



Tudományos és Művészeti Diákköri Konferencia

2024 Ősz

Makroérdesség mérésének alternatív megoldásai

Konzulens: Nagy Richárd
Készítők: Nagy Kristóf György
Gerencsér Máté
Építőmérnök BSc

Győr, 2024. 11. 04.

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	2
Felmérés eszközei	3
Hagyományos mérés szabványi vonatkozásai.....	4
Digitális vizsgálat elvégzése	11
Modell elkészítése	14
Numerikus adatok feldolgozása	24
Kiterjesztett vizsgálatok	29
Fürt magmintákkal való összemérés	29
RSP mérőgerenda eredményeivel való összemérés	36
Összefoglalás.....	43
Mellék mérések és igazolások	44
Felhasznált irodalmak.....	46

Bevezetés

Kezdetek: Az útépités története nagyon régre nyúlik vissza, egészen az ókori időkig. Az úthálózatok kialakítása és karbantartása mindig is fontos volt a társadalmak, de főleg az úthasználók számára. Az első útépitési eljárások és szabványok gyakran a gyakorlati tapasztalatokon és a helyi szokásokon alapultak.

Középkor és koraújkor: A középkorban és a koraújkori időszakban az útépités továbbfejlődött, és egyre inkább strukturált szabályok szerint zajlott. Például a római úthálózat jelentős hatással volt az európai útépitésre és műszaki előírások kialakulására.

Modern kor és iparosodás: Az iparosodás korában az útépités és az infrastruktúrafejlesztés jelentős lendületet kapott. Az úthálózatok kiterjesztése és modernizálása, valamint az autógyártás térnyerése az utak minőségének és biztonságának növekedését követelte meg. Ez vezetett az útügyi műszaki előírások szisztematikusabb és szigorúbb kialakításához is.

Szabványosítás és előírások: A 20. században az útépités és az úthálózatok tervezése során egyre nagyobb hangsúlyt fektettek a szabványosításra és az előírásokra. Különböző országokban és régiókban különféle szervezetek hoztak létre útügyi műszaki előírásokat és szabványokat, amelyek irányították az útépitési és útkarbantartási tevékenységeket.

Nemzetközi együttműködés és harmonizáció: Az utóbbi évtizedekben egyre nagyobb figyelmet fordítanak a nemzetközi szabványokra és az útügyi műszaki előírások harmonizációjára. Ez segít abban, hogy az úthálózatok szabványosabbak és összehangoltabbak legyenek világszerte, ami elősegíti az egységes követelményeknek való megfelelést és a közlekedésbiztonság javítását.

A szabványosítás meglépése után, jelen korunkban, egyértelműen a szabványok modernizációs folyamatain van a hangsúly, hogy a régi módszereket hogyan tudjuk jobbra, hatékonyabbá és egyszerűbben elvégezhetővé tenni. Ezen inspirációk hatására kezdtük témavezető tanárunk ajánlására az elkövetkezőkben kifejtendő témánkat melyet a jövőben szeretnénk jelen kutatásunknál tovább mutatóvá fejleszteni.

Felmérés eszközei

Digitális felmérés eszközei

- Laptop a mobilitás és számítási kapacitás érdekében (1. ábra)
- Artec Space Spider szkennel (2. ábra)
- Testo 880 Thermal Imager hőkamera (3. ábra)



1. ábra: Asus ROG Strix Scar 18



2. ábra: Artec Space Spider szkennel



3. ábra: Testo 880 Thermal Imager hőkamera

Szabványos vizsgálat eszközei

- Mintaanyag (250-160 mikron közti finomságú)
- Mintatartó edények (minták egységesen 25 cm³ térfogatúak)
- Terítőeszköz (lapos, sík alapterületű cca. 25 mm vastag és 60-75 mm átmérőjű, kemény korong)
- Kefék (lágy sörtéjű + drótkefe)
- Szélvédő (mintaanyag megvédésére)
- Vonalzó
- Tolómérő

Hagyományos mérés szabványi vonatkozásai

A szabvány tárgya

„Az általunk felhasznált európai szabvány a burkolatfelület makró textúra átlagos mélységének meghatározási módszerét írja elő, amely ismert térfogatú anyagnak a felületre történő felvitelével és a teljes lefedett terület azt követő mérésével történik. Az eljárást csak a burkolat makró textúra átlagos mélységének meghatározására tervezték, a burkolat mikro textúrájának jellemzésére érzéketlen.

A vizsgálati módszer a burkolatfelület átlagos makró textúra-mélységének helyszínen történő meghatározására alkalmas. Ha más fizikai vizsgálatokhoz kapcsolódóan alkalmazzuk, az ebből a vizsgálati módszerből nyert makró textúra mélység értékek használhatók a burkolat csúszásellenállási képességének, a zajjellemzőknek, a burkolat anyagának, vagy a bedolgozási eljárás alkalmasságának meghatározására. Ha egyéb vizsgálatokkal együttesen alkalmazzuk, akkor gondot kell fordítani arra, hogy a vizsgálatok azonos helyre vonatkozzanak.”

Vizsgálati módszer

„A szabványos anyagok és a vizsgálati eszközök: egységes vizsgálati anyagmennyiség, ismert térfogatú tárolóedény, megfelelő szélvédő lemez vagy ernyő, kefék a felület tisztítására, az anyag terítésére szolgáló lapos korong, vonalzó vagy egyéb mérőeszköz az anyag által fedett felület meghatározására. Egy laboratóriumi mérleg használata is javasolt, hogy mindegyik mérési minta tömegének egyenlő volta biztosítva legyen.

A vizsgálati eljárás során a tiszta és száraz burkolatfelületre ismert térfogatú anyagot terítünk, a minta által lefedett területet meghatározzuk, majd ezt követően kiszámítjuk a felület hézagainak aljától a felületen lévő ásványi szemcsék tetejéig terjedő átlagos mélységet.

Az ennél a vizsgálati módszernél előírt anyag szétterítésénél a felület hézagai színültig ki vannak töltve a környező ásványi szemcsék csúcsai között.

A burkolat ásványi szemcséinek szemalakja, mérete és eloszlása a felületi textúra jellemzői, de nem képezik e módszer tárgyát. Ezen eljárás nem jelenti a burkolatfelület textúra jellemzőinek teljes meghatározását. Különös gondossággal kell eljárni az eredmény értelmezésénél, ha porózus felületeken, vagy mélyen rovátkolt felületeken alkalmazzuk a módszert.

Az eljárás a felületek széles körére alkalmazható. Az eredmények értelmezésében azonban körültekintésre van szükség, ha azok a makró textúra mélység 0,25 mm -5 mm tartományán kívül esnek.”

Anyag és eszközök

Kemény, lényegében kerek üveggömböket kell használni (helyettesíthető szabványos mérőhomokkal). A gömbök szemeloszlása olyan legyen, hogy a teljes tömeg legalább 90 %-a hulljon át a 0,25 mm-es szitán, és maradjon fenn a 0,18 mm-es szitán. A sziták az ISO 565 szabványnak feleljenek meg.

Mintatartó edény

(4. ábra)

Az elterítendő üveggömbök térfogatának meghatározására egy olyan fém vagy műanyag hengert kell használni, melynek előre meghatározott űrtartalma legalább 25000 mm³ (25 ml).



4. ábra: Mintatartó edény

Terítőeszköz

(5. ábra)

Az anyag elosztásához egy lapos, sík alapfelületű cca. 25 mm vastag és 60-75 mm átmérőjű kemény korongot kell használni. A korong alsó felülete keménygumi bevonatú legyen, míg a felső felületéhez egy alkalmas fogantyú erősíthető.



5. ábra: Terítőeszköz

Kefék

(6-7. ábra) Egy kemény drótkefét és egy lágy szőrkefét használtunk a felület alapos letisztításához, mielőtt a felületen a mintaanyagot szétterítettük.



6. ábra: Drótkefe



7. ábra: Finomsörtéjű kefe

Szélvédő

Egy szél elleni védelemre alkalmas ernyő, vagy lemez helyezhető a burkolatfelületre, hogy a mintaanyagot a szél és a forgalom által keltett légörvények hatásaitól megvédjük. Az 1. ábrán erre egy példa látható.

