3D-s animációt lejátszó és objektum-poligonszámot csökkentő alkalmazás

Erdős Zoltán

Budapest

2017.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés

Dolgozatomban egy megoldást mutatok arra, hogyan lehet betölteni fájlból 3D-s animációt tartalmazó fájlt, majd megjeleníteni OpenGL segítségével, C# nyelven, alkalmazásablakban, illetve hogyan lehet magas felbontású (sok háromszög poligonból álló) modellek poligonszámát viszonylag rövid időn belül csökkenteni.

A projekt C#-os forráskódja letölthető innen: https://github.com/ezszoftver/Zarovizsga [5].

A modelleket, illetve animációt tartalmazó fájl `.SMD` kiterjesztésű kell legyen.

Manapság a számítógépes játékok nagyon gépigényesek, egy 3D-s modell megjelenítése sok erőforrást használ. Operatív memóriából (RAM-ból) egyre több van a számítógépben, és ezt kihasználva egy-egy modellt több részletezettségben is beletölthetünk. Ekkor kirajzoláskor kiválaszthatjuk, hogy melyik részletezettségűt jelenítjük meg. Így például, ha a modellből sok pixel látszik, mert közel van a kamerához, akkor célszerű azt részletesebben kirajzolni. Míg ha távol van a kamerától, például 100 m-re, akkor csak pár pixel látszik belőle, ezért elegendő valamelyik alacsony részletezettségű verzióját kirajzolni – így gyorsabb lesz a megjelenítése.

A modellek részletezettsége alatt a felületüket borító háromszögpoligonok darabszámát értem. Minél részletezettebb egy modell, annál több háromszögből áll. Animált modelleknél is hasznos a részletezettséget csökkentő program. Dolgozatom a hozzá csatolt forráskóddal egy megoldást mutat a poligonszám-csökkentésre, illetve az animációk betöltésére.

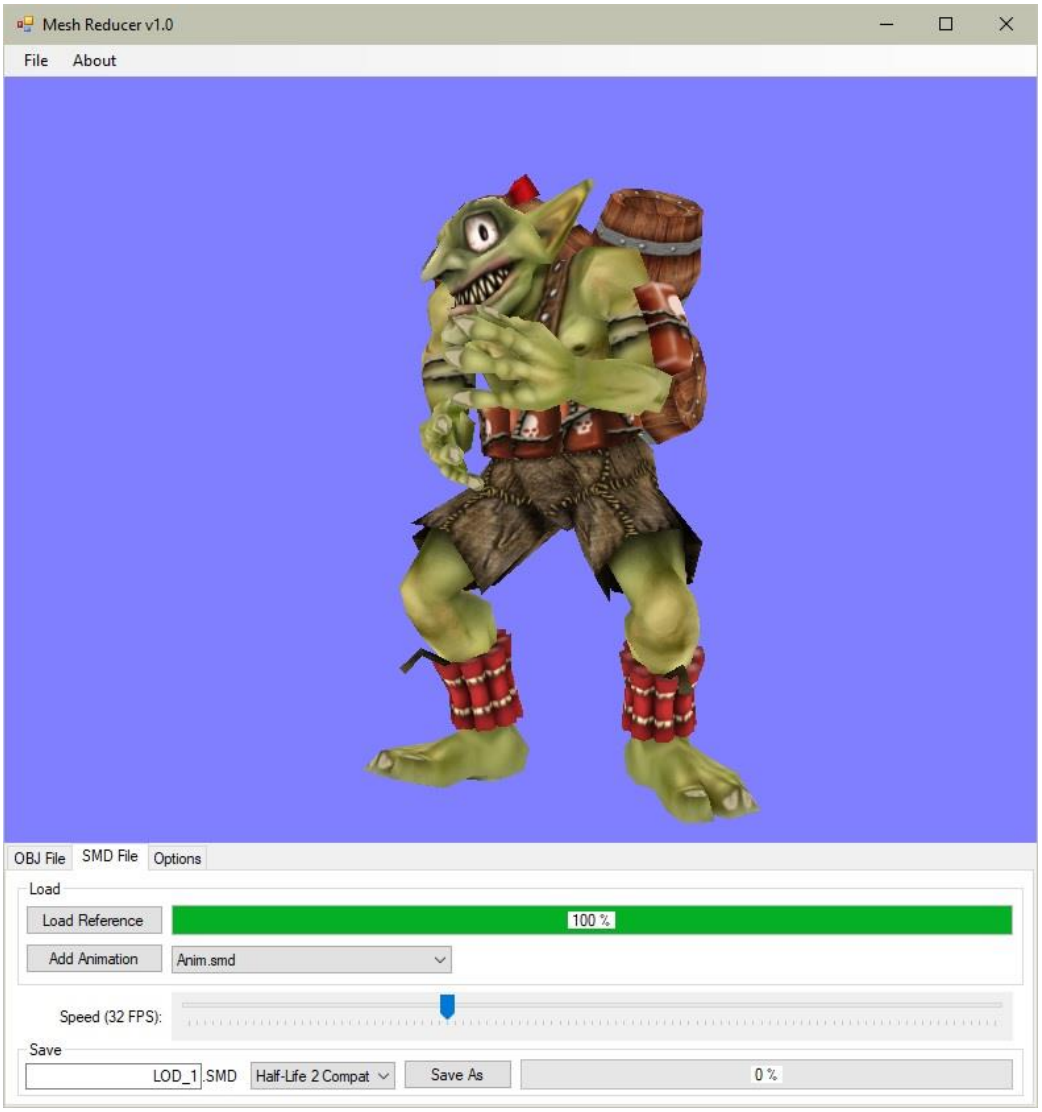
Azért választottam dolgozatom témájának ezt, mert:

- Érdekel a játékfejlesztés. Bár a modellszerkesztő programokban (például a nyílt forráskódú, általános modellező Blenderben, a profi felhasználásra szánt 3D Studio Maxban vagy Maya-ban) lehet poligonszámot csökkenteni, de bonyolult a használatuk.
- Viszonylag újszerű ez a téma. Kb. 20 éve, azóta, hogy megjelentek a 3D-s játékok, léteznek optimalizáló eljárások a játékokban. Szinte minden játékban, játékszerkesztő programban megtalálható ez a funkció, mert nagyobb játékélményt nyújtanak, ha gyorsabban jelennek meg a képek, és kisebb erőforrásigénnyel futnak.
- Ezek ellenére a megvalósításához szükséges elméleti tudás, vagyis hogy hogyan működik az animáció-lejátszás és a háromszögek számának csökkentése, csak a játékfejlesztők azon körében ismert, akik megírják hozzá a programokat.

- Dolgozatommal segítséget kívánok nyújtani azoknak a programozóknak, akiket a számítógépes grafikán belül a játékfejlesztés, illetve a sebesség-optimalizáció érdekel. Magyar nyelven kevés irodalmi forrást lehet találni ezen a területen, ezért bízom benne, hogy örömmel fogadják honlapomon [5] megosztva írásomat.

A poligonszám-csökkentő és animáció-megjelenítő algoritmusomat teljesen kidolgoztam. A `MeshReducer.exe` nevű programban valósítottam meg, amely [5]-ről érhető el. Az 1. ábra a kezelői felületét mutatja a `Goblin.smd` modellel [11].

A program már a bétatesztelés fázisában van, és csak néhány hiba fordul elő benne.



1. ábra: A MeshReducer program felülete [saját termék]

Dolgozatom további fejezeteiben először áttekintést adok a 3D objektumok szerkezetéről, majd a 3D szoftverekben megvalósított poligonszám-csökkentésről. Ezután ismertetem saját algoritmusomat a háromszögpoligonok darabszámának csökkentésére, amelyben módszerem a legrövidebb él megkeresése és törlése. Az algoritmusom szoftveres

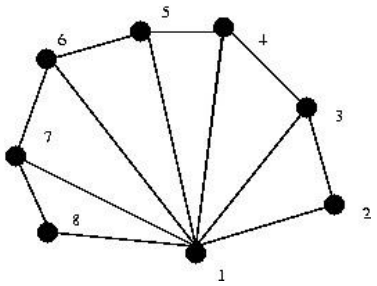
megvalósításának, a MeshReducer programnak a bemutatása előtt röviden kitérek az `.OBJ` és az `.SMD` fájlok kezelésére a projektben általam használt C# nyelven. Az utolsó fő tartalmi fejezetben egy fejlettebb, mások által készített poligonszám-csökkentő algoritmust mutatok be, amely a közel egy irányba néző normálvektorú háromszögek közös élének keresésén alapul. A dolgozat az eredmények összefoglalása után a MeshReducer felhasználói kézikönyvével, majd mellékletben a saját készítésű játékaim szájtjainak bemutatásával zárul.

2. A 3D objektumok szerkezetének áttekintése

Vector: Egy x, y, z számhármas. A három szám egy-egy lebegőpontos szám, amelyek együtt egy pontot jelölnek ki a térben.

Háromszög: Három vektorból áll. A, B, C vel jelöljük őket. Fontos a háromszög három vektorjának a sorrendje.

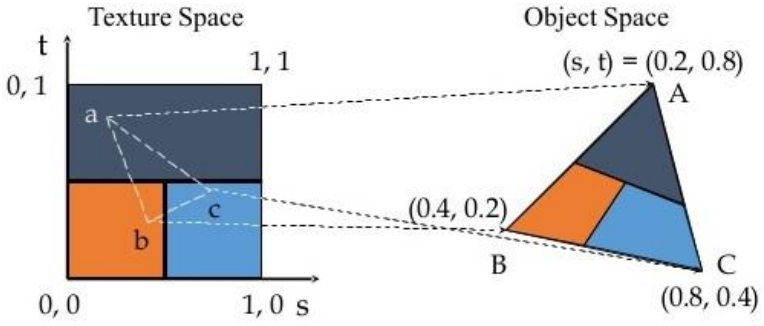
Poligon: Minimum 3 vertexből áll (azaz háromszögpoligon). Ha több vertex van megadva, akkor az alábbi ábra mutatja, hogy hogyan alakul a poligon kinézete.



2. ábra: Sok vertexből álló poligon [13]

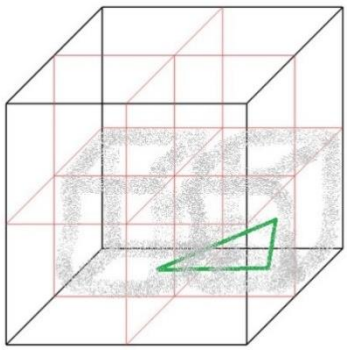
Textúra illesztés egy háromszögre:

A 1. ábra bal oldalán egy textúra látható. Az OpenGL nem a kép felbontásával dolgozik, hanem [0.0 ... 1.0] lebegőpontos 2D-s koordinátákkal. Amikor kirajzolunk egy A, B, C csúcsot (az ábra jobb oldalán látható), akkor ki kell jelölni a textúrát, majd meg kell adni a 2D textúra koordinátát, és az OpenGL rá illeszti az ábrán látható módon a textúrát a kirajzolandó csúcsokra. Minden egyes A, B, C 3D-s csúcshoz tartozik egy 2D-s textúrakoordináta. Az ábrán jobb oldalon látható az eredmény.



3. ábra: Textúraillesztés egy háromszögre [12]

Térfelosztás: Feldaraboljuk a teret kis kockákra például 2x2x2-es darabszámú kis kockákra. Egy-egy kis kocka háromszögeket tartalmazó listából áll. Majd a zöld színű háromszöget azokba a kiskockákba másoljuk bele, amelyeket elmetsz. Ha meg akarunk keresni a térben egy háromszöget, akkor elég csak abban a kiskockákban keresni, ahol a zöld színű háromszög található.

