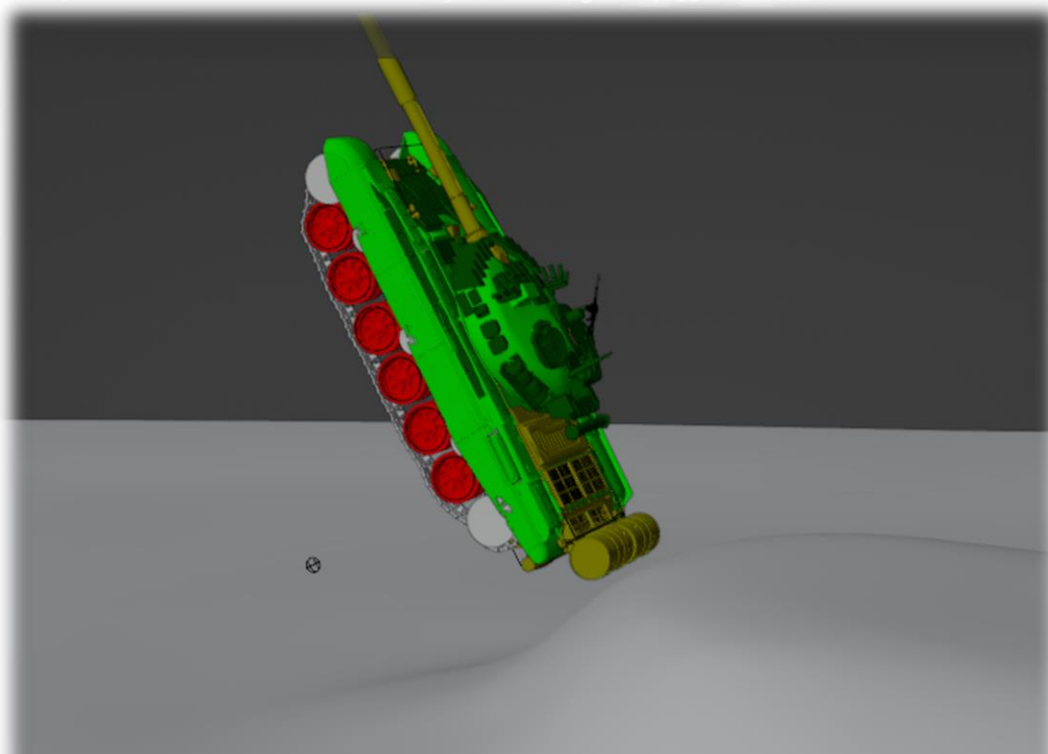


Obr. 30 záznam simulace, každý žlutý kosočtverec symbolizuje změnu otáček pro otáčení tanku

Opět jsem tedy použil způsob vytvoření jednoduché součásti, která sloužila k zjednodušení výpočtů (viz obrázek), zároveň tento tvar zaručil, aby pásy při zatáčení „nesklouzly“ a držely se stále na kolech. Tyto části pro udržování jsem musel udělat ještě víckrát, tentokrát však bez pohonu, jelikož při otáčení na místě, měly pásy v budoucnu tendenci padat. Poslední krok, poté co jsem nastavil, kdy a jaký motor má zrychlovat a zpomalovat a řídil tak pohyb tanku v celé animaci, jsem na závěr vše převedl na klíče, které udávají konkrétní rotaci a pohyb všech součástí z jednoho snímku na druhý, aby se animace nemusela počítat stále od znova.



Obr. 31 válce pro ulehčení simulace, které zároveň udrží pásy ve správné poloze



Obr. 32 Neúspěšná simulace, omylem jsem nastavil 10krát menší váhu



## 3.4 Textury a finální střih videa

Textury byly vytvářené v programu Adobe Substance 3D Painter. Tento program je značně využíván ve filmovém a videoherním průmyslu, proto jsem ho zvolil na vytvoření textur a samotné video bylo vytvořeno v programu od stejné firmy s názvem Adobe Premiere Pro