Mérleg és vonalzó

(8-9. ábra)

Szabványos 300 mm hosszú vagy ennél hosszabb, 1 mm-es osztásközű vonalzót kell használni, vagy ennél pontosabb mérőeszközt.

Ennél a vizsgálati módszernél a kiegészítő ellenőrzésre és felület makró textúra mélységének mérésére használt mintaanyag azonos, állandó tömegének ellenőrzésére 0,1 g pontosságú laboratóriumi mérleget használjunk.



8. ábra: Mérleg



9. ábra: Tolómérő

Eljárás

A vizsgált felület

A mérendő burkolatfelületet ellenőriztük és kiválasztottunk egy száraz, homogén területet, amelyen nem volt semmiféle egyedi eltérés, mint például repedések vagy hézagok. A felületet alaposan megtisztítottuk, először egy kemény sörtéjű drótkefével (10. ábra), majd ezt követően a lágy sörtéjű kefével (11. ábra), majd lesepertünk minden maradványanyagot, törmeléket vagy laza kötésű ásványi szemcséket is. A hordozható szélvédőt a vizsgált terület köré helyeztük el.



10. ábra: Drótkéfék tisztítás



11. ábra: Lágy sörtéjű kefék tisztítás

Mintaanyag

Az ismert térfogatú hengert megtöltöttük száraz anyaggal, aminek az alját néhányszor finoman megütögettük egy keményebb felülethez. (12. ábra) Ezután további anyaggal töltöttük meg ismételten és a tetejét egy vonalzóval lehúztuk. Ha rendelkezésre áll egy laboratóriumi mérleg, akkor meg tudjuk határozni a hengerben lévő anyag tömegét, ezután minden egyes mérésnél ugyanilyen tömegű mintaanyagot tudunk mérni.



12. ábra: Mintaanyag kimérése

Vizsgálat elvégzése

A térfogat vagy tömeg szerint bemért anyagot a letisztított felületre öntöttük. Az anyagot a keménygumi felületű koronggal terítettük el úgy, hogy az egy kör alakú foltot képezzen, miközben az ásványi szemcsék csúcsai között az anyag színültig kitölti a felületi hézagokat. Az anyagterítés során a korongra kézzel gyenge nyomást enged a szabvány kifejténi, de csak annyit, hogy jelentős tömörítő hatás ne képződjön.

A kerület mentén egyenlő távolságban felvett legalább négy pontban mértük le és jegyeztük fel az anyag által lefedett kör alakú terület átmérőjét, mely a szabványban előírt módnak tökéletesen megfeleltethető.

(Azokon a nagyon sima burkolatfelületeken, amelyeken a foltátmérő nagyobb mint 300 mm, a szabvány megengedi a homokminta térfogatának a felét használni)

A vizsgálati mérések száma

A szabvány szerint egy típusú felületen, egy vizsgáló személynek kell legalább 4 mérést elvégeznie és ezen eredmények matematikai átlagából kaphatjuk meg a végleges makró textúra mélységet.

Számítás**Hengertérfogat**

A mintahenger űrtartalmát az alábbiak szerint számítjuk:

$$V = \pi \cdot d^2 h / 4$$

V a henger űrtartalma, mm³;

d a henger belső átmérője, mm;

h a henger magassága, mm.

A felület átlagos textúra mélysége

A következő egyenlettel ki kell számítani a felület átlagos textúra-mélységét (MTD):

$$MTD = 4 V / \pi D^2$$

MTD az átlagos textúra mélység, mm;

V a minta térfogata (azaz a henger űrtartalma), mm³;

D a mintaanyaggal fedett terület átlagos átmérője, mm.

Vizsgálati jegyzőkönyv

„A vizsgálati jegyzőkönyvnek minden vizsgált burkolatfelületre a következő adatokat kell tételenként tartalmaznia:

- a) a vizsgált burkolatfelület helye, azonosítása;
- b) dátum;
- c) a vizsgáló személy azonosítása;
- d) az egyes vizsgálatokhoz használt anyag térfogata mm^3 ;
- e) a vizsgálati mérések száma;
- f) az anyaggal fedett minden egyes terület átlagos átmérője, mm;
- g) a felületi textúra mélysége minden mérésnél, mm;
- h) a felületi textúra átlagos mélysége a teljes vizsgált burkolatfelületre, mm;”

A módszer véletlen hibája

„A laboratóriumi mintákon elvégzett ellenőrzött vizsgálatoknál a makró textúra mélysége a 0,5 mm-1,2 mm tartományba esik.

Ugyanazon személy által, ugyanazon a felületen ismételt elvégzett mérések szórása az átlagos textúra mélység 1 %-ánál kisebb lehet.

Más személy által ismételt ugyanazon a helyen elvégzett mérések esetében a szórás az átlagos felületi mélység 2 %-ánál kisebb lehet.

Az eltérő helyeken elvégzett vizsgálatok szórása elérheti a textúra átlagos mélységének 27 %-át. Itt az eltérő helyek egy névlegesen homogén burkolatszakaszon véletlenszerűen kiválasztott pontokat jelentenek. Ez azt jelenti, hogy nagymértékben változó textúrájú adott burkolattípusok esetén, a textúra-mélység megbízható jellemzésére nagyszámú mérés válhat szükségessé, annak ellenére, hogy a módszer ismételhetősége jó, és a műveletek befolyásoló hatása nem nagy. „

Burkolatfelület textúra mélységének mérési módszere

Vizsgálati módszerek		Érvényességi tartomány (átlagos profilmélységben, MPD, kifejezve)
prEN 13036-1	Térfogatmódszer: Átlagos textúramélység mérése (MTD)	0,25 mm-5 mm

Homokminta száma	Tömeg [g]	Térfogat [mm ³]	Átmérő 1 [mm]	Átmérő 2 [mm]	Átmérő 3 [mm]	Átmérő 4 [mm]	Átlag átmérő [mm]	MTD [mm]	Átlagos MTD érték [mm]
1	41,16	25000	161,55	152,40	150,55	162,70	156,80	1,29	1,28
2	41,15	24994	157,40	150,40	147,95	147,45	150,80	1,40	
3	41,15	24994	159,15	151,45	153,25	135,50	149,84	1,42	
4	41,15	24994	156,95	170,25	164,90	170,45	165,64	1,16	
5	41,18	25012	167,20	164,90	167,80	166,25	166,54	1,15	
6	41,18	25012	235,55	218,40	234,40	225,10	228,36	0,61	0,65
7	41,15	24994	236,75	223,35	231,65	223,20	228,74	0,61	
8	41,18	25012	216,85	210,20	207,40	215,90	212,59	0,70	
9	41,19	25018	222,00	215,95	221,75	224,60	221,08	0,65	
10	41,2	25024	226,45	218,65	211,75	222,40	219,81	0,66	
11	41,16	25000	134,45	144,40	147,30	136,80	140,74	1,61	1,09
12	41,17	25006	175,55	168,90	170,25	179,50	173,55	1,06	
13	41,15	24994	192,35	190,60	186,75	181,00	187,68	0,90	
14	41,18	25012	204,10	207,85	199,20	211,20	205,59	0,75	
15	41,16	25000	172,85	163,35	176,40	166,35	169,74	1,10	

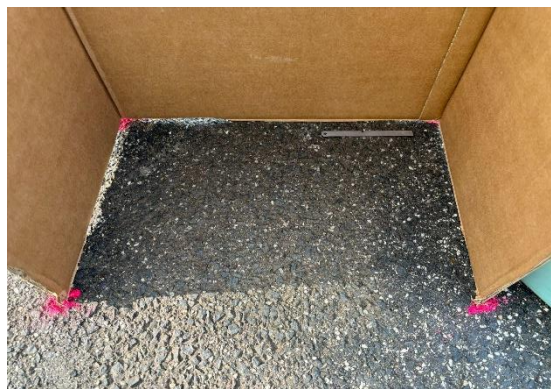
1. táblázat Hagyományos makroérdesség mérés értékelt eredményei

A színekkel különböző típusú aszfaltminták kerültek jelölésre.