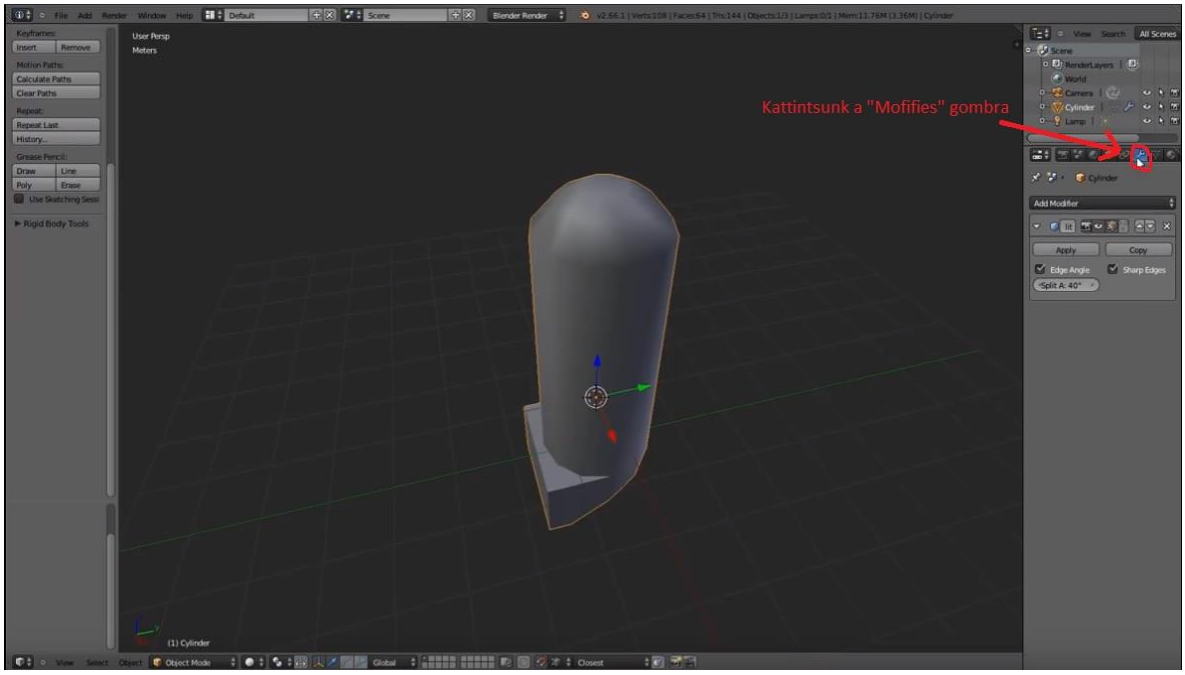


4. ábra: Térfelosztás poligon kereséséhez [14]

3. A 3D szoftverekben megvalósított poligonszám-csökkentés áttekintése

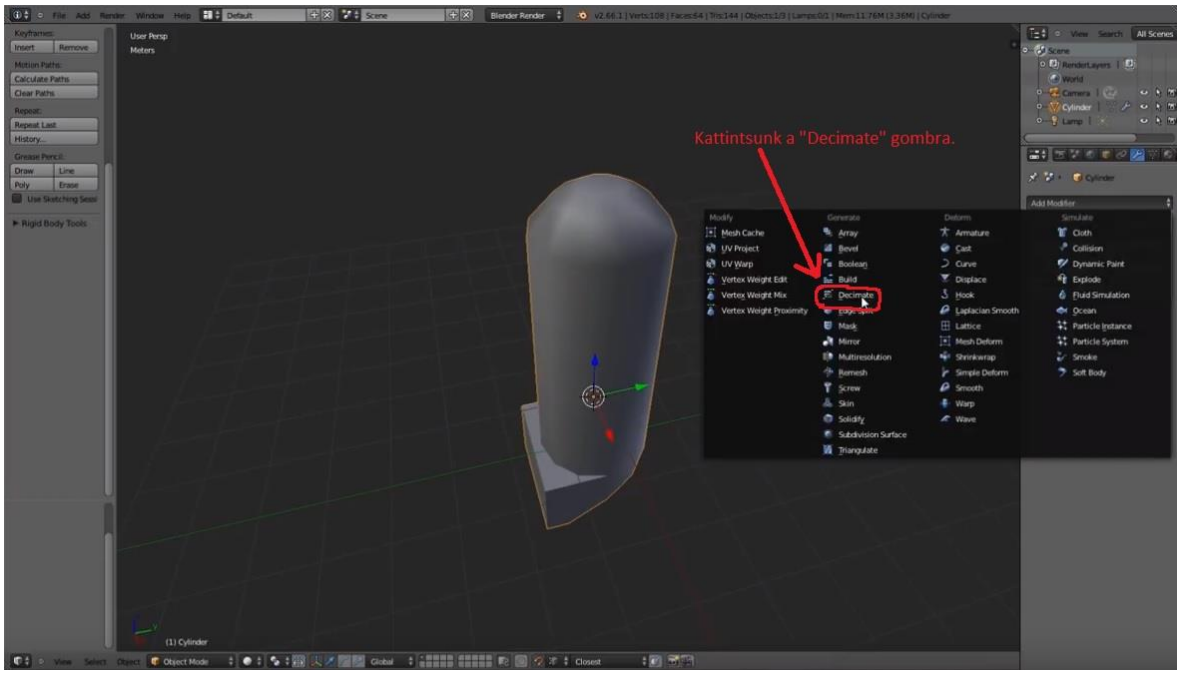
Animációt lejátszani és poligonszámot csökkenteni más programokkal (például Blenderrel, 3D Studio Maxszal, Maya-val) is lehet, de azok használata bonyolult, nagy tudást igényel. Ebben a fejezetben a Blenderben található poligonszám-csökkentést mutatom be.

Betöltünk egy objektumot, majd az 5. ábra pirossal mutatott ***Modifies*** gombján kattintunk.



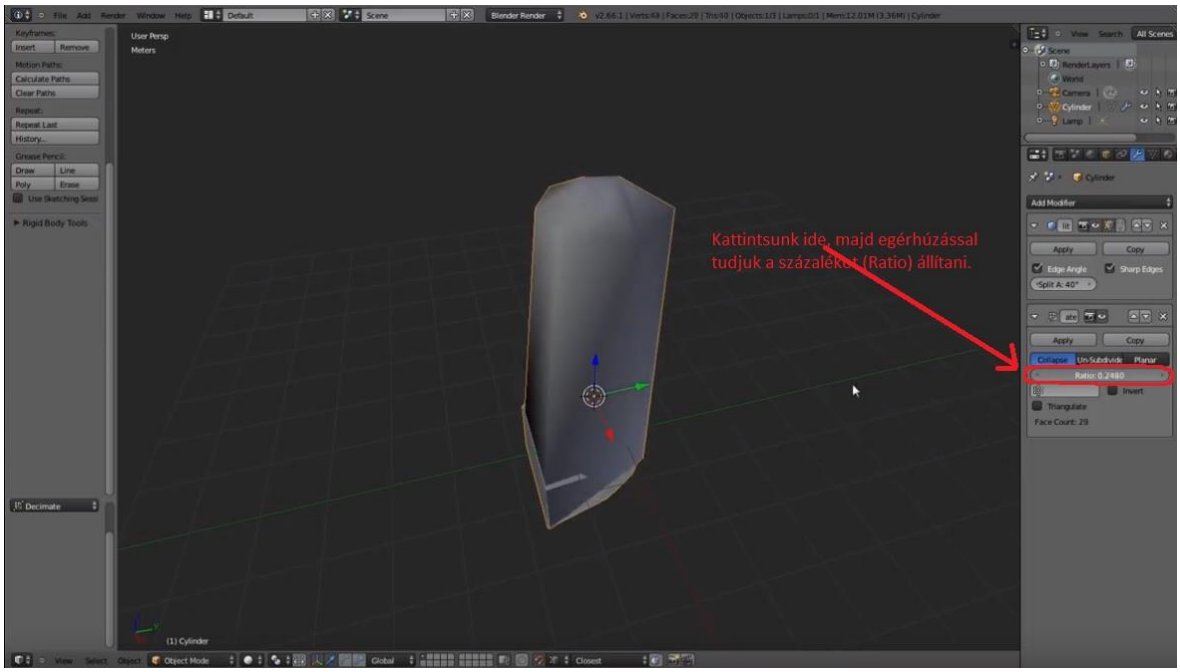
5. ábra: Poligoncsökkentés Blenderben (1/3. lépés): Kattintsunk a Modifies gombra. [saját kép]

Válasszuk ki a ***Decimate*** opciót lásd 6 ábra pirossal bekarikázott részén.



6 ábra: Poligoncsökkentés Blenderben (1/3. lépés): Kattintsunk a Decimate gombra. [saját kép]

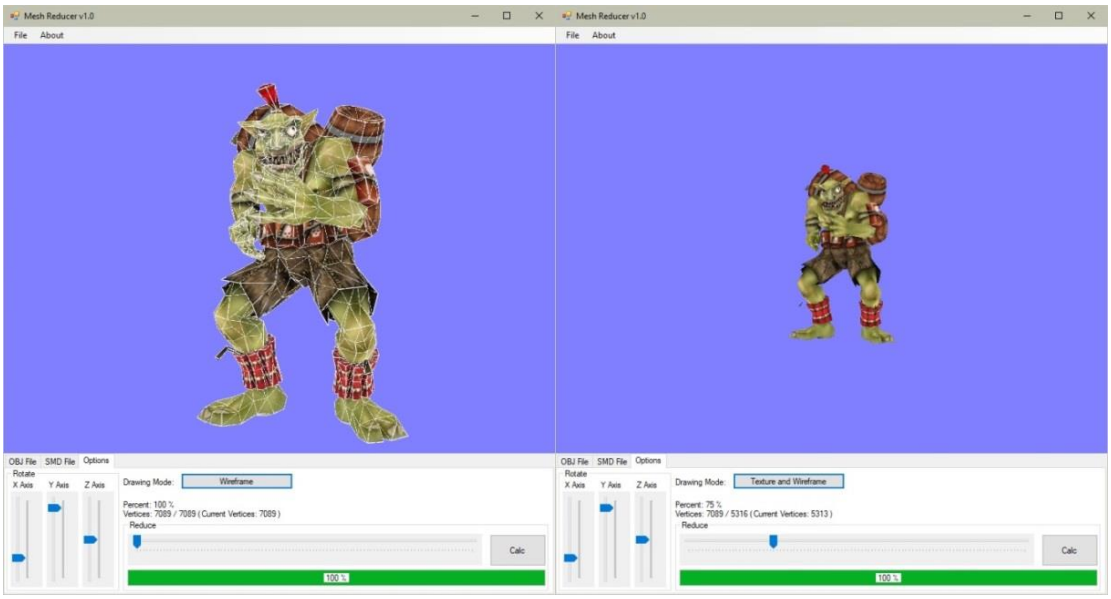
A bal egérgombot lenyomva tartva kattintsunk a ***Ratio*** gombra (lásd 7. ábra), majd mozgassuk az egeret jobbra-balra.



7. ábra: Poligoncsökkentés Blenderben (1/3. lépés): Csökkentés mértékének megadása. [saját kép]

4. Saját algoritmus a háromszögpoligonok darabszámának csökkentésére: legrövidebb él megkeresése és törlése

Ebben a fejezetben azt mutatom be, hogyan lehet csökkenteni a modellek háromszögpoligonjainak darabszámát. Az alábbi ábrákon látjuk az algoritmus eredményét a MesReducer program felületén.



8. ábra: Bal oldalon a 100%-os, jobb oldalon 75%-os poligonszámú modell [saját termék]

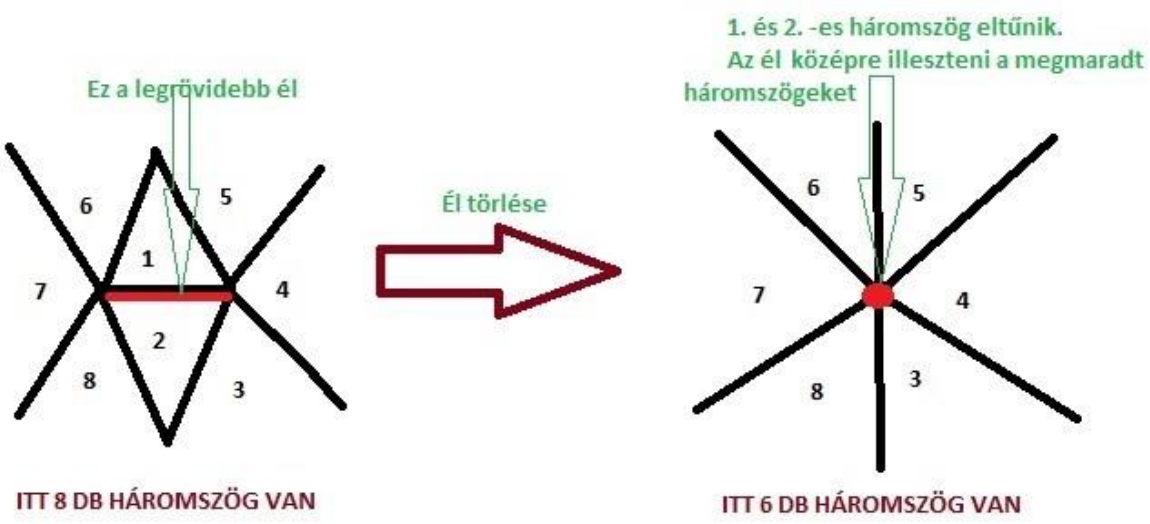
Először a háromszögpoligonokat alakítsuk ilyen formára:

```
class Triangle
{
      public Vector3 vA, vB, vC;
      public Vector2 tA, tB, tC;
      public int texture_id,
}
List<Triangle> triangles;
```

Így háromszögekkel kell dolgoznunk. A `List<Triangle> triangles` lista eltakarja az `.OBJ` és az `.SMD` fájlok felépítését. Most már csak ezzel a `triangles` listával fogunk foglalkozni. Ezt a listát lehetséges visszaalakítani `.OBJ` vagy `.SMD` struktúrára.