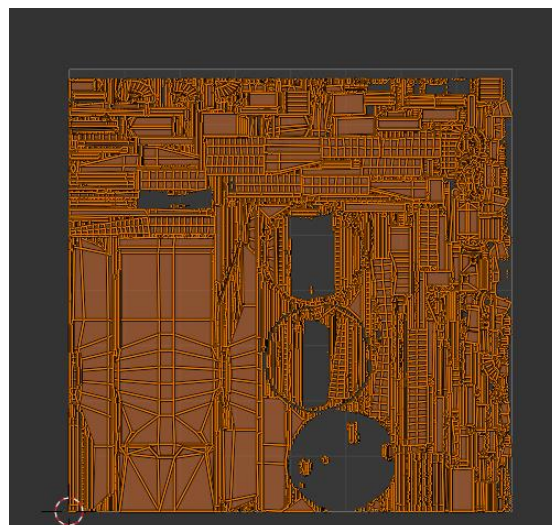
### 3.4.1 Texturování

Poté co jsem si našel pár obrázků, kde byly zřetelně vidět barvy a materiály ze všech stran, pustil jsem se do texturování. Jednoduše se celý tank pokryje bílou barvou a pak pomocí speciální efektů se pokrývaly části barvou černou, aby vznikly efekty jako koroze, poškození apod. Následně jsem strávil pár dní vytvářením samotných materiálů, aby správně hrubé, lesklé atd. Jako poslední krok jsem vytvořil kamufláž identickou pro tento tank.



Obr. 33 Materiál pro rez, bílá barva reprezentuje korozi

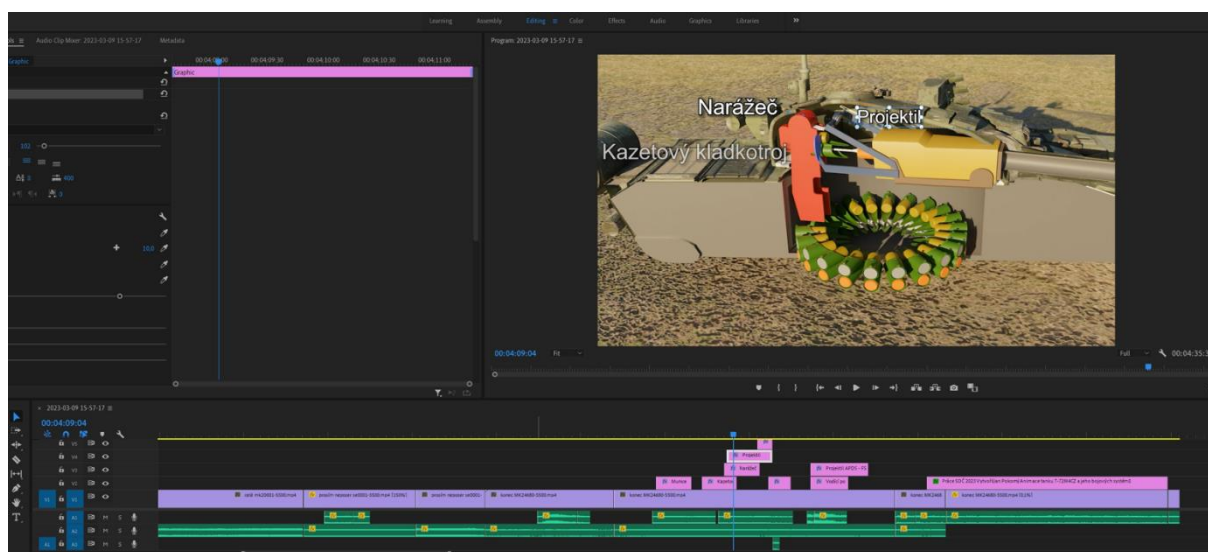
Aby se daly textury použít musí se takzvaně „UV unwrapnout“. To znamená vytvořit z 3D modelu 2D obrázek na který se aplikují materiály pro jednotlivé parametry (RGB, Metallic, Normálová mapa atd.), tato část zabrala na texturování asi nejvíce času.



Obr. 34 UV unwrap pro jeden kryt na pás

### 3.4.2 Stříhání videa

Stříhání videa nebudu rozebírat do větší hloubky, stručně řečeno jsem vyrenderoval v Blenderu finální video, a to vložil do Adobe Premiere Pro. Postupně jsem celé video rozstříhal na více malých kousků a některé nevhodné scény jsem z videa vymazal. Zvuky jsem použil z internetového úložiště Soundcloud, kde jsou zdarma dostupné zvuky přímo reálných strojů. Následně stačilo vložit zbylé 2 krátká nauková videa a vybrat opět zdarma dostupnou hudbu, která bude do videa alespoň trochu pasovat. Poslední krok bylo dopsat informace do naukových částí. To byla menší výzva, jelikož u některých částí je opravdu těžké shrnout nejdůležitější funkce do krátké věty či bodu.