A hagyományos mérési eredmények kiértékeléséből látszik, hogy az általunk vizsgált felületek teljes mértékben megfelelnek a szabványban előírt minősítési mód alkalmazásának.

Digitális vizsgálat elvégzése

A digitális mérés előkészítési munkái kevésbé időigényesek mint a hagyományos mérésnek ugyanis itt nem kell előre kiterítendő homokmintát kimérni, hanem egyszerűen csak a használt eszközöket kipakoljuk a helyszínre, ahol a vizsgálatokat elvégezzük. Ezt követően a vizsgálandó vagy beszkenyelendő felületet por és egyéb szennyeződéstől mentessé kell tenni, ehhez a hagyományos mérésnél leírt módon tisztítottuk meg a felületet, vagyis először drótkéfével a nagyobb szennyeződések utána pedig ecsettel a kisebb szennyeződések távolítottuk el. Nagyobb tisztaságot kézi porszívóval kiegészítve tudjuk garantálni. A szélárnyékolóként használt kartonpapírral egy nagyjából befoglaló területet festettünk fel, amellyel a beszkenyelendő terület lett. (13-14. ábra)



13. ábra: Beszkennelendő felület kijelölése



14. ábra: Szkennelés a kijelölt felületen



15. ábra: Mérőrendszer összeállítása

A mérőrendszer összeállítása nem igényel semmiféle szakmai előírások ismeretét, ugyanis az általunk használt mérőrendszer készen megvásárolható. (15. ábra) A rendszer felállítása után a software begyakoroltatja a felhasználóval a szkennerek a helyes használatát, hogy hogyan milyen szögben és milyen távolságra kell tartani a szkennert a szkennelendő felülettől, hogy az a lehető legpontosabb képet tudja visszaadni. Ezt a szkennelés elkezdésekor, amelyet a szkenneren elhelyezett nyomógommbal lehet elindítani minden egyes szkenneléskor elvégezteti a program. Ennek a kijelzéséhez a kijelzőn megjelenő csúszkát használja, amely mutatja, hogy éppen aktuálisan mekkora mennyiségű használható adatot képes előállítani a szkennert tartásától függően.

Ezt követően a nyomógomb újbóli megnyomásával már az éles szkennelés indul el a szoftverben, amely már rögzíti is az adatokat. (16. ábra)



16. ábra Éles szkennelés, laptop visszajelzése



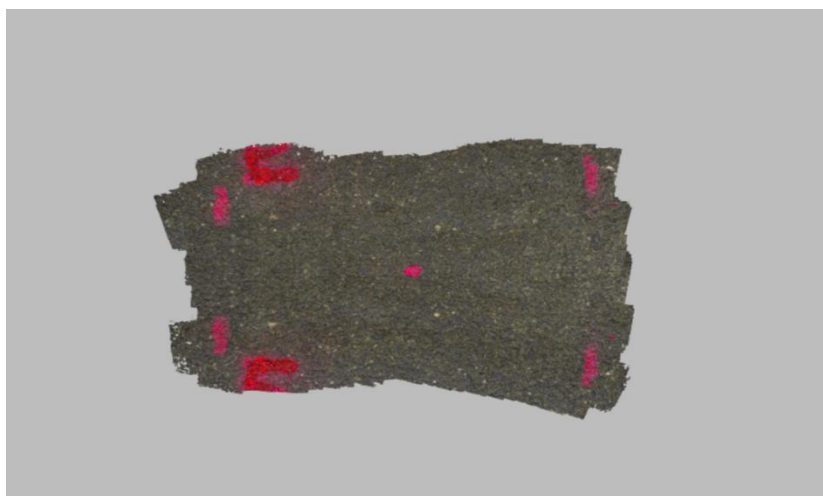
17. ábra: Szkennelés

A szkennelést egyenletesen elosztott szegmensenként végeztük, ezek a szegmensek csak a szoftveres környezetben látszódtak mivel folyamatosan megjelenítette a már beszkenelt részeket. A minél pontosabb modell felépítése érdekében legalább 2 oldalról készítettünk minden egyes felületről beszkenelt mintát. (17. ábra)

A terepi munkahelyvégzésének gyorsítása érdekében, ezeket a beszkenelt felületeket első körben csak rendszerben elmentettük, hogy majd a későbbiekben összeállítsuk belőlük az elkészült 3D modellt. A két vizsgálatnak a sorrendiségét a felület tisztasága szabta meg, először szkennelni kellett, hogy utána össze lehessen homokozni a hagyományos vizsgálat elvégzése során.

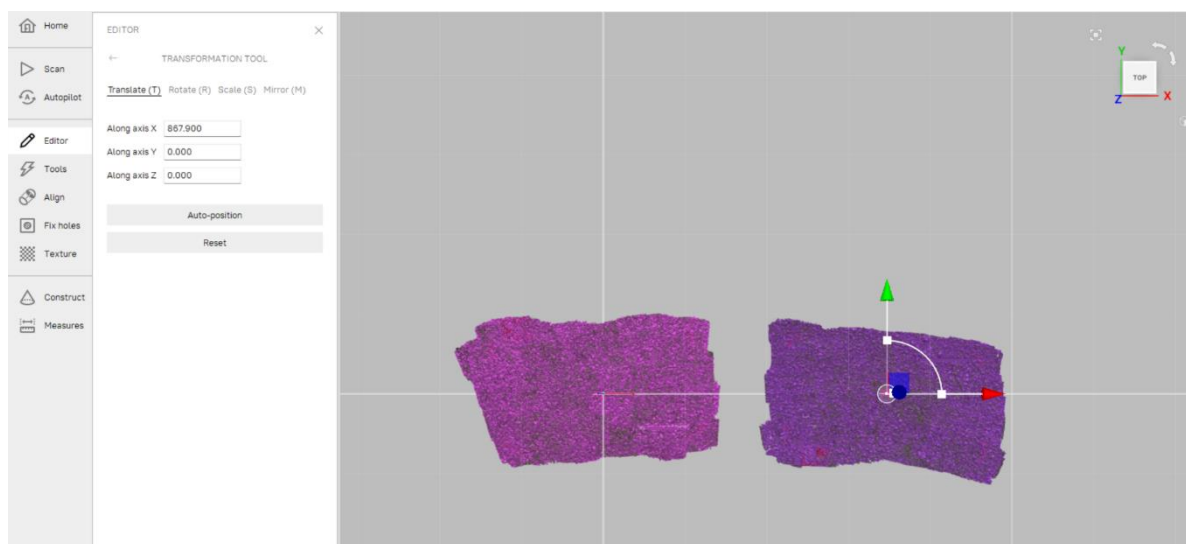
Modell elkészítése

A modell megalkotása a mérőrendszerhez tartozó Artec Studio 18.0-ban készül. A modell alkotáshoz betöltjük az előzetesen beszkenelt, majd a lementett felületeket. (18. ábra)



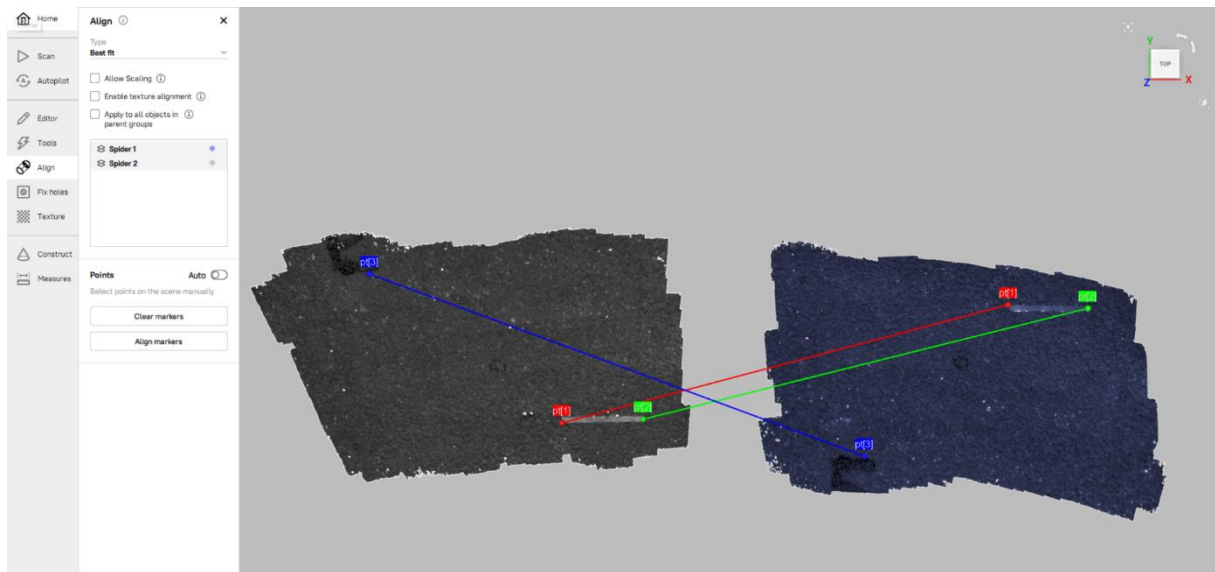
18. ábra: Beszkennelt felületek nyers változat