A háromszögek darabszámának csökkentésének a lépései, a következők:

1. A legrövidebb él megkeresése a `triangles` listában.
2. Azoknak a háromszögeknek, amelyek egy csúccsal metszik ezt az élt, a metsző csúcsát az él két csúcsának a számtani közepére kell állítani. A textúra-koordinátákat is hozzá kell igazítani.
3. Töröljük azokat a háromszögeket, amelyek két csúcsukkal is metszik a legrövidebb élt.
4. Ismétlés az 1. ponttól, ha a `triangles` lista még túl sok háromszöget tartalmaz.



9. ábra: Legrövidebb él törlése [saját ábra]

Most nézzük részletesen a négy lépés algoritmusát.

1. Legrövidebb él megkeresése a `triangles` listában

„for” ciklussal járjuk végig a háromszögeket, és mérjük meg minden egyes háromszög csúcsai között a távolságokat. Ha találtunk rövidebbet az eddigi legrövidebbtől, akkor tároljuk el azt az élet.

```
class Edge
{
    public Vector3 A;
    public Vector3 B;
    public int texture_id;
}
```

Ha több millió háromszögből áll a lista, akkor az él keresése sok időt fog igénybe venni. Tehetjük azt, hogy nem egyesével járjuk be a listát, hanem például véletlenszerűen 1000-szer `int id`-t generálunk, ami `[0 .. (triangles.Count - 1)]` értékeket veheti fel, majd csak azokkal a háromszögekkel számolunk. Hozzávetőlegesen jó eredményt ad

ez a megoldás is, és sokkal gyorsabb. A véletlen szerű `int id` a jó megoldás. Ha például 10 000 háromszög van, és minden 10. háromszöget vizsgálnánk mindig, az azért nem lenne jó megoldás, mert akkor nagyrészt mindig ugyanazokat a háromszögeket vizsgálnánk. Például a 3., 7., 9. sohasem lenne vizsgálva. Tehát ezért jobb választás a véletlen szám generálása.

2. Azoknak a háromszögeknek, amelyek egy csúccsal metszik ezt az élt, a metsző csúcsát az él két csúcsának a számtani közepére kell állítani. A textúra-koordinátákat is hozzá kell igazítani.

Ha megvan a legrövidebb él, akkor ki kell számolni az él két csúcsának a közepét: `Vector3 P = ((edge.A + edge.B) / 2.0f);`, majd meg kell keresni azokat a háromszögeket, amelyek pontosan egy csúccsal metszik el az `edge.A`-t vagy az `edge.B`-t. Ezeknek a háromszögeknek az élt metsző csúcsa legyen egyenlő a kiszámolt `Vector3 P` ponttal.

Majd számoljuk ki az élen lévő két csúcs textúra-koordinátáinak is a számtani közepét. Ez legyen `Vector2 tP`. Ha az él `texture_id`-je egyenlő az egy csúccsal metsző háromszög `texture_id`-jével, akkor a háromszöget metsző csúcsnak a textúra-koordinátáját is le kell cserélni a `Vector2 tP`-re. Ha nem ugyanaz az él `texture_id`-je, mint a háromszög `texture_id`-je, akkor nem csinálunk a háromszög textúra koordinátájával semmit.

3. Töröljük azokat a háromszögeket, amelyek két csúcsukkal is metszik a legrövidebb élt.

Ha a háromszög két metsző csúcsát lecserélnénk az él közepére, akkor a háromszög két ugyan olyan csúcsot tartalmazna, az már nem egy háromszög, hanem egy egyenes lenne. Az nem látszik, törölni kell a listából.

4. Ismétlés az 1. ponttól, ha a „`triangles`” lista még túl sok háromszöget tartalmaz.

A fenti lépésekkel kevesebb háromszög lesz a listában. Ha még kevesebbet szeretnénk, akkor futtassuk újra az algoritmust az 1. ponttól.

Sebesség optimalizálása

Amikor egy élnek keressük a szomszédos háromszögeit, amelyek tartalmazzák az élt, akkor ezt nem csak a teljes `triangles` lista bejárásával tehetjük meg. Daraboljuk fel a háromszögeket tartalmazó teret 10x10x10-es kockákra. Minden egyes kocka egy kicsi `List<Triangle> triangles` lista. Inicializáláskor járjuk be a fő `triangles` listát, minden egyes háromszögére számoljuk ki az őt metsző kockákat, majd másoljuk a megfelelő kockába a háromszögeket. Így amikor találunk egy élt, elég csak a környezetében lévő kockáknak a háromszögeivel elvégezni a metszésvizsgálatot. Ez akár 10-100-szoros sebességnövekedést is jelenthet.

Egy háromszög több kockába is kerülhet.

Amikor vissza akarjuk állítani a 10x10x10-es kockák kis `triangles`-eiből a fő (nagy) `triangles` listát, akkor egy megoldás lehet az, hogy csak azokat a háromszögeket másoljuk a kockákból a fő `triangles` listába, amelyek még nem szerepelnek a fő (nagy) listában. Ez jó megoldás, de ha a fő `triangles` lista tartalmaz már például 20 000 háromszöget, akkor sok időbe telik (kb. 0,5 másodpercbe) a listában való keresés, amelynek az ideje folyamatosan növekedne.

Én itt azt a megoldást választottam, hogy mindig csak a lista utolsó 10 000 háromszögével hasonlítok össze. Amelyek régebbi háromszögek a listában, azok valószínűleg távolabbi kockához tartoztak a mostani kockához képest, így kicsi a valószínűsége, hogy ott is elhelyezkedik ugyanaz a háromszög. Így az összehasonlítás ideje jelentősen csökken.

Normálvektorok számítása.

A normálvektorok számításánál is jól jönnek a 10x10x10-es kockák. Egy csúcs normálvektora a csúcsot metsző háromszögek normálvektorainak az átlaga. Amikor keressük a csúcsot metsző háromszögeket, akkor is jól jön az, hogy csak abban a kockában kell keresni a metsző háromszögeket, ahol a csúcs található. A normálvektorokat elég a 10x10x10-es tömb listává alakítása (visszaalakítása) előtt elvégezni. Amikor csökkentjük a háromszögek számát, nincs szükség normálvektorra, nem kell számolni azokat, elég csak a végén.

5. .OBJ és .SMD fájlok kezelése C# nyelven

Ebben a fejezetben egy megoldást mutatok az `.OBJ` és az `.SMD` fájlok kezelésére C# nyelven: hogyan lehet megnyitni azokat, hogyan lehet animációt kiszámolni, megjeleníteni. A modell fájlba írását nem mutatom be, mivel ugyanazon az elven működik, mint a beolvasás. A fejezet elkészítéséhez [1] [2] [3] mintakódjait használtam fel.

5.1. Az .OBJ fájlok fontosabb kulcsszavai

Az `.OBJ` fájl viszonylag elterjedt, minden 3D-s szerkesztőben megtalálható. Ez a fájl nem támogatja az animációt. Az `.OBJ` mellett általában szokott lenni egy `.MTL` fájl is, amely a textúrákat és az anyagok tulajdonságait írja le.
Az alábbi kulcsszavak szerepelnek egy `.OBJ` fájlban:

- Megjegyzés:

```
# ez egy sornyi megjegyzés a fájlban, nem kerül értelmezésre
```

- Egy csúcspont:

```
v 2.963193 1.167374 -0.431719
```

Ha `v` szöveggel kezdődik egy sor, akkor utána három lebegőpontos szám következik, amelyek egy pontot adnak meg a térben. Ezeket gyűjtsük össze egy `List<Vector3> vertices;` listába.

- Egy textúra koordináta:

```
vt 0.875000 0.035000
```

Ha `vt` szöveggel kezdődik egy sor, akkor utána két lebegőpontos szám következik, amelyek egy textúra-koordinátát adnak meg. Ezeket gyűjtsük össze egy `List<Vector2> textcoords;` listába.

- Egy normál vektor:

```
vn 0.704114 0.480790 0.522556
```

Ha `vn` szöveggel kezdődik egy sor, akkor utána három lebegőpontos szám következik, amelyek egy, a felületre merőleges vektort adnak meg. Ezeket is gyűjtsük össze egy `List<Vector3> normals;` listába.

- Háromszögek:

```
f 1/2/3 1821/1924/2 609/712/3
```

Ha `f` szöveggel kezdődik egy sor, akkor utána szóközökkel elválasztva minimum három vertex következik. Az első vertex `1/2/3` jelentése: Az aktuális csúcs az 1. elem a `vertices` listából, a csúcshoz tartozó textúra-koordináta a 2. elem a `textcoords`

listából, és a csúcshoz tartozó normálvektor a 3. elem a `normals` listából. Ne felejtsük el, hogy a lista indexelése 0-tól kezdődik, tehát az `1/2/3` azt jelenti, hogy egy vertex így néz ki:

```
class Vertex
{
      public Vector3 v = vertices[0];
      public Vector2 vt = textcoords[1];
      public Vector3 n = normals[2];
}
```

Így van egy vertexünk. Egy háromszöghöz három vertex kell. Ha több vertex szerepel egy sorban, akkor a 4. vertex a 3. és az 1. vertexszel alkot egy háromszöget. Az 5. vertex a 4. és az 1. vertexel alkot egy háromszöget, és így tovább.

- Materiál kijelölése:

  ```
  usemtl Texture_0
  ```

Ha `usemtl` szöveggel kezdődik egy sor, akkor az utána szereplő materiál-azonosítóval úgymond megmondom, hogy a most következő f-ekre (háromszögekre) ezt a textúrát kell ráhúzni.

- Textúrák és tulajdonságaik:

  ```
  mtllib cottage.mtl
  ```

Ha `mtllib` szöveggel kezdődik egy sor, akkor utána az `.MTL` materiálfájl neve szerepel, amely a textúrákat és azok tulajdonságait írja le. Az `.MTL` fájlban a legfontosabb kulcsszavak az alábbiak:

  - `newmtl Texture_0`: Új materiált hoz létre, amelyre a `Texture_0` névvel hivatkozhatunk. Most ez az aktuális materiál.
  - `mmap_Kd alma.bmp` vagy `map_Kd alma.bmp`: Az aktuális materiál textúrája az `alma.bmp`. Ez nem mindig szerepel.
  - `Kd 1.0 0.5 0.0`: Az aktuális materiál színe red: 1.0, green: 0.5, blue: 0.0. Ha nincs textúra, akkor a színt kell használni.

- **.OBJ fájl kirajzolása:**

```
foreach(Material material in materials)
{
      glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, material.texture_id);
      glBegin(GL_TRIANGLES);
```

```
        foreach(Vertex vertex in material.vertices)
        {
            Vector3 v = vertex.v;
            Vector2 tc = vertex.tc;
            Vector3 n = vertex.n;
            glTexCoord2f(tc.X, tc.Y);
            glNormal3f(n.X, n.Y, n.Z);
            glVertex3f(v.X, v.Y, v.Z),
        }
        glEnd();
}
```

5.2. Az .SMD fájlok betöltése

Geometriát és animációt tároló .SMD fájlok

Az `.SMD` kiterjesztésű fájlt a Valve Corporation, 1996-ban alapított, videojátékokat fejlesztő amerikai vállalat hozta létre [9]. A Half-Life 1-2 Half-Life tudományos-fantasztikus belső nézetű lövöldözős (First Person Shooter, FPS) számítógépes játék is ezeket használja ahhoz, hogy animált modelleket jelenítsen meg.

Ez az `.SMD` kiterjesztésű fájl egy szöveges fájl. Két féle `.SMD` fájl létezik. Az egyikben mozdulatlan geometriát tárolunk (háromszögek), míg a másik típusban csak az animációt tároljuk. Mind a két féle fájlnak a kiterjesztése `.SMD`.

Miért kell külön tárolni a geometriát a hozzá tartozó animáció(k)tól? Azért, mert ha mi csak például a „futás” animációt szeretnénk betölteni, akkor elég csak ezt az egy animációt betölteni. Ha egy fájlban lenne a geometria és az összes animáció, akkor olyan animációt is betöltene a program, amelyre nincs szükség. Így tudunk válogatni, hogy mit töltsünk be, és mit ne.

Legelőször a geometriát kell betölteni – ezt kötelező. Utána töltjük be az animáció(ka)t. A geometriát tartalmazó fájlt szokás `Reference.smd`-nek nevezni, míg az animáció(kat)t tartalmazó fájl(oka)t pedig például `Anim.smd`-nek. Az `.SMD` kiterjesztésű fájl létrehozható 3D-s szerkesztőprogramokkal, például MilkShape3D-vel, 3DStudioMaxszal vagy Blenderrel (ehhez be kell kapcsolni a pluginját).