Obr. 35 Screenshot ze stříhání videa

## **4 Závěr**

### **4.1 Splnění cílů a celkové zhodnocení**

Cílem mé práce bylo dokázat že strojírenství a 3D grafika nejsou až tak rozdílná věc, jak by každého hned napadlo, zároveň jsem chtěl udělat něco nového a neobvyklého od klasického strojírenství a trůfám si říct, že jsem vše toto splnil. Chování pásu a vlastně i celého tanku je díky složitým výpočtům a desítkám hodin zkušebních simulací téměř identické realitě. Animace zároveň slouží jakožto výukové video o základních parametrech a přednostech samotného Českého tanku, jelikož jsem se v životě mnohokrát setkal, že lidé neměli ponětí, co tento tank dokáže, myslím, že tento problém dokáže tato krátká animace změnit. Za významnou přidanou hodnotu považuji také efekty výstřelů, realistické zvuky a materiály odpovídající realitě které by pro animaci nebyli potřeba, ale kvůli lepší kvalitě jsem je udělal.

### **4.2 Budoucnost projektu**

Projekt by šel vylepšit v mnoha ohledech, jediná část, která je téměř perfektní je model tanku, zbytek by určitě šel alespoň trochu zdokonalit, avšak už takhle jsem na projektu pracoval téměř rok a půl, a zabral cca 400-500 hodin čistého času. V budoucnu projekt pravděpodobně vylepšovat nebudu, ale myslím že i v tomto stavu, to je velká chloubka jak pro 3D grafiku, tak pro techniku a strojírenství.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Tsar tank-rok 1914 .....	7
Obr. 2 Zničený trup Tiger 1, trup vydržel přibližně 10 zásahů než byl probit.....	8
Obr. 3 T-72M1 na vojenské přehlídce.....	9
Obr. 4 Jediné dochovalé foto prototypu T-72M2 moderna s dvěma 20mm kanóny.....	10
Obr. 5 T-72M3 ve vojenském muzeu v Lešanech.....	11
Obr. 6 T-72 SCARAB .....	11
Obr. 7 T-72M4CZ při cvičení .....	12
Obr. 8 kanoň 2A46M .....	13
Obr. 9 Reaktivní pancéřování DYNA na tanku T-72M4CZ.....	14
Obr. 10 Autoloader T-72A .....	16
Obr. 11 T-72 po výbuchu muničního skladu.....	17
Obr. 12 Porovnání velikosti Leopard 2A7 a T-72M4CZ .....	18
Obr. 13 Fotka výtahu autoloaderu ve vnitřku tanku T-72M3 .....	21
Obr. 14 Návod k sestavě plastového modelu T-72M3.....	21
Obr. 15 Hnací kolo, finální 4. pokus .....	22
Obr. 16 model pásu proč obtočením kolem křivky, představující tvar pásu.....	23
Obr. 17 finální model trupu 2. pokus .....	23
Obr. 18 model veže, pokus 1. jen byli potřeba menší úpravy kvůli zbytku součásti veže.....	24
Obr. 19 kanón pokus 2.-3. ....	24
Obr. 22 sekundární výbušná složka s rozbuškou .....	26
Obr. 20 náboj bez výbušné části, pouze šipka a stabilizační kruh .....	26
Obr. 21 Celý náboj se střelou .....	26
Obr. 23 Celý model autoloaderu, přibližně 7. pokus .....	27
Obr. 24 Jeřáb pro autoloader a válečkový řetěz speciálně upravený pro ohyb pouze v jednom směru .....	27
Obr. 25 celý model tanku .....	28
Obr. 26 všechny použité funkce pro vytvoření realistického výpočtu pásů.....	30
Obr. 27 Simulace bez constraint vztahů.....	31
Obr. 28 zvýrazněné objekty empty, symbolizují matematické vztahy mezi články pásu a koly .....	31
Obr. 29 První úspěšná simulace odpružení kol .....	32