Ezek a beszkenelt felületek, mivel egymással nem megegyező oldalról készültek, így legalább egymáshoz képest tükrözve vannak, így elsősorban a legfontosabb dolog az egymásra illesztése a felületeknek, ezt az align paranccsal lehet elvégezni a cél szoftverben, amelyhez legalább három jellemző pont megadása szükséges. A könnyebb összeillesztés érdekében az egyik beszkenelt felületet, vízszintesen elmozdítottuk, hogy még könnyebben lehessen összeilleszteni őket. (19. ábra)



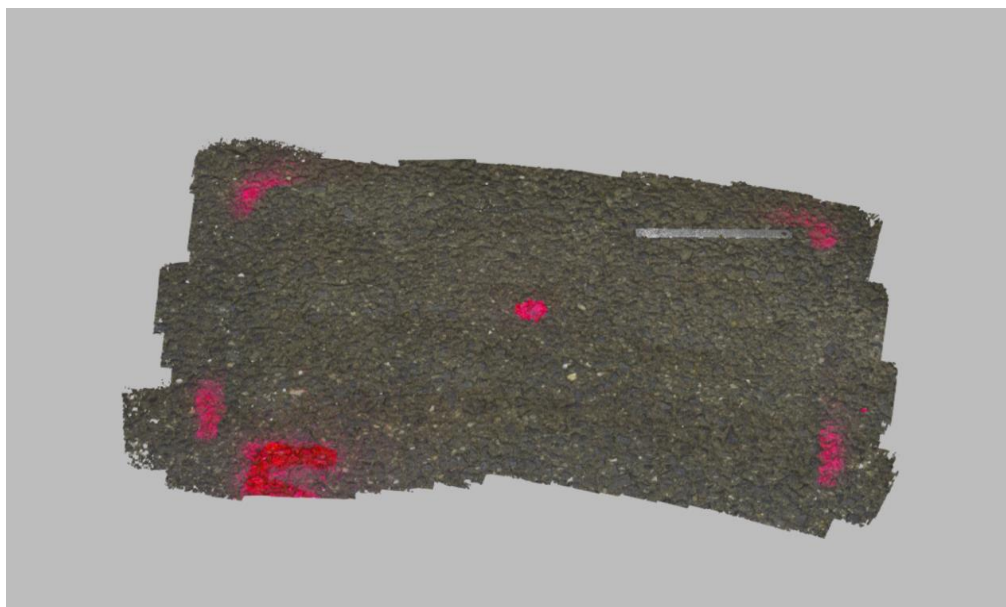
19. ábra: Eltolás az összeillesztés egyszerűsítéséhez

Ezt követően pedig a szoftver képes összeilleszteni saját magának a két beszkenelt mérést a lehető legjobb átfedéssel, abban az esetben, ha legalább 3 pontot definiálunk neki amelyek mind a két beszkenelt felületen azonosként tekintendők. (20-21. ábra)



20. ábra: Összeillesztés

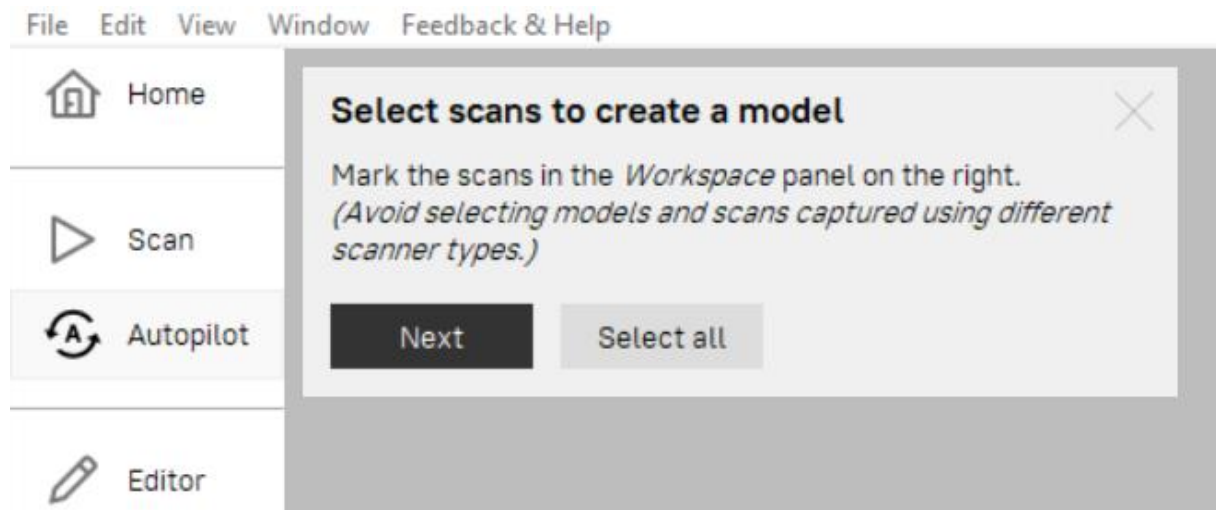
Az összeillesztett felületből már képes a szoftver a fotogrammetria elven alapuló módszerrel előállítani a kész objektumot.



21. ábra: A végleges, összeillesztett modell

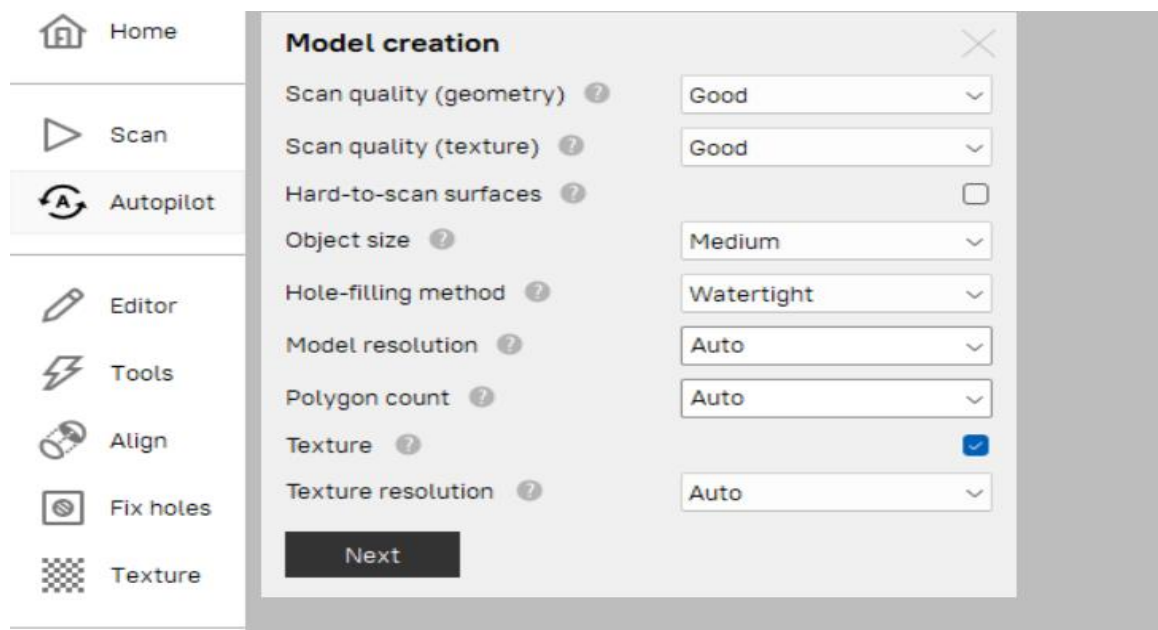
Ha ezt a műveletet a lehető legnagyobb precizitással elvégeztük, akkor a szoftvernek is könnyebb dolga lesz a későbbiekben, ugyanis a következő lépés az a modellnek a megalkotása. Ehhez az autopilot funkciót használjuk, amely automatikusan végig léptet minket azokon dolgokon amíg szükségesek a szoftvernek ahhoz, hogy el tudja végezni a 3D modellé alakítását a beszkenelt a felületeknek. Itt többféle beállítási módból lehet választani mellyel a modell pontosságát növelni, a feldolgozás sebességét azonban csökkenteni fogja. (22-26. ábra)