Az alábbi kódban példát látunk a `Reference.smd` fájl tartalmára:

```
version 1
nodes
0 "joint1" -1
1 "joint2" 0
2 "joint3" 1
end
skeleton
time 0
0 -0.750000 0.000000 0.500000 1.577046 0.000000 1.570796
1 0.000000 0.000000 40.000790 0.013222 0.000300 3.141593
2 0.000000 0.000000 59.751438 0.000000 -0.000000 0.000000
end
triangles
Kep1.bmp
0 19.250000 -20.500000 20.500000 0.000000 -1.000000 0.000000
0.000000 1.000000
0 19.250000 -20.500000 -20.500000 0.000000 -1.000000 0.000000
0.000000 0.000000
0 60.250000 -20.500000 20.500000 0.000000 -1.000000 0.000000
1.000000 1.000000
Kep1.bmp
0 19.250000 -20.500000 -20.500000 0.000000 -1.000000 0.000000
0.000000 0.000000
0 60.250000 -20.500000 -20.500000 0.000000 -1.000000 0.000000
1.000000 0.000000
0 60.250000 -20.500000 20.500000 0.000000 -1.000000 0.000000
1.000000 1.000000
end
```

Az alábbi kód példa az `Anim.smd` fájl tartalmára:

```
version 1
nodes
0 "joint1" -1
1 "joint2" 0
2 "joint3" 1
end
skeleton
time 0
0 -0.750000 0.000000 0.500000 1.577046 0.000000 1.570796
1 0.000000 0.000000 40.000790 0.013222 0.000300 3.141593
2 0.000000 0.000000 59.751438 0.000000 -0.000000 0.000000
time 1
0 -0.750000 0.000000 0.500000 0.791647 0.000000 1.570796
```

```
1 -0.000000 -0.000003 40.000549 0.798618 0.000212 -3.141380
2 0.000000 0.000000 59.751438 0.000000 -0.000000 0.000000
time 2
0 -0.750000 0.000000 0.500000 0.006249 0.000000 1.570796
1 -0.000000 -0.000002 39.999920 1.584001 0.000000 -3.141292
2 0.000000 0.000000 59.751438 0.000000 -0.000000 0.000000
end
```

. SMD fájlok kulcsszavai

Az alábbiakban az `.SMD` fájlok kulcsszavait mutatom be.

- `nodes`: Jelentése csomópontok. A csomópontok felsorolása `end`-ig tart.

  ```
  nodes
  0 "joint1" -1
  1 "joint2" 0
  2 "joint3" 1
  end
  ```

Minden sor egy csomópont. Például `1 "joint2" 0` jelentése: ennek a csomópontnak az azonosítója: `1`, neve: `joint2`, a szülejének azonosítója: `0`. Célszerű tömbben (listában) tárolni ezeket az adatokat. Ha az `i`. azonosítójú elemre vagyunk kíváncsiak, akkor a `nodes[i]` visszaadja az `i`. azonosítójú csomópont adatait. Ha a szülő azonosítója `-1`, azt jelenti, hogy ennek a csomópontnak nincs szülője, tehát ez a csomópont a gyökér. Fel lehet rajzolni fagráfban ezeket a csomópontokat, hiszen szülő–gyerek kapcsolat van a csomópontok között.

```
class Node
{
public:
	string name;
	public int parent_id;
};
List < Node > nodes;
```

- `bone:` Jelentése csont. Egy modell, például az ember mozgatásához csontvázrendszer van létrehozva. Ha mozgatjuk például a törzsünket, akkor vele mozog a hozzá kapcsolt fejünk, karunk. Tehát a csontok között hierarchia van, szülő–gyerek kapcsolat. Sok csont határoz meg egy csontvázat, angolul skeletont. Egy csont lokális transzformációval forogni tud az X, Y, Z tengelyek mentén, és eltolható a szülejéhez képest. Az alábbi kódrészletek egy csontra és egy csontvázra adnak példát.

```
// egy csont
class Bone
{	// lokális transzformációk. Eltérés a szülőhöz képest
	public Vector3 translate;
	public Vector3 rotate;
};
// egy csontváz csontok listájából áll
class Skeleton
{
public:
	public List < Bone > bones;
};
```

Illetve egy animáció sok csontvázból áll:

```
// egy animáció
class Animation
{
	public string name; // az aktuális animáció neve
(Anim.smd)
	public float fps; // 1 sec alatt, hány skeleton
játszódik le
	public List < Skeleton > times;
};
// sok animáció egy listában
List < Animation > animations;
```

- `time`: **J**elentése idő.

```
time 0
0 -0.750000 0.000000 0.500000 1.577046 0.000000 1.570796
1 0.000000 0.000000 40.000790 0.013222 0.000300 3.141593
2 0.000000 0.000000 59.751438 0.000000 -0.000000 0.000000
```

Az animációban vannak a csomópontok (csontok) lokális transzformációi. Például a `0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0` jelentése: a 0. csomópont lokális mátrixa ez:

```
Matrix4 local = Matrix4.Translate(1.0, 2.0, 3.0) *
Matrix4.RotateXYZ(4.0, 5.0, 6.0);
```

Vagyis forgatás a tengelyek mentén 4.0, 5.0, 6.0 radiánnal, majd eltolás 1.0, 2.0, 3.0 egységgel. Ha egy modellben például 25 csomópont van, akkor egy time-ban 25 db transzformáció van felsorolva egymás után. Egy time egy pillanatot ábrázol. Ahhoz hogy ebből animáció legyen, ahhoz sok time kell egymás után. 1 másodperc alatt kb. 4-30 time jeleik meg a képernyőn. Két time között kb. 0,2 másodperc telik el. A két time közötti pillanatnyi eltolást lineáris interpolációval, a forgást előjeles szögelfordulással lehet kiszámolni:

```
times[0].bones[0].translate = new Vector3(1,0,0);
times[0].bones[0].rotate = new Vector(1,0,0);
times[1].bones[0].translate = new Vector(2,0,0);
times[1].bones[0].rotate = new Vector(2,0,0);
```

Ha például `t = 0.2` (t = [0.0 .. 1.0]), akkor a pillanatnyi transzformáció ez:

```
float t = 0.2;
current_skeleton.bones [0].translate =
(times[0].bones[0].translate * (1 - t)) +
(times[1].bones[0].translate * t); // lineáris interpoláció
// rotate X
float rotate_x = GetSignedRad(times[0].bones[0].rotate.X,
times[1].bones[0].rotate.X);
current_skeleton.bones[0].rotate.X = start.bones[0].rotate.X
+ (rotate_x * dt);
// rotate Y …
// rotate Z …
```

Forgásnál fontos, hogy merre forgatunk. Például ha a kezdő szög 0,1 radián, a vég szög pedig 6,27 radián, akkor -0,2 radiánnal kell forogni az óra járásával megegyező irányba. Itt

nem lehet lineáris interpolációval számolni, mert 6,26 radiánnal forogna az óra járásával ellentétes irányba.

- `skeleton`**: J**elentése csontváz. `time`-ok vannak benne `end` végjelig:

```
skeleton
time 0
0 -0.750000 0.000000 0.500000 1.577046 0.000000 1.570796
1 0.000000 0.000000 40.000790 0.013222 0.000300 3.141593
2 0.000000 0.000000 59.751438 0.000000 -0.000000 0.000000
time 1
0 -0.750000 0.000000 0.500000 0.791647 0.000000 1.570796
1 -0.000000 -0.000003 40.000549 0.798618 0.000212 -3.141380
2 0.000000 0.000000 59.751438 0.000000 -0.000000 0.000000
time 2
0 -0.750000 0.000000 0.500000 0.006249 0.000000 1.570796
1 -0.000000 -0.000002 39.999920 1.584001 0.000000 -3.141292
2 0.000000 0.000000 59.751438 0.000000 -0.000000 0.000000
end
```

Például egy `time 0` leírja a 0. időben a csomópontok transzformációit, vagyis az aktuális csontváz csontjainak helyét és forgási szögeit. A `Reference.smd` fájlban csak egy `time` szerepel, ez a kezdeti beállása a modellnek. Míg az `Anim.smd` fájlban sok `time` szerepel, mindegyik leírja hogy az i. `time`-ban mi az aktuális csontváz, vagyis az aktuális transzformációk.

Egy csomópontnak úgy tudjuk kiszámolni a globális koordináta-rendszerben a transzformációját a lokális transzformációból, hogy vesszük a lokális transzformációt, majd rekurzívan összeszorozzuk a szülejének a lokális transzformációjával, azután a szülő szülejének a lokális transzformációjával addig, amíg el nem jutunk a gyökérig. A gyökér csomópont transzformációja az egység mátrix.

Itt egy példakód erre:

```
Matrix4 GetMatrix(int bone_id)
{
	if (bone_id == -1) return Matrix4.Identity; //
egységmátrix, ha a gyökérben vagyunk

	// lokális transzformáció. Eltérés a szülőhöz képest
	Vector3 r = currBones[bone_id].rotate;
	Vector3 t = currBones[bone_id].translate;
	Matrix4 local = Matrix4.Translate(t.X, t.Y, t.Z) *
Matrix4.RotateXYZ(r.X, r.Y, r.Z);

	// szülő transzformáció kiszámítása, rekurzívan
	Matrix4 parent = GetMatrix(nodes[bone_id].parent_id);

	// visszatérünk az aktuális transzformációval
	return Matrix4.Mult(parent, local);
}
```

- `triangles`: A triangle jelentése háromszög poligon. Háromszögek felsorolva `end` végjelig. Egy háromszög így néz ki:

```
texture.bmp
1 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0
2 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0
3 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0
```

Ez azt jelenti, hogy erre a háromszögre a `texture.bmp`-t kell illeszteni. Utána szerepel három sor. Minden sor egy csúcsot ír le. Az első sor ez: `1 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0`. Ez azt jelenti, hogy a háromszög egyik csúcsa [1.0, 2.0, 3.0], normálvektora [4.0, 5.0, 6.0], textúra-koordinátája [7.0, 8.0]. Az első szám az 1-es azt jelenti, hogy ehhez a csúcshoz az első indexű csomópont tartozik. Így már hozzá van rendelve egy csúcs egy transzformációhoz.

Amikor animációt akarunk megjeleníteni, elég csak kiszámítani a pillanatnyi transzformációkat, majd a megfelelő csúcsokra alkalmazni.

5.3. Animáció kiszámítása és megjelenítése

Végigjárjuk a `materials` listát, kijelöljük az aktuális textúrát, majd a material minden egyes csúcspontját transzformáljuk, majd kirajzoljuk OpenGL segítségével:

```
void Draw()
{
	glPushMatrix();
	for(int i = 0; i < materials.Count; i++)
	{
		Material mat = materials[i];
		glBindTexture(gl.GL_TEXTURE_2D, mat.texture_id);
		glBegin(GL_TRIANGLES);

		for(int j = 0; j < mat.vertices.Count; j++)
		{
			Vertex in = mat.vertices[j];

			Matrix4 T = transform[in.id] *
transformInverse[in.id]; // transzformáció kiszámítása
			Vector3 v = T * Vector4(in.position, 1);
			Vector3 n = T * Vector4(in.normal  , 0);
// itt nincs eltolás, csak forgás van
			Vector3 t = in.texCoord;

			glTexCoord2f(t.X, t.Y);
			glNormal3f(n.X, n.Y, n.zZ);
			glVertex3f(v.X, v.Y, v.Z);
		}
		glEnd();
	}
	glPopMatrix();
}
```

Mit is jelent a kirajzolásnál az alábbi sor?

```
Matrix4 T = transform[in.id] * transformInverse[in.id]; // transzformáció kiszámítása
```

Ez azt jelenti, hogy két listánk van. Egy `List < Matrix4 > transform;` és egy `List < Matrix4 > transformInverse;`.

A `transform` lista a pillanatnyi csontváz transzformációit tartalmazza. Ezt minden képkockán (frame-en) ki kell számítani:

```
for(int i = 0; i < currBones.size(); i++)
{
	transform[i] = GetMatrix(i);
}
```

A `transformInverse` lista pedig a `Reference.smd` fájlban található egyetlen csontváz transzformációinak inverzét tartalmazza. Ez mit is jelent? A `Reference.smd` fájlban található egyetlen csontváz adott, és a csúcspontok is adottak. Nevezzük el a `Reference.smd` fájlban található csontváz i. transzformációját `T`-nek, és a `Reference.smd` fájlban található egyik háromszög egyik csúcsát `out`-nak. Ha elképzeljük, akkor: `Vector3 out = T * ?;` Tehát adott az `out` vektor és a `T` mátrix a `Reference.smd` fájlban. A `?` az ismeretlen, amire szükségünk lesz, ezért ki kell számítani.