Obr. 30 záznam simulace, každý žlutý kosočtverec symbolizuje změnu otáček pro otáčení tanku .....	32
Obr. 31 válce pro ulehčení simulace, které zároveň udrží pásy ve správné poloze .....	33
Obr. 32 Neúspěšná simulace, omylem jsem nastavil 10krát menší váhu.....	33
Obr. 33 Materiál pro rez, bílá barva reprezentuje korozi .....	34
Obr. 34 UV unwrap pro jeden kryt na pás .....	34
Obr. 35 Screenshot ze stříhání videa .....	35

## Seznam tabulek

Tabulka 1 charakteristiky Leopard 2A7 a T-72M4CZ.....	19
---	----

## Použitá literatura

1. ŠČEPITA, Imrich. *Příručka řidiče tanku T-72*. 1990. Praha: Naše vojsko, 1988.
2. ZALOGAJAZYK, Steven. *M1 Abrams vs T-72 Ural: Operation Desert Storm 1991*. 2009. USA: Bloomsbury Publishing, 1988. ISBN 1846034078.
3. **TANKOVÉ SPALOVACÍ MOTORY OD HISTORIE AŽ PO SOUČASNOST**. Brno, 2009. Diplomová práce. VUT FSI.
4. E. HASKEW, Michael. *Listování Tanky pod lupou*. CPRESS, 2020. ISBN 9788026433491.
5. Tsar tank. *Tank lovers Group* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.moddb.com/groups/tanks/images/tsar-tank1>
6. Damaged tiger tank. *Rcuniverse* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.rcuniverse.com/forum/rc-tanks-369/11619148-heng-long-king-tiger-frontal-damage-how.html?styleid=7>
7. IN DEVELOPMENT: T-72M1. *Armored warfare* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://aw.my.games/en/news/general/development-t-72m1>
8. The T-72M2 Moderna Tank. *TankNutDave.com* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://tanknutdave.com/the-t72m2-moderna-tank/>
9. T-72 Scarab for Ukraine. *TankNutDave.com* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.tanknet.org/index.php?topic/47702-t-72-scarab-for-ukraine/>
10. TANK T-72M4 CZ. *Acr.army.cz* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://acr.army.cz/technika-a-vyzbroj/tanky/tank-t-72m4-cz-89948/>
11. Ruské a ukrajinské tankové kanóny. *Militarybox* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.militarybox.cz/news/ruske-a-ukrajinske-tankove-kanony/>
12. Slowacja. *Wykop.pl* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://wykop.pl/tag/slowacja>
13. Autoloader T-72. *Quora* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.quora.com/Can-you-add-an-auto-loader-to-the-T-90-72-64-14-tanks-that-can-switch-between-ammo-types>
14. Autoloader T-72. *Valka.cz* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.valka.cz/CZE-T-72M4-CZ-W-velitelsky-tank-modernizace-t34746>
15. TDA-3. *En.topwar.ru* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://en.topwar.ru/207753-dymovaja-mashina-tda-3.html>
16. Tank\_T-72 M4CZ. *73tankovyprapor.army.cz* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://73tankovyprapor.army.cz/fotogalerie/tankt-72-m4cz>
17. T-72M4CZ. *Multimediaexpo.cz* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <http://www.multimediaexpo.cz/mmecz/index.php/T-72M4CZ>
18. SSC-1 OBRA. *Army-guide.com* [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <http://www.army-guide.com/eng/product3780.html>
19. T-72M4CZ MBT. *ModelarTiki* [online]. [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.modelartiki.cz/produkt/9138-t-72m4cz-mbt/>

20. **Russian exploding ammunition.** *Edition.cnn* [online]. [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://edition.cnn.com/2022/04/27/europe/russia-tanks-blown-turrets-intl-hnk-ml/index.html>
21. **Leopard 2A7.** *Valka.cz* [online]. [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.valka.cz/Leopard-2A7-t247996>
22. **T-72M4CZ.** *Valka.cz* [online]. [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.valka.cz/CZE-T-72M4-CZ-t12882>
23. **Macháček, D.** T-72M3/4 CZ, Moderní tanky, 2002
24. **VÝVOJ PROJEKTU MODERNIZACE TANKU T-72M4 CZ** [online]. In: . 2008 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.army.cz/scripts/detail.php?id=7202>

## **Přílohy**

Příloha č.1: Finální vyrenderované video

Příloha č.2: Model tanku ve formátu STL.