Itt választatja ki velünk a szoftver, hogy mely felvételekből készítse el az objektumot.



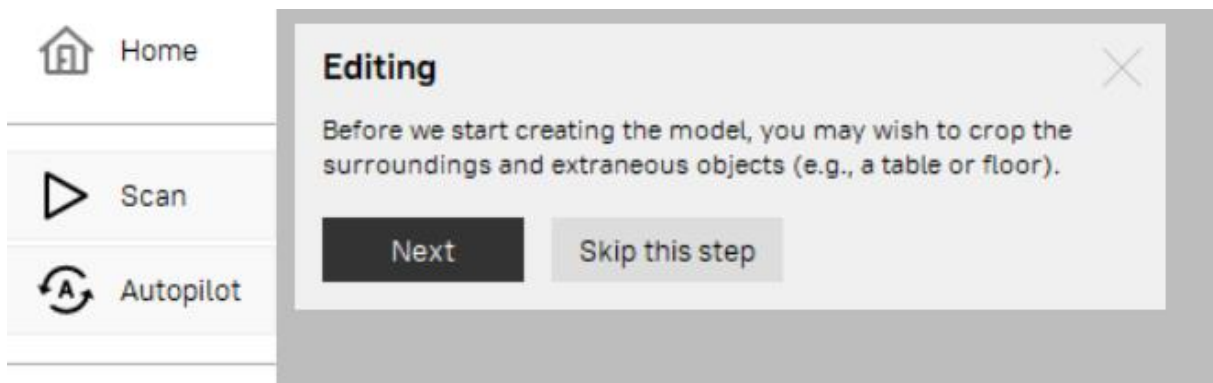
22. ábra: Autopilot elindítása

A modellkészítés folyamatának a beállítási lehetőségeiből minden esetben a lehető legmagasabb beállítást alkalmaztuk, ekkor még azt gondoltuk ez egyenesen vezet a jól használható adatok előállításához.

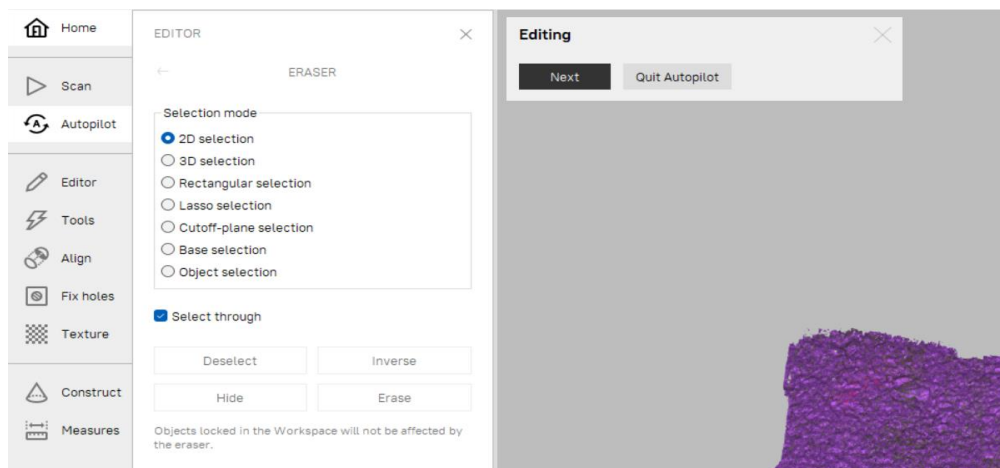


23. ábra: Modellezés alapbeállításai

Itt figyelmeztet minket a szoftver, hogy biztosan minden szükségtelen részletet levágtuk-e a szkennelt felületről annak érdekében hogy szükségtelen elemeket ne hozzon létre.

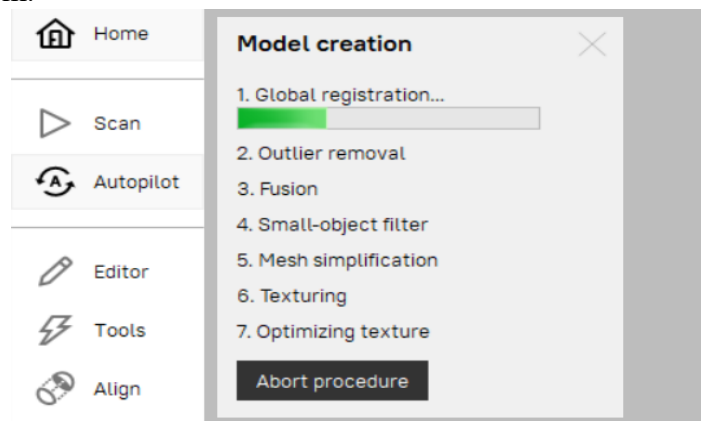


24. ábra: Szerkesztés engedélyezése



25. ábra: Szerkesztés további beállításai

Ezek után csak egy kis időre van szükség mire az ő a szoftver az általa kreált menüpontokban végig fut és elvégzi a meghatározott műveleteket ez körülbelül minden modell esetében, 35-40 percet vesz igénybe, amíg a gép folyamatosan dolgozik. (ide kellene egy kép a végeredményről, de nincs képem.