Amikor a pillanatnyi animációt akarom megjeleníteni, akkor azt így kell: `Vector3 v = transform[i] * ?;`

Tehát fejezzük ki a ?-et: `Vector3 out = T * ?; // átalakítás (fejezzük ki a ?-et)`

1. egyenlet: `Vector3 ? = Matrix4.Inverse(T) * out;`

Ha megvan a `?`, akkor:

2. egyenlet: `Vector3 v = transform[i] * ?;`

Egybe a két egyenlet: `Vector3 v = transform[i] * inverse(T) * out;`

Így `Vector3 v` az aktuális animáció egyik csúcspontja.

Ezért szerepel a `Draw()` metódusban a fenti megoldás.

A `transformInverse` listát elég egyszer kiszámítani, például a `Reference.smd` fájl betöltése után:

```
Matrix4 GetRefMatrix(int bone_id)
{
	if (bone_id == -1) return Matrix4.Identity; //
egységmátrix, ha a gyökérben vagyunk

	// lokális transzformáció. Eltérés a szülőhöz képest
	Vector3 r = referenceSkeleton.bones[boneId].rotate;
	Vector3 t = referenceSkeleton.bones[boneId].translate;
	Matrix4 local = Matrix4.Translate(t.X, t.Y, t.Z) *
Matrix4.RotateXYZ(r.X, r.Y, r.Z);

	// szülő transzformáció kiszámítása, rekurzívan
	Matrix4 parent =
GetRefMatrix(nodes[bone_id].parent_id);

	// visszatérünk az aktuális transzformációval
	return Matrix4.Mult(parent, local);
}
for(int i = 0; i < referenceSkeleton.bones.Count; i++)
{
	transformInverse[i] =
Matrix4.Inverse(GetRefMatrix(i));
}
```

A `SetTime(float time)` metódusban pedig a pillanatnyi csontvázat kell kiszámolni, amelyet majd később kirajzolunk.

```
// dt = [0.0 .. 1.0]
void CalcNewSkeleton(Skeleton start, Skeleton end, float dt)
{
	for(int i = 0; i < current_skeleton.bones.Count; i++)
	{
		// translate
```

```
            current_skeleton.bones[i].translate =
(start.bones[i].translate * (1.0f - dt)) +
(end.bones[i].translate * dt);
            // rotate
            float rotate_x =
GetSignedRad(start.bones[i].rotate.X, end.bones[i].rotate.X);
            current_skeleton.bones[i].rotate.X =
start.bones[i].rotate.X + (rotate_x * dt);
            // rotate Y …
            // rotate Z …
      }
}
// Az "int anim_id"-edik animáció, "float time" másodpercének
(pl. 6.5 mp), a pillanatnyi transzformációjának kiszámítása
void SetTime(int anim_id, float time)
{
      // aktuális animáció lekérdezése
      Animation *anim = animations[anim_id];

      // Get Skeleton
      int start = (int)Math.Floor(time * anim.fps);
      int end = (int)Math.Ceil(time * anim.fps);

      if (start == end)
      {
            CalcNewSkeleton(times[start], times[end], 0.0f);
      }
      else
      {
            float skeletonTime1 = (float)start / anim->fps;
            float skeletonTime2 = (float)end / anim->fps;
            float timeDiff1 = skeletonTime2 - skeletonTime1;
            float timeDiff2 = time - skeletonTime1;
            float dt = timeDiff2 / timeDiff1;
```

```
                CalcNewSkeleton(times[start], times[end], dt);
// dt = [0.0 .. 1.0]
        }

        // Update Matrices (transforms)
        for(int i = 0; i < currBones.size(); i++)
        {
                transform[i] = GetMatrix(i);
        }
}
```

- Érdekesség: A régi, Half-Life 1 `.SMD` fájlban, a háromszög egy csúcsához pontosan egy transzformáció (csont) tartozott. Az új, Half-Life 2 `.SMD` fájlban a háromszög egy csúcsához 1-3 transzformáció (csont) tartozhat. A csontok súlyozva vannak. A súlyok összege 1,0. Ez az újítás azért van, mert például egy ember könyökénél egy csúcs félig a felkarhoz, félig az alkarhoz tartozik. A súly mondja meg, hogy melyikhez tartozik jobban.

  A Half-Life 2-es `.SMD` fájlban így szerepel egy háromszög:

```
Kep1.bmp
0 19.250000 -20.500000 20.500000 0.000000 -1.000000 0.000000
0.000000 1.000000 1 0 1.0
0 19.250000 -20.500000 -20.500000 0.000000 -1.000000 0.000000
0.000000 0.000000 2 0 0.6 1 0.4
0 60.250000 -20.500000 20.500000 0.000000 -1.000000 0.000000
1.000000 1.000000 3 0 0.4 1 0.3 2 0.3
```

Itt az **`1 0 1.0`** azt jelenti, hogy egy súlyozott transzformáció tartozik ehhez a csúcshoz. A transzformáció azonosítója a `0`, súlya `1.0`.

```
Matrix4 T = Matrix4.Mult(GetMatrix(0), 1.0);
```

A **`2 0 0.6 1 0.4`** azt jelenti, hogy két súlyozott transzformáció tartozik ehhez a csúcshoz. Az első transzformáció azonosítója `0`, súlya `0.6`. A második transzformáció azonosítója `1`, súlya `0.4`.

```
Matrix4 T = Matrix4.Mult(GetMatrix(0), 0.6) +
Matrix4.Mult(GetMatrix(1), 0.4);
```

A **`3 0 0.4 1 0.3 2 0.3`** azt jelenti, hogy három súlyozott transzformáció tartozik ehhez a csúcshoz. Az első transzformáció azonosítója `0`, súlya `0.4`. A második

transzformáció azonosítója 1, súlya `0.3`. A harmadik transzformáció azonosítója `2`, súlya `0.3`.

```
Matrix4 T = Matrix4.Mult(GetMatrix(0), 0.4) +
Matrix4.Mult(GetMatrix(1), 0.3) + Matrix4.Mult(GetMatrix(2),
0.3);
```

A súlyok összege mindenhol `1.0`.

6. A saját szoftver elkészítése

6.1. Feladatspecifikáció

Amikor kirajzolunk egy modellt a képernyőre, jó lenne, ha minél rövidebb lenne a kirajzolás ideje. Így gyengébb teljesítményű gépeken is futna a játék, szélesebb lenne a célközönség, többen használhatnák, vásárolnák meg a programot.
Animációt lejátszani és poligonszámot csökkenteni más programokkal (például Blenderrel, 3D Studio Maxszal, Maya-val) is lehet, de azok használata bonyolult, nagy tudást igényel.

6.2. A program használatának forgatókönyve

A program először betölt egy `.OBJ` (nem animált modellt tartalmazó) fájlt vagy `.SMD` (animált modellt tartalmazó) fájlt. Megjeleníti a modellt vagy lejátsza az animációt. Majd csúszka segítségével a felhasználó kiválaszthatja százalékban a kívánt a részletezettségi szintet. Például, ha 10%-ot választ, az azt jelenti, hogy az eredeti modell háromszögeinek száma (100%) az új modellben az 1/10-e lesz (10%). A program elvégzi a kívánt számításokat, majd a felhasználó kimentheti a csökkentett poligonszámú modellt `.OBJ` vagy `.SMD` formátumba.

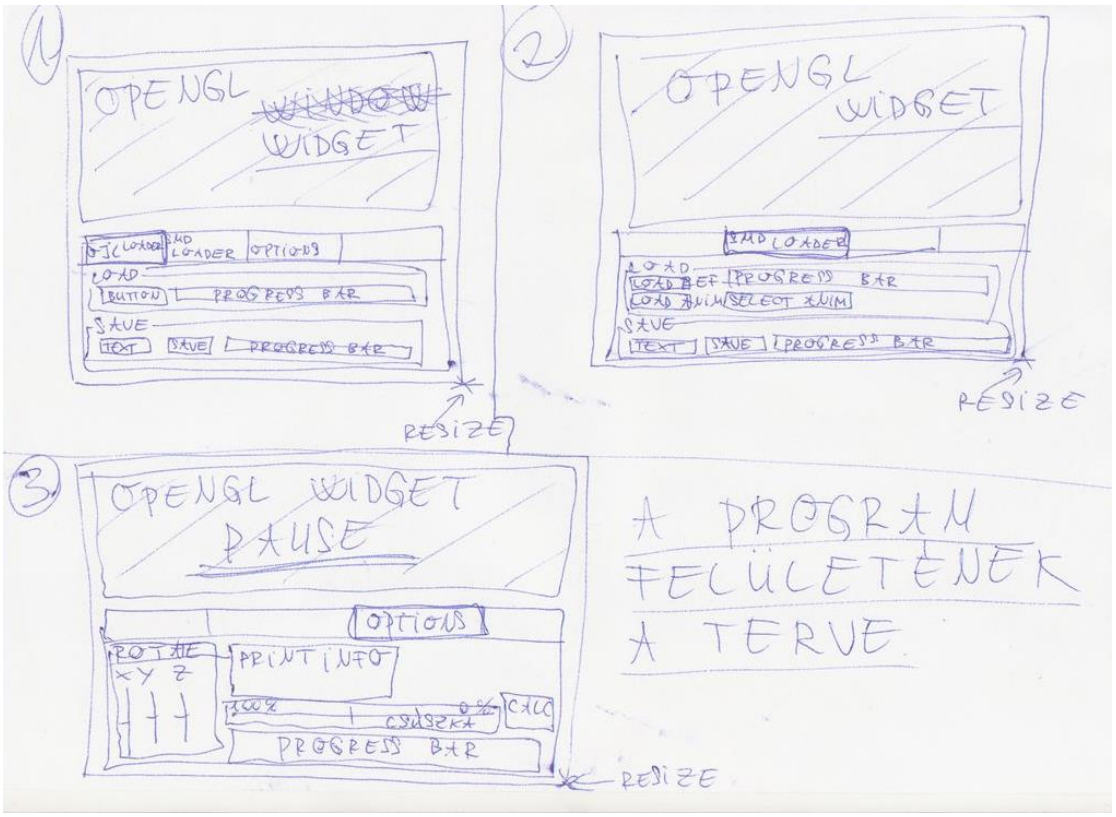
6.3. A számolási hardveregység és a fájlformátumok kiválasztása

Az én megoldásom a CPU segítségével számolja az animációt és a háromszögek csökkentését. A program egy szálon fut.
Az animáció megjelenítését (mátrix-vektor szorzás) a videokártya is végezhetné. A videokártyát épp azért hozták létre, hogy az ilyen számításokat elvégezze a CPU helyett, tehermentesítse azt.
A poligonszám-csökkentésnél a legrövidebb él megkeresését, párhuzamos számítással is lehetne megoldani. Az egyik megoldás, ha több szálon számolna a CPU. Lehetne OpenCL segítségével is számolni, így a CPU vagy GPU is végezhetné a számolást.
Én azért maradtam a CPU-nál, mert így egyszerűbb elkészíteni a programot. Animáció megjelenítésénél csak egy modellt kell megjeleníteni, aminek számításait a mai CPU-k elbírják végezni. Ha több, 10-1000 modellt kellene megjeleníteni, akkor az animációt GPU-val számolnám ki.
Mivel a poligonszám-csökkentés feladatban csak egy kis részen lehet párhuzamosítani, a legrövidebb él keresésénél, úgy gondoltam, nem éri meg bonyolultabbá tenni a programot a többszálúsítással. Csak kb. fél perc lenne a nyereségünk.

Azért választottam az `.OBJ` és `.SMD` fájlformátumokat, mert ezeket a legkönnyebb megérteni, feldolgozni. Ezek a kiterjesztésű fájlok nem bináris, hanem szöveges fájlok, könnyebb az értelmezésük, illetve általánosan elterjedtek, használtak a számítógépes grafikában.

6.4. Felület és tesztelés megtervezése

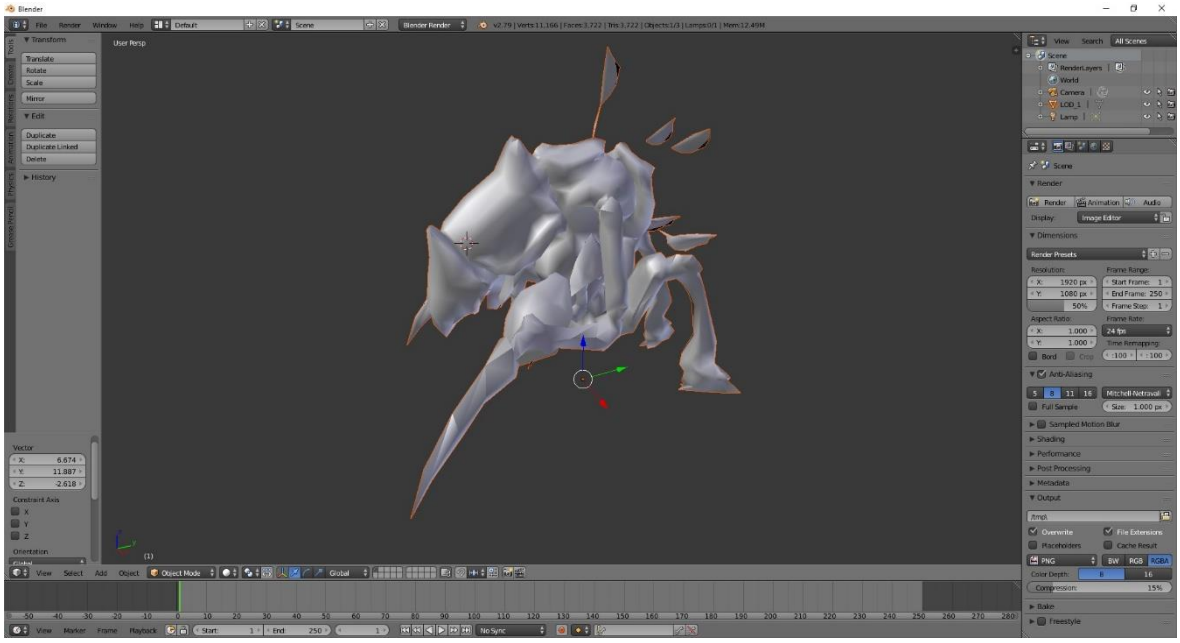
A felületet egyszerűre akartam megtervezni, füles szerkezetűre (lásd 10. ábra. Szükség van ***OBJ File*** fülre, ahol az `.OBJ` fájlok kezelése történik: betöltésük és kimentésük. Valamint szükség van ***SMD File*** fülre az `.SMD` fájlokhoz: betöltésük és kimentésük. A modellek kezeléséhez külön fülre kerültek a funkciók, neve ***Options*** lett. Itt lehet forgatni a modellt, csúszka segítségével csökkenteni a részletezettségét, illetve a kirajzolás típusát lehet beállítani. Más grafikai elemre nincs szükség.



10. ábra: A MeshReducer program felületének terve [saját termék]

Programozás közben debuggolással teszteltem a programot. Illetve, amikor elkészült az alkalmazás, fontossá vált, hogy a kivételeket jól leteszteljem, és mindet megfelelően kezeljem. „Ne szálljon el a program”, ha a felhasználó például nem megfelelő fájltípust választ ki. Viszont ha pl. `.ZIP` fájlt átnevez `.OBJ` kiterjesztésűre, majd azt akarja betölteni, akkor baj van. (Az `.OBJ` fájlnak nincs speciális fejléce, nem lehet azonosítani, hogy ő egy `.OBJ` fájl).

A programban kiszámolt normálvektorok megfelelőségét úgy ellenőriztem, hogy az exportált modellt megnyitottam Blenderben (lásd 11. ábra).



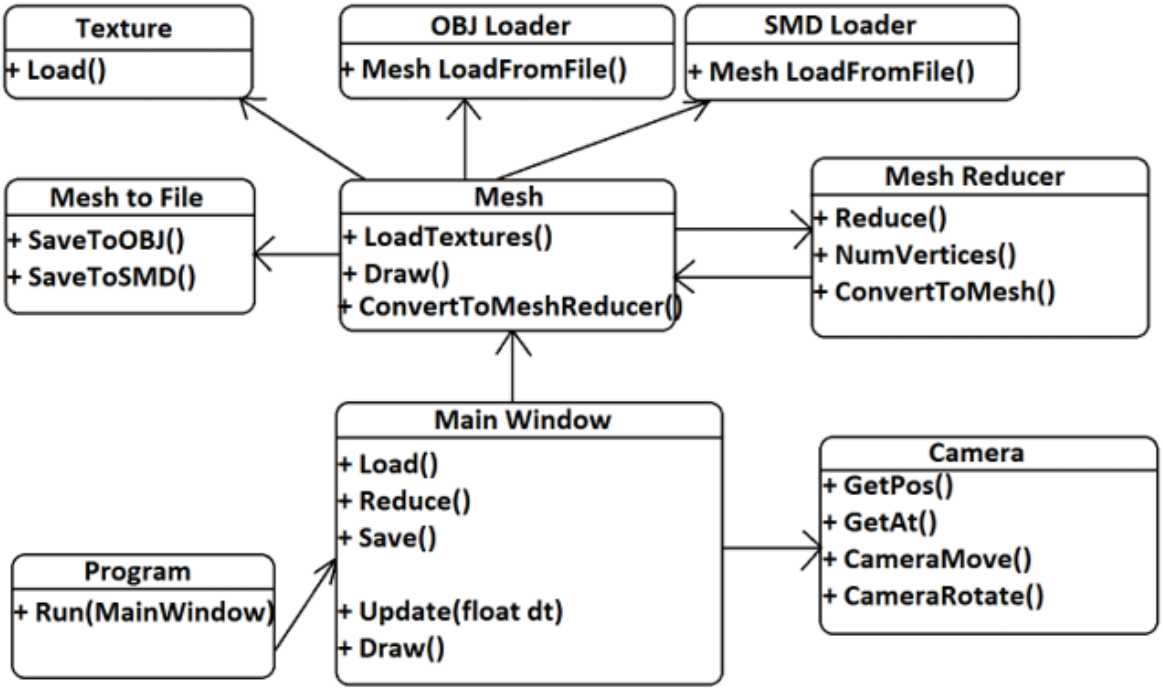
11. ábra: Kiszámolt normálvektorok megfelelőségének tesztelése: exportált fáj megnyitása Blenderben [saját ábra]

6.5. A program logikai terve

A programkészítés során megvalósítandó legfontosabb funkciók az alábbiak:

1. `.OBJ` vagy `.SMD` fájl betöltése, amelyek tartalmából `Mesh` objektum lesz. A `Mesh` objektummal lehet textúrákat betölteni.
2. Ha a `MainWindow` ablakban a `Reduce` gombra kattintva az aktuális `Mesh` objektumból `MeshReducer` készítése, és poligonszámának csökkentése
3. A lecsökkentett poligonszámú modell visszaalakítás `Mesh` objektumra. Ezt ki lehet rajzolni, és ki lehet menteni `.OBJ` vagy `.SMD` fájlba.

A 12. ábra a MeshReducer program objektumai közötti kapcsolatokat mutatja.



12. ábra: A MeshReducer program objektumai közötti kapcsolat diagramja [saját ábra]

7. Fejlettebb, mások által készített poligonszám-csökkentő algoritmus: közel egy irányba néző normálvektorú háromszögek közös élének keresése

Létezik olyan megoldás is, ahol nem a legrövidebb élt kell megkeresni és törölni, hanem azt az élt, amely arra a két háromszögre illeszkedik, amelyek normálvektorai közel egy irányba néznek.

Ilyenkor, ha két szomszédos háromszög úgymond egy síkban van, akkor erről a síkról lehet törölni háromszögeket, hiszen úgysem vesszük észre, ha egy nagy síkot például nem 5, hanem 2 darab háromszög alkot.

Ez a gondolatmenet egy továbbfejlesztése az én megoldásomnak.

13. ábra: Példamodell a közel egy irányba néző normálvektorú háromszögek közös élének keresésével végzett poligonszám-csökkentésre [10]

8. Az eredmények összefoglalása, önálló vélemény, javaslattétel

A MeshReducer programmal most már tudunk

- `.OBJ` és `.SMD` fájlt betölteni,
- `.SMD` fájlból animációt lejátszani,
- modell poligonszámát csökkenteni,
- exportálni a modellt `.OBJ` vagy `.SMD` fájlba.

Véleményem szerint az animációt megjelenítő algoritmust lehetne árnyalóval (shaderrel) is számolni, úgy gyorsabb lenne a megjelenítés. Most egy csúcs kirajzolása egy OpenGL függvény hívás. Ha 10 000 darab csúcsunk van, az 10 000 darab függvényhívás.

Viszont a CPU-s megoldás az érthetőbb, egyszerűbb. CPU-val könnyebb elvégezni egy matrix-vektor szorzást, majd kirajzolni vertexenként egyesével a modellt, mint vertexet tartalmazó tömböt létrehozni, transzformációkat tartalmazó tömböt létrehozni, átadni a VGA-nak, majd shaderben megírni a mátrix-vektor szorzást.

Lehetne megvilágítást is számolni, az bizonyítaná, hogy a program által kiszámolt normálvektorok valóban jók. De ha megnyitom az exportált fájlokat például Blenderben, akkor a megvilágítás rendben van, tehát jók a normálvektorok.

9. Felhasználói kézikönyv

Ez a fejezet a MeshReducer program felhasználói kézikönyvét tartalmazza.

9.1. Letöltés

A program és a hozzá tartozó forráskód ingyenes.

Az alkalmazást innen lehet letölteni: https://github.com/ezszoftver/Zarovizsga.

9.2. Telepítés

Telepíteni nem kell, de a program futtatásához szükséges minimum

- Windows 7 64 bites operációs rendszer,
- .NET 4.6,
- Visual Studio 2015 Redistributable x64,
- Opengl 2.0 videokártya.

Ha a videokártya DirectX9-es, akkor ismeri az OpenGL2.0-t is. Fennt kell lennie a VGA driverjének.

A programot elindítani a MeshReducer\MeshReducer\bin\x64\Release\MeshReducer.exe-vel lehet.

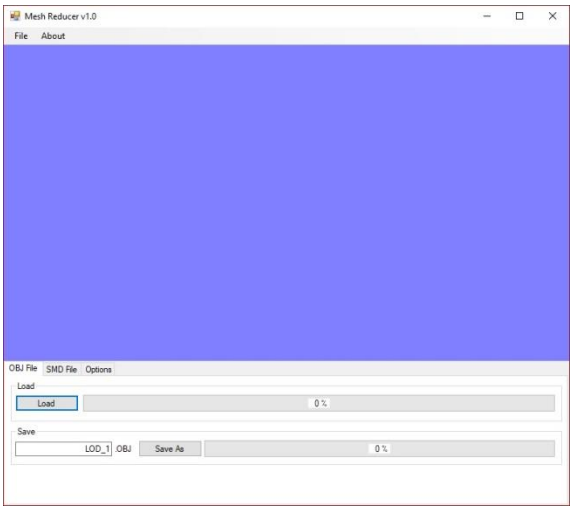
9.3. A program használata

9.3.1. Munka `.OBJ` fájllal

Ha elindítjuk a `MeshReducer.exe`-t, akkor először az 14. ábra által mutatott ablak fogad minket.

Itt a felső nagy, kék részen fog megjelenni a modell.

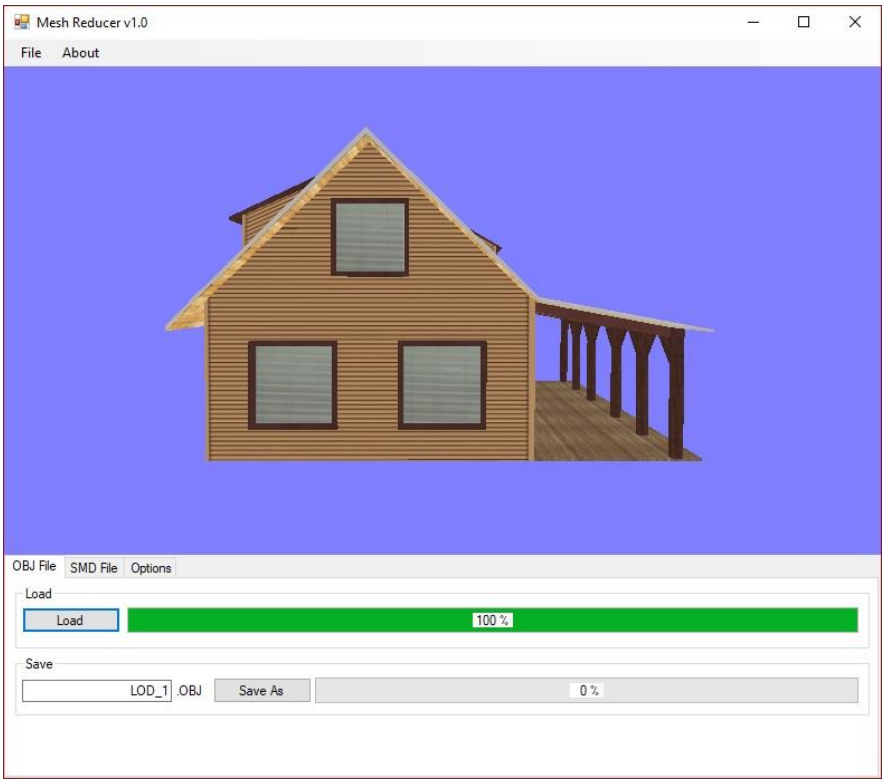
Alatta füleket találunk. Ha `.OBJ` fájlt akarunk betölteni, az ***OBJ File*** fülön kattintsunk a ***Load*** gombra.