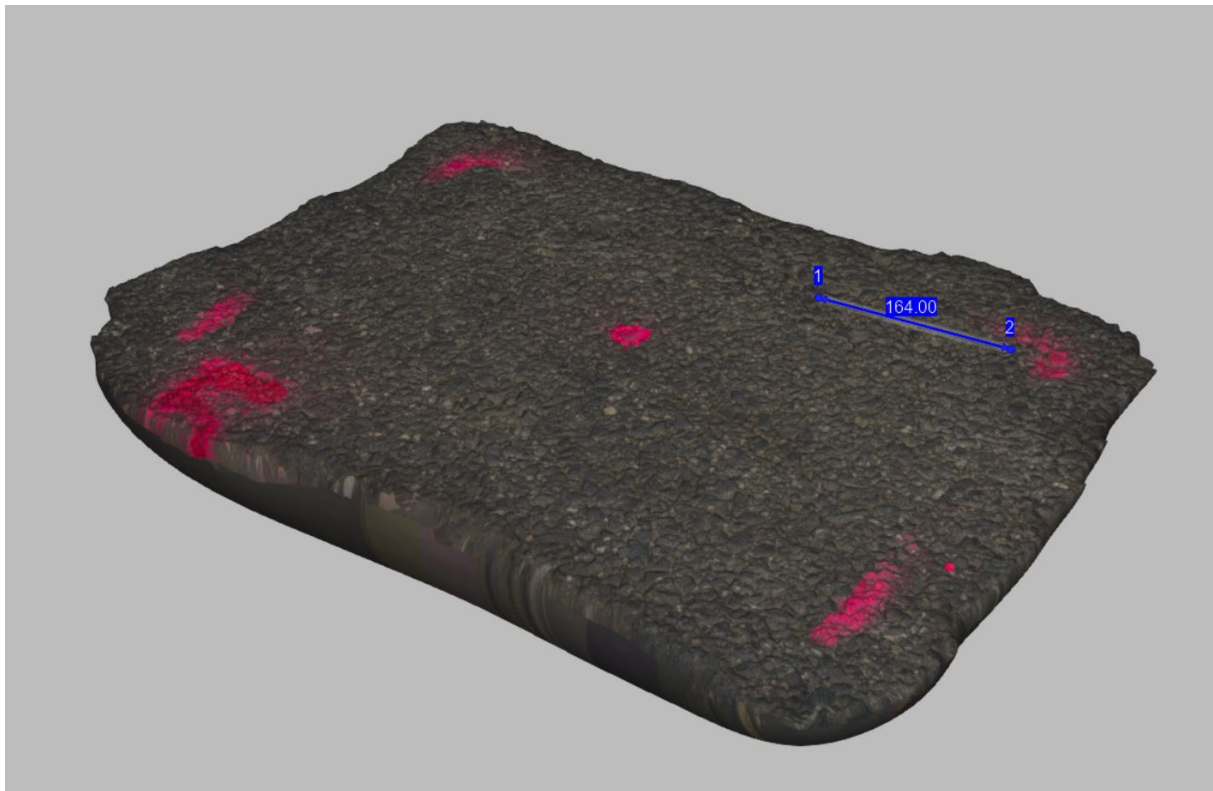


26. ábra: Autopilot lefuttatása

Az elkészült modell méret helyesség ellenőrzésének elvégzésére egy vonalzót használtunk, amelyet tekintettel arra, hogy az aszfalt különböző hőmérsékleteket képes felvenni, különböző hőmérsékleti viszonyok között hitelesítettünk (1-es melléklet)

A beszkenneléskor lemért aszfalt hőmérsékletekhez viszonyítva kiszámoltuk, hogy mekkora lehet a vonalzónk abban az esetben, hogyha átvette a hőjét az aszfaltnak. Kis idő elteltével a napsugárzásból is vett fel hőmérsékletet a vonalzó, ami így körülbelül 22 Celsius fokra melegedett fel. Ez nagyjából 164 milliméteres hosszt jelent a beszkenvelt modelleken, amelyeknek birtokában már fel tudtuk nagyítani vagy éppen le tudtuk kicsinyíteni az elkészült modelleket, így méret helyesség téve a digitalizált mintafelületet.

A modell mérethelyessé tétele után következhet a koordináta helyesség tétele. Mivel nem tud tökéletes síkot rá illeszteni a szoftver önmagától a test felszínére, így nekünk kellett iterációval elérni azt, hogy a lehető legkorrektebben és relatív sík felületként jelenjen meg a modell felszíne ami a vizsgálat szempontjából azért lényeges mert így kapjuk a legkevesebb eltérést a Z koordináták és a 0 sík közt.

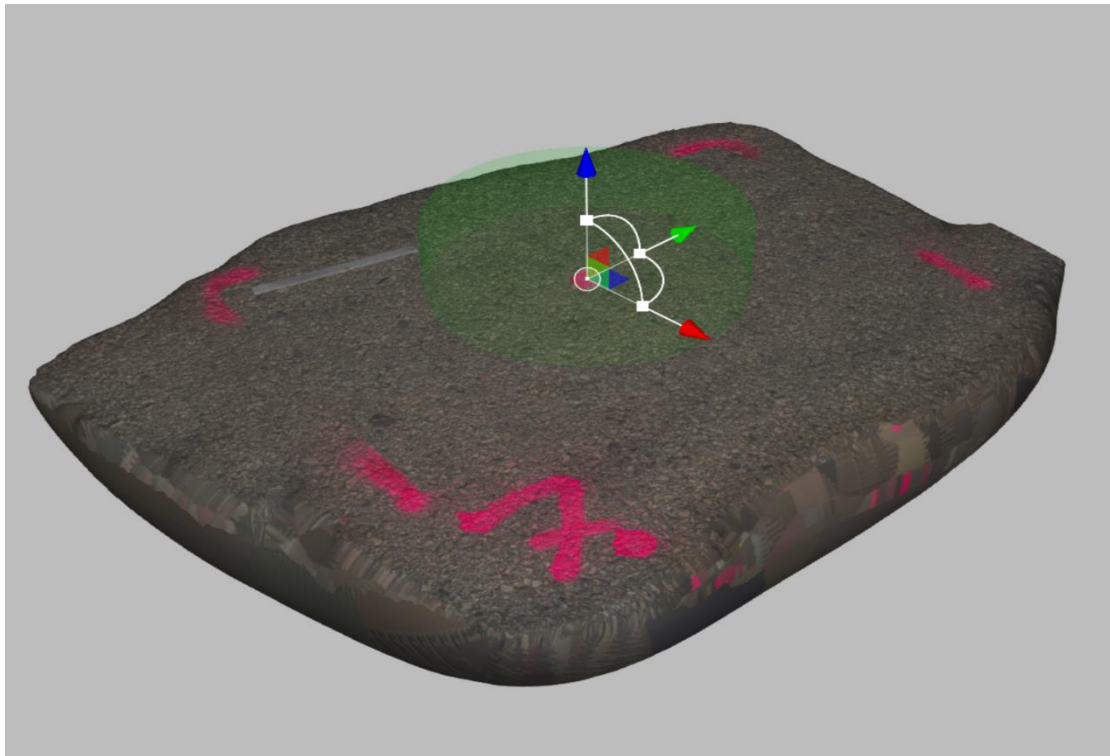


27. ábra: Vonalzó a modelltérben

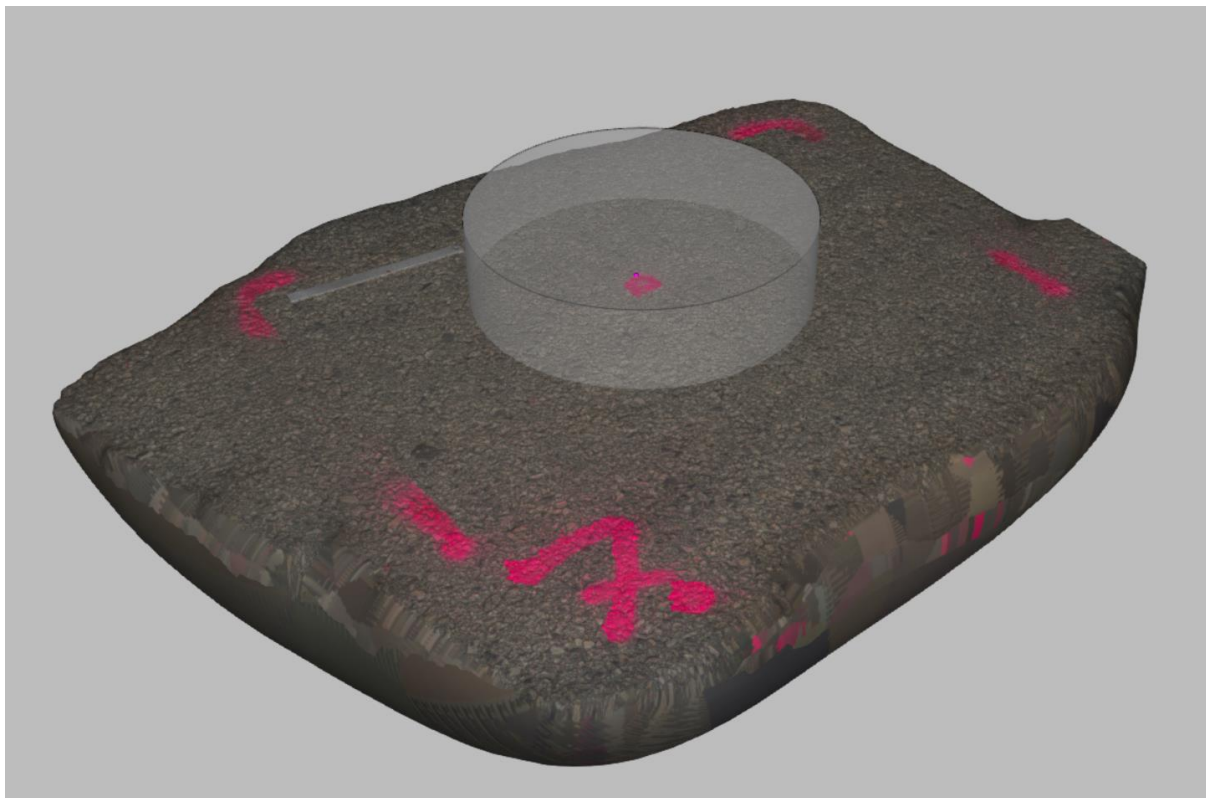
A képen (27. ábra) 164 mm látható feltüntetett érték, ami a szoftveres környezetben lemért vonalzó hossza. A szoftverben nekünk kell megadni pontokat, amelyek között képes kiszámolni

a távolságokat, különböző alap vektoriális egyenletek segítségével, ezért elmondható hogy az elhelyezési pontosság is képes befolyásolni azt (néhány század milliméter).