14. ábra: A MeshReducer program képernyője induláskor [saját termék]

Ha kitallóztunk egy fájlt, például a `Zarovizsga\OBJ\OBJ_export\cottage.obj` `.OBJ` fájlt, akkor ez a kép fogad minket (a házikó letölthető innen: http://www.3DRT.com).

Jobb alul ***folyamatjelző sáv*** (ProgressBar) mutatja a modell betöltésének állását. A 15. ábra modelljének betöltöttsége már 100%.



15. ábra: A cottage.obj mejelenése a MeshReducer programban [saját termék]

A kamerát a billentyűzet nyilaival és az egér mozgatásával lehet mozgatni (az egér jobb gombja legyen lenyomva mozgatás közben). Így lehet körbejárni a modellt.

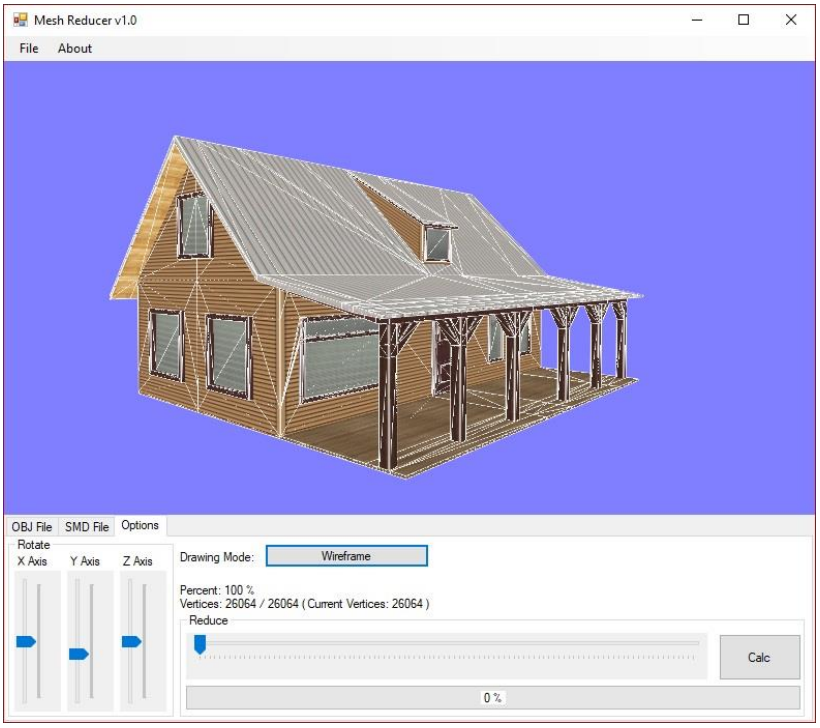
A modellt az X, Y és Z tengelyek mentén az ***Options*** fülre (lásd 16. ábra) átkattintva tudjuk forgatni.

Az ***Options*** fülön rajzolási stílust is választható:

- Csak az élek kirajzolása (huzalváz, wireframe).
- Csak a textúrázott háromszögpoligonok kirajzolása.
- Mindkettőt kirajzolása (élek + textúrázott háromszögpoligonok).

Az ***Options*** fülön a ***Reduce*** csúszkájával válasszuk ki a nekünk megfelelő részletezettségi szintet. A poligonszámcsökkentés elindításához kattintsunk az ablak jobb alsó sarkában elhelyezkedő ***Calc*** gombra. Ekkor alul egy ***folyamatjelző sáv*** (ProgressBar) elkezd 0%-ról, 100%-ra menni. Ha a konvertálás elérte a 100%-ot, a képernyőn megjelenik a kiválasztott részletezettségű modell.

A program a ***Reduce*** csúszka felett nem csak százalékban, hanem vertexszámban is kiírja, hogy hány csúcsból áll a modell.

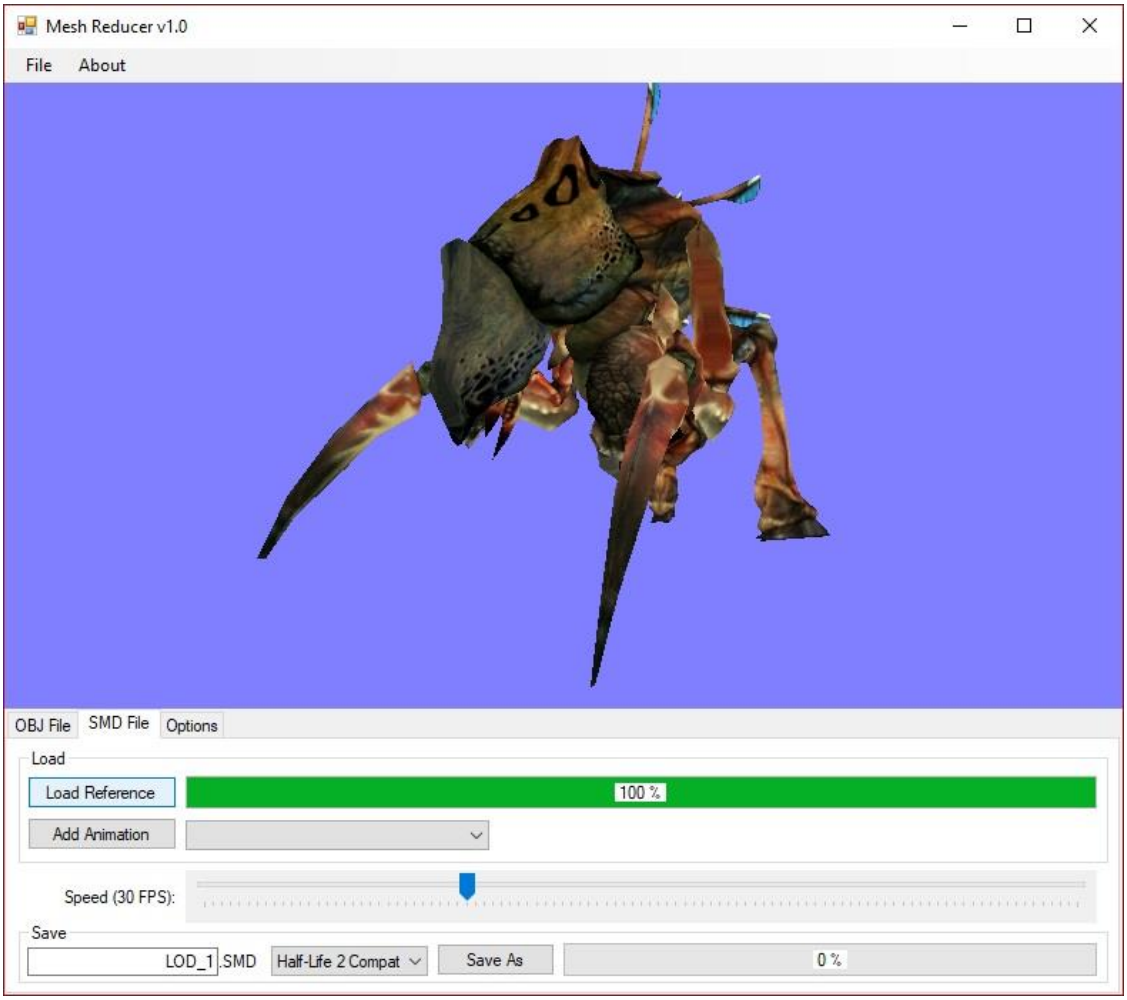


16. ábra: A MeshReducer Options füle [saját termék]

9.3.2. Munka `.SMD` fájllal

Ha `.SMD` modellt akarunk betölteni, akkor válasszuk az ***SMD File*** fület, majd ott kattintsunk a ***Load Reference*** gombra. Fontos hogy itt a geometriát tartalmazó `.SMD` fájlt tallózzuk ki.

Ez például a `Zarovizsga\SMD\HL2\Antlion\Antlion_guard_reference.smd` fájl (ez a modell egy Half-Life 2-ből kiszedett modell) Ekkor ismét elindul a ***folyamatjelző sáv***, és ha felért 100%-ra, megjelenik a mozdulatlan modell (lásd 17. ábra).



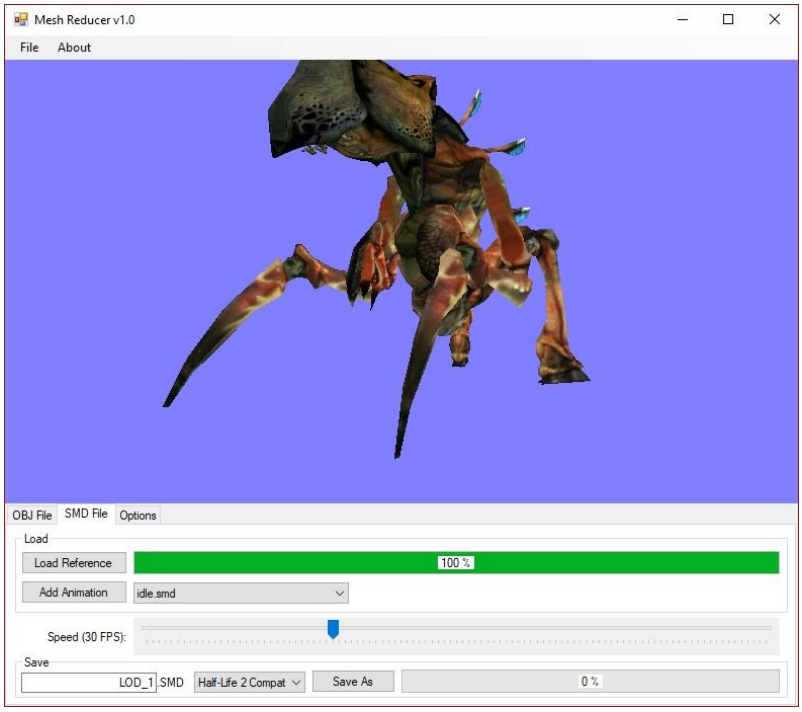
17. ábra: A betöltött Antlion_guard_reference.smd a MeshReducer ablakban [saját termék]

Majd az ***Add Animation*** gombra kattintva töltsünk be egy animációt. Fontos, hogy itt azt az `.SMD` fájlt válasszuk ki, amely nem a geometriát, hanem a sok csontvázat tartalmazza. Ez például a `Zarovizsga\SMD\HL2\Antlion\idle.smd` lehet.

Majd válasszuk ki a ***kombinált listában*** (ComboBoxban) az animációt, például az `idle.smd` fájlt (lásd 18. ábra), és az automatikusan elindul.

Az animáció sebességét a ***Speed*** csúszkával lehet változtatni.

Fontos, hogy a geometria `.SMD` fájl, és a hozzá tartozó animáció `.SMD` fájl összetartozik. Ne tallózzunk ki más geometriához tartozó `.SMD` animáció fájlt.

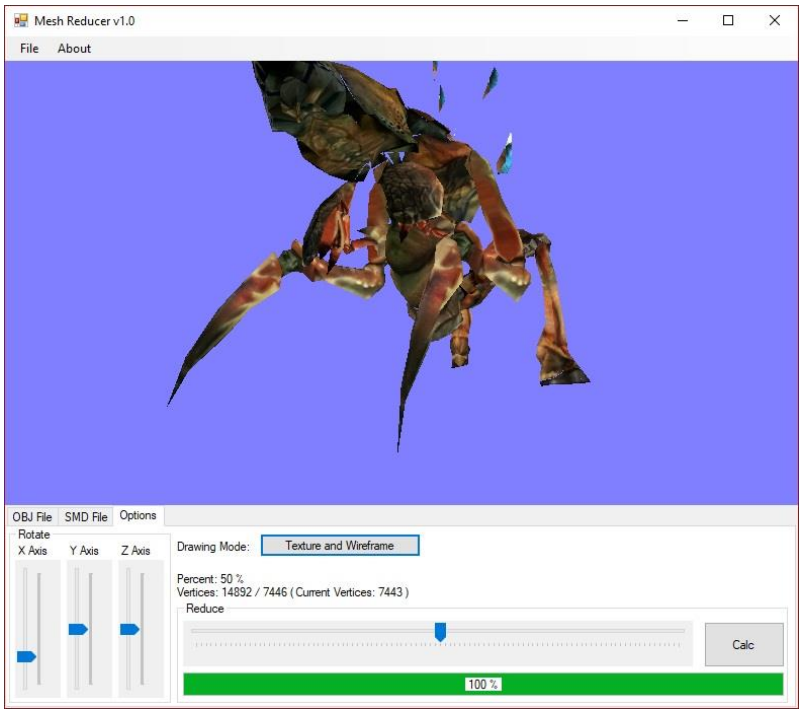


18. ábra: Az idle.smd kiválasztása a MeshReducer felületén [saját termék]

A kameramozgás ugyan az, mint ha `.OBJ` fájlt töltöttünk volna be.