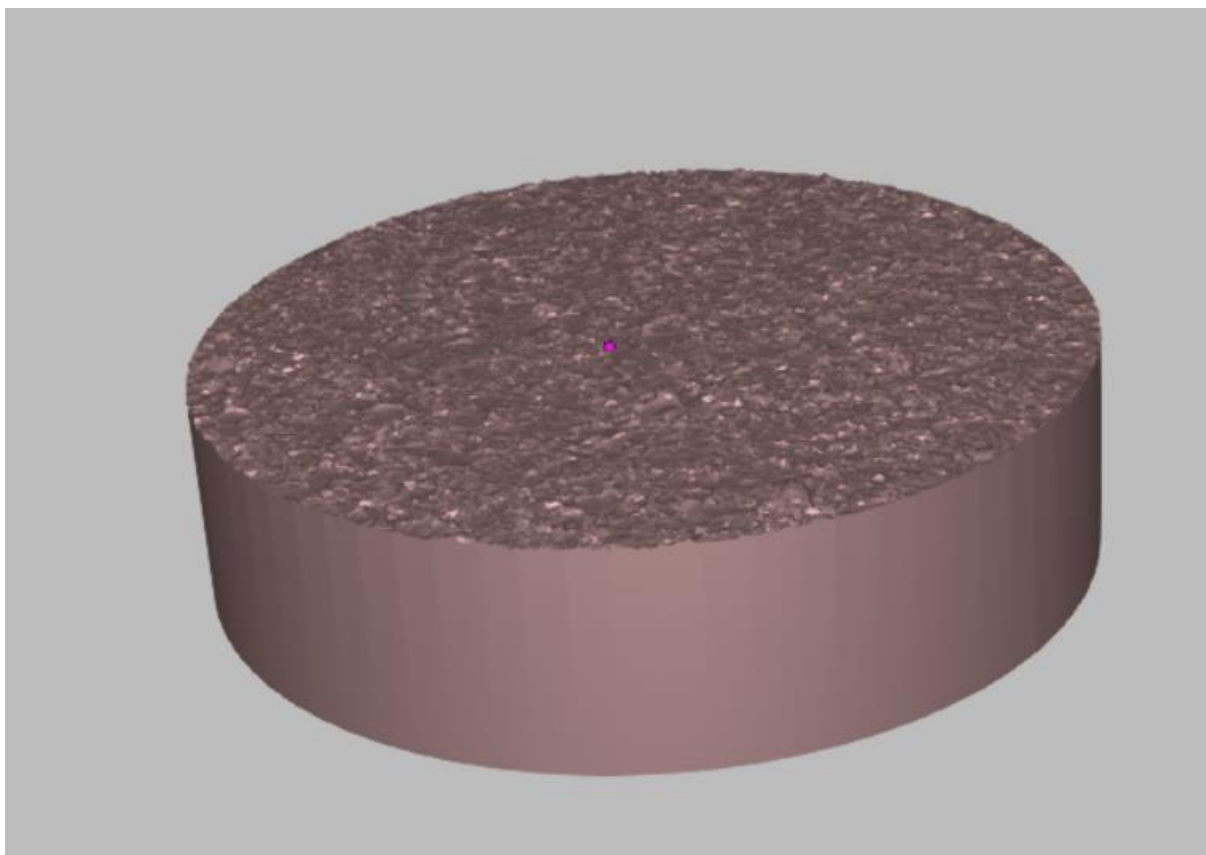
A modell méret helyesség tétele után már ki lehet menteni az elkészült 3D modellt, egyszerű 3D formátumban, nevezetesen mi stl-t használtunk ami a „Standard Tessellation Language” nevet rövidíti, amit speciálisan a 3d nyomtatók számára hoztak létre, hogy egy könnyű formátumot képezve a testet burkoló kis háromszög lapkákból álló testet hoz létre. Számunkra ez volt a lehető legjobban használható formátum mert a legkevesebb tárhelyterületet foglaló kiterjesztés, mely fontos a számítási kapacitások végeessége miatt. Másik szoftverek használata előtt, kisebb hengereket vágunk ki a kész modellből, ugyanis a szabvány megengedi $d \geq 30\text{cm}$ sugarúra terített homokminta esetén a térfogattól való eltérést, ezért ekkora felület kivágása is összehasonlítható alapot képzett a munkánk során. (28-29-30. ábra)



28. ábra: 15 cm sugarú hasáb helyére illesztése



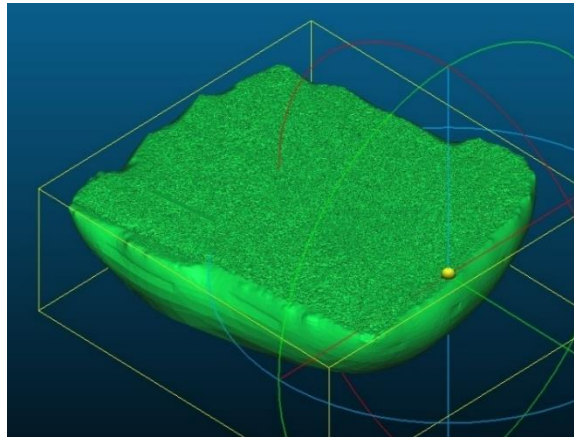
29. ábra: A hasáb létrehozása



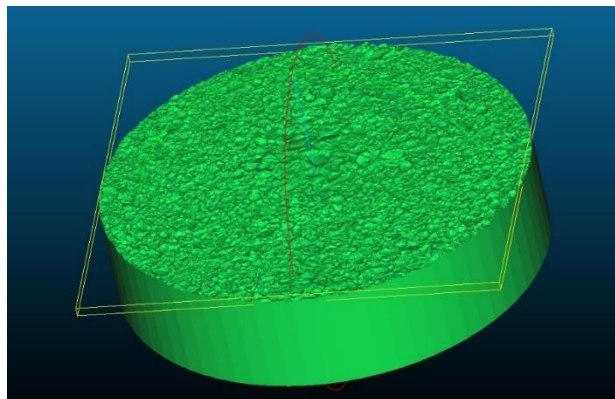
30. ábra: A kivágott, elkészült mintadarab

Ezeket követően áttérhettünk egy másik célszoftver használatára, amely a CloudCompare.