A ***Reduce*** csúszka is ugyanúgy működik, mint az `.OBJ` leírásánál.

A 19. ábra azt mutatja, hogy hogyan néz ki az animáció, ha 50% a részletezettség az eredetihez képest.



19. ábra: Animáció az 50%-os részletezettségű Antlion guarddal [saját termék]

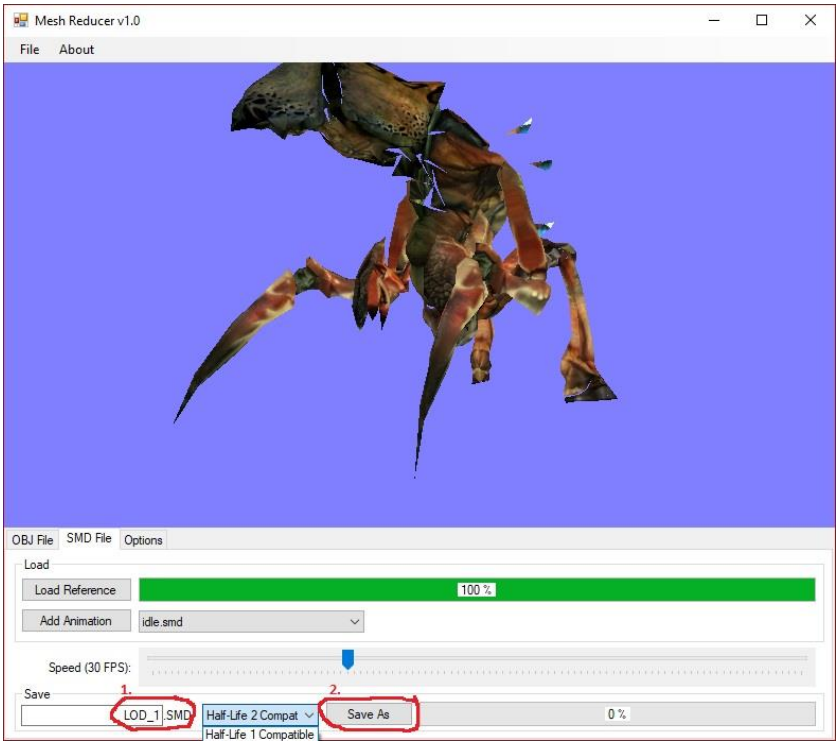
9.3.3. Poligonszám-csökkentett modell mentése

Ha kiválasztottuk a megfelelő részletezettséget, akkor a modellt kimenthetjük `.SMD` vagy `.OBJ` fájlba.

Először nézzük az `.SMD` mentését:

- Kattintsunk az ***SMD File*** fülre.
- Adjunk nevet a kimeneti fájlnak. Ez most a `LOD_1.SMD`. Csak a fájl nevet kell megadni, a kiterjesztést nem.
- Válasszuk ki a ***kombinált listában***, hogy Half-Life 1 vagy Half-Life 2 kompatibilitású `.SMD` fájlt akarunk-e létre hozni.
- Kattintsunk a ***Save As*** gombra.

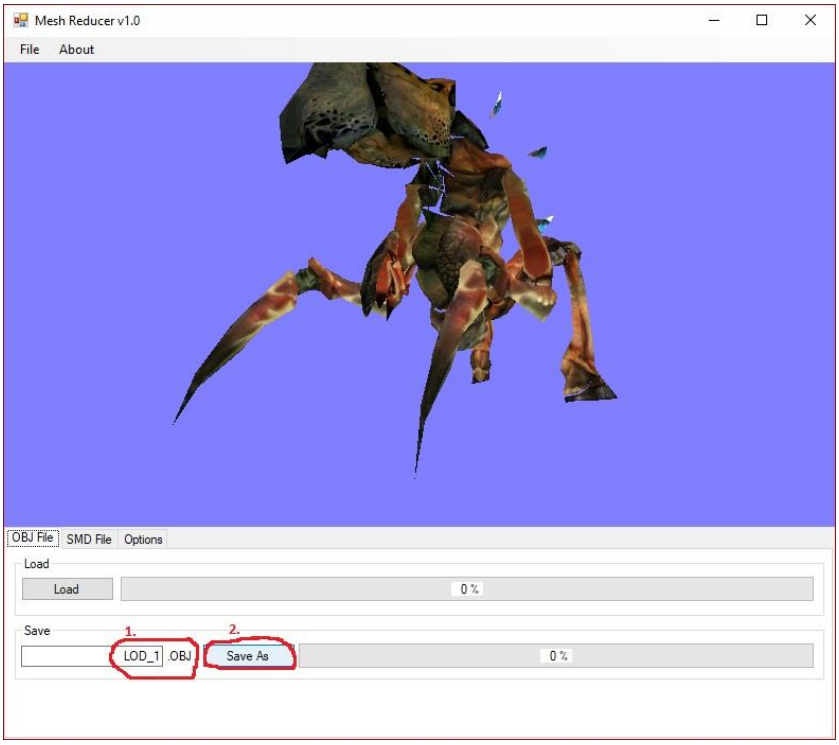
Ha ***folyamatjelző sáv*** felmegy 100%-ra, sikeres volt a mentés. A fájlt abba a mappába hozza létre a program, ahol a geometriát tartalmazó `.SMD` fájl található.



20. ábra: Ploligonszám csökkentett SMD fájl mentése [saját termék]

Ha `.OBJ` formátumba akarjuk kimenteni az aktuális részletezettségű modellt, akkor:

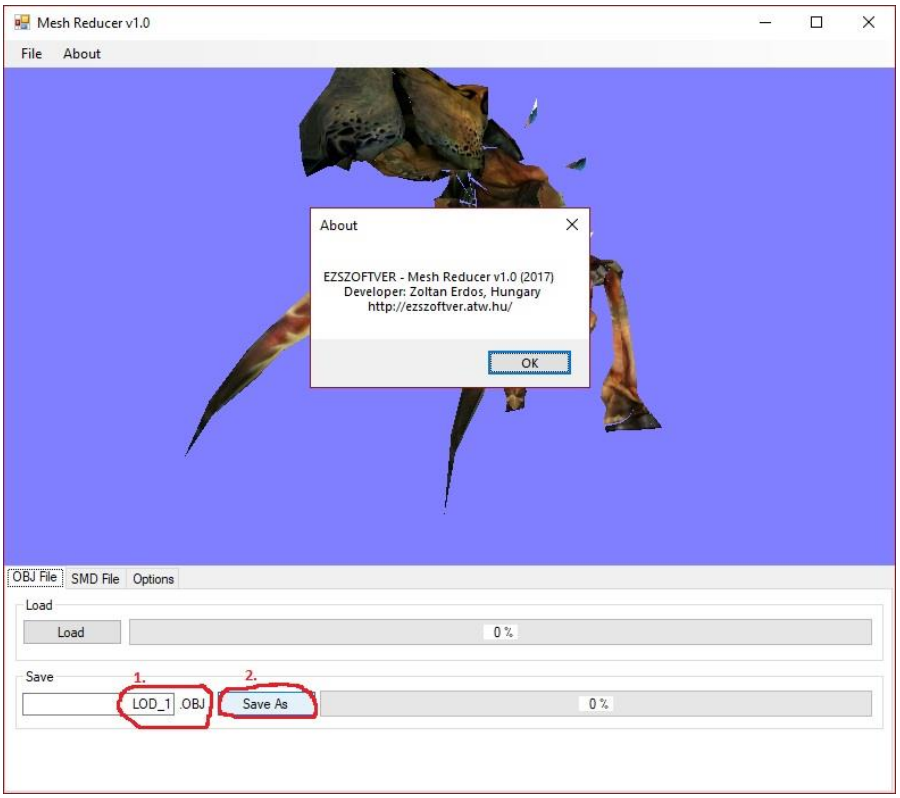
- Kattintsunk az ***OBJ File*** fülre.
- Adjunk nevet a kimeneti fájlnak. Ez most a `LOD_1.OBJ`. Csak a fájlnevet kell megadni, a kiterjesztést nem.
- Kattintsunk a ***Save As*** gombra.
- Ha a folyamatjelző sáv felmegy 100%-ra, sikeres volt a mentés. A fájlt abba a mappába hozza létre, ahol a betöltött OBJ fájl található.



21. ábra: Poligonszám csökkentett OBJ fájl bentése [saját termék]

9.3.4. About ablak, kilépés

Ha a ***menüsoron*** (MenuBar) az ***About*** menüpontra kattintunk, előjön egy kis leírás, hogy Mikor, ki készítette a programot. ***OK***-val zárhatjuk be az ***About*** ablakot.



22. ábra: A MeshReducer About ablaka [saját termék]

A programból kilépni a jobb felső sarokban található ***X*** gombbal lehet vagy a ***menüsoron*** a ***File/Exit*** menüpontra kattintva.

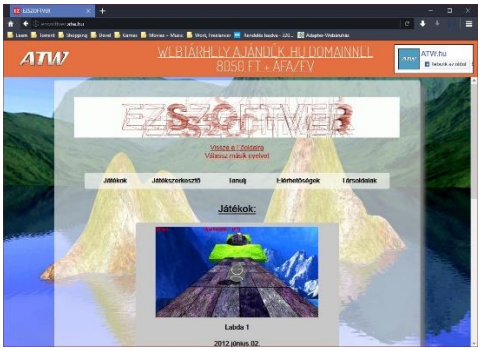
10. Irodalomjegyzék

1. Szirmai-Kalos László, Csonka György, Csonka Ferenc: *Háromdimenzós grafika animáció és játékfejlesztés*, Computerbooks, 2005. pp. 486, ISBN: 9636183031.
2. Nyisztor Károly: *Grafika és játékprogramozás DirectX -szel*, SZAK kiadó, 2005
3. Nyisztor Károly: *Shaderprogramozás (Grafika és játékfejlesztés DirectX -szel)*, SZAK kiadó, 2009
4. OpenGL 1.5, in *3D C/C++ tutorials*, http://www.3dcpptutorials.sk/index.php?id=14, 2017.10.28
5. Erdős Zoltán honlapja, utolsó módosítás: 2016.06.06., http://ezszoftver.atw.hu/, látogatva: 2017.10.28.
6. Erdős Zoltán: EZ Szoftver lapja a GitHubon: http://github.com/ezszoftver, látogatva: 2017.10.28
7. Christopher G. Healey: *3D Modeling and Parallel Mesh Simplification*, frissítve: 2015.01.01. https://software.intel.com/en-us/articles/3d-modeling-and-parallel-mesh-simplification, látogatva: 2017.10.28.
8. Erdős Zoltán: 3D-s animációt lejátszó és objektum-poligonszámot csökkentő alkalmazás forráskódja, https://github.com/ezszoftver/Zarovizsga, látogatva: 2017.10.28.
9. Valve Corporation honlapja, http://www.valvesoftware.com/, látogatva: 2017.10.28.
10. He Zhao: Progressive Meshes. 2008.04. http://hezhao.net/projects/progressive-meshes/, látogatva: 2017.10.28.
11. 3DRT: Goblin.smd, http://www.3DRT.com, látogatva: 2017.10.28.
12. Textúraillesztés egy háromszögre, https://www.slideshare.net/SyedZaidIrshad/opengl-texture-mapping, látogatva: 2017.11.12
13. Poligon (Triangle Fan), https://stackoverflow.com/questions/8043923/gl-triangle-fan-explanation, látogatva: 2017.11.12
14. Tér darabolása, http://slideplayer.com/slide/10896239/, látogatva: 2017.11.12

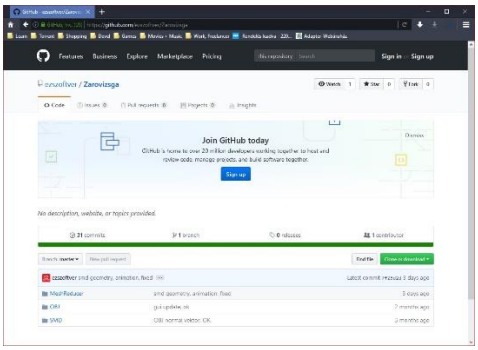
11. Ábrajegyzék

12. Mellékletek: saját készítésű játékaim szájtjai

Saját készítésű ingyenes játékaimat és azok forráskódját saját weboldalamon, a http://ezszoftver.atw.hu/-n osztom meg.



A http://ezszoftver.atw.hu/ weboldal játékainak forráskódjai és a legfrissebb, még be nem felyezett fejlesztéseim a http://github.com/ezszoftver-en érhetők el.



A Facebookon a http://facebook.com/ezszoftver lapon tájékoztatom az érdeklődőket a weboldal legfrissebb újdonságairól.