A CloudComper software széleskörű kínálatot nyújt az általa felismert file kiterjesztések kiválasztásában, így az alapvetően pontfelhő feldolgozásra használható program képes felismerni a szilárd test felületét határoló sík elemeket, ezeket a sík elemeket képes az alkotóira bontani ezeket pedig a végükön álló pontokra bontani, így képes pontfelhőként detektálni a beolvasott 3D-s fájlt. (31-32. ábra)



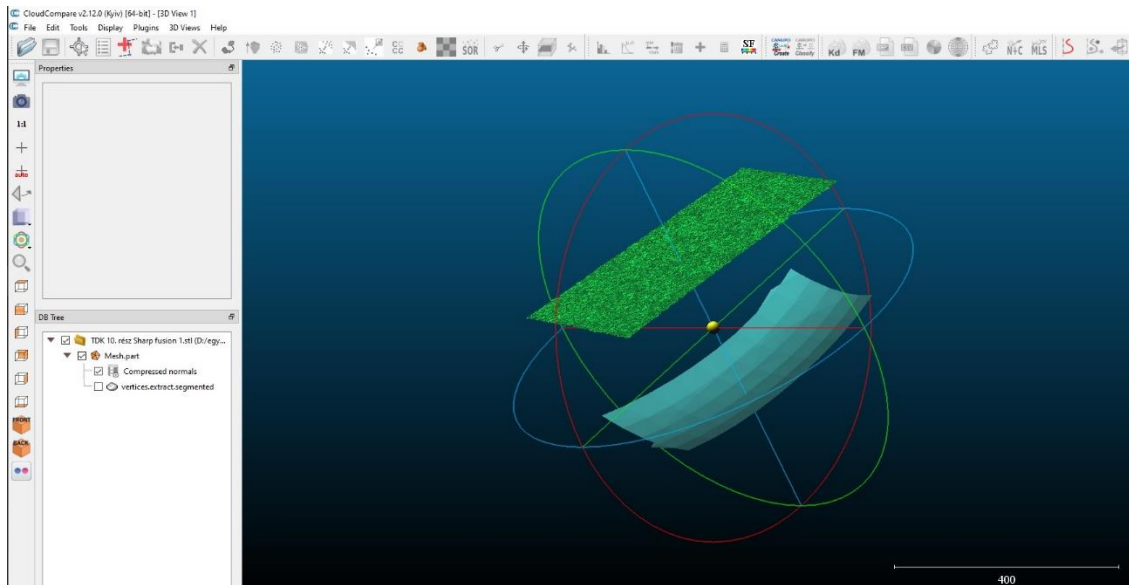
31. ábra: Beolvasott nyers fájl



32. ábra: Beolvasott nyers hasáb fájl

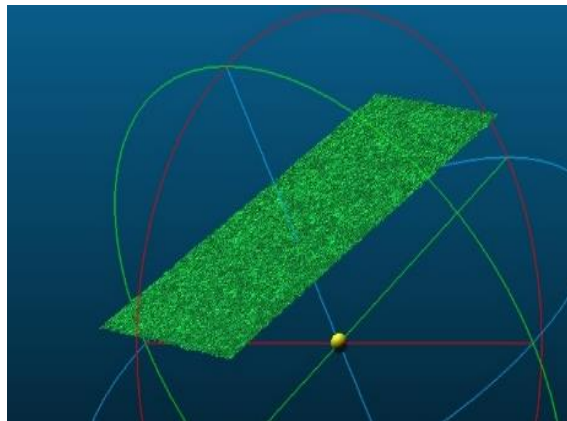
Miután a file beolvasásra került, amelyet a szoftver teljes mértékben automatikusan képes elvégezni, környezet tisztítási folyamatot végeztünk el rajta.

Ezt a folyamatot, szegment állásnak hívják, ami annyit jelent, hogy különböző kisebb nagyobb szegmenseket leválasztunk az alap modellről. (33. ábra)

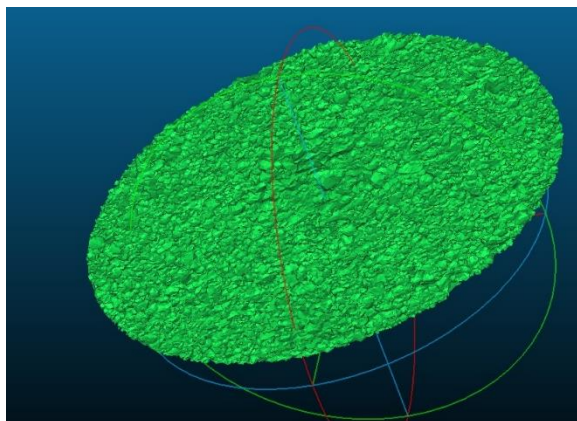


33. ábra: Szegmentálás

A képen látható állapot, azért jöhet létre, mert a szegmentálás során egy határoló felületet kell megadni, amely átmetszi a testet és így alul felül érzékelt pontok megtartásra kerülnek az alap testből kivonva. (34-35. ábra)



34. ábra: Kivont modellfelület



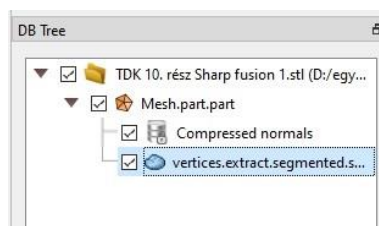
35. ábra: Kivont hasábfelület

Ezért kell a harmadik lépés, a szegmentációnál, ahol az alsó részt, amely számunkra nem szükséges, sőt igazából az a rész nem is létezik, mert azt a 3D megalkotó szoftver tette oda, hogy be tudja zárni az alakzatot, azt is el kell távolítani.

Miután elvégeztük a szegmentálást és csak az a felület maradt meg az alakzatból, amellyel mi a mérés szeretnénk végezni, így már le tudjuk róla választani a pontfelhő réteget, amelyet a már említett módon képes előállítani.

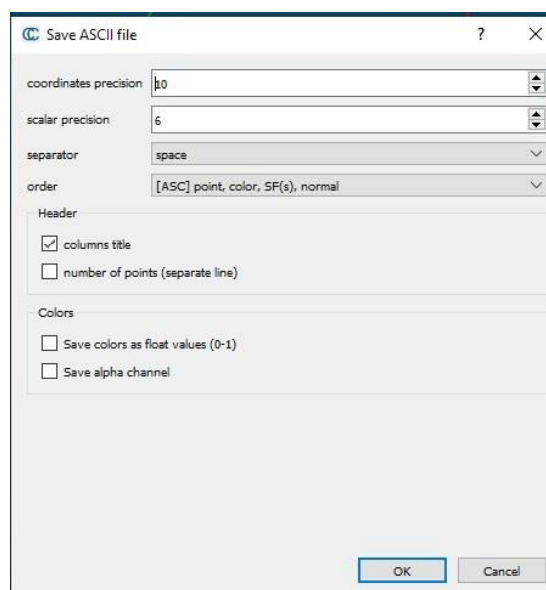
A pont felhőt az alapfájlról képes leválasztani a szoftver, melyet ezután akár txt formátumban tudunk exportálni, amelyek adatsornak a beolvasására már az Excel is alkalmas.

Érdemes megjegyezni, hogy az exportálási folyamat során tudunk hozzáadni különböző adat megnevezéseket, melyek a mi feldolgozási munkálatainkat könnyítik meg, ilyen például az oszlopoknak a neve, hogy melyik oszlop melyik koordinátát tartalmazza vagy esetleg színes modell esetén zárójel, melyet így mi nem használtunk a színeknek az RGB kódját is itt képes tárolni. (36. ábra)



36. ábra: Adat megnevezések

Ezután következhetett az Excelbe importált adatok matematikai feldolgozása. (37. ábra)



37. ábra: Importálás

Numerikus adatok feldolgozása

A pont koordinátákból kapott numerikus adatok feldolgozása Excel segítségével történik.

A beolvasott x-y-z koordinátákon első körben néhány alpműveletet és tulajdonság beállítást hajtunk végre. Ilyen például a kiterjesztett növekvő soha rendberendezése a Z koordinátáknak. Erre azért van szükség mivel minden mérést hiba terhel ezért a mérések felső öt százalékát ami a beszkenelt területnek a felső határ rétegét jelenti azt egyszerűen levágjuk nem kezeljük veszteségként tekintjük a későbbi számításokban nem is foglalkozunk vele. További vizsgálatokkal szeretnénk azt kideríteni, hogy ez a levágottnak tekintett adatok mennyiségének százalékos értéke hol van. Az 5% levágás érdemben nem befolyásolta jelentősen a Σz értékeinket ezért számoltunk azzal.

X	Y	Z
255,20784	-293,9203186	-11,68994999
254,9263	-294,338501	-11,6550293
255,2986603	-295,2861328	-11,58499432
255,9940033	-293,6467896	-11,56509304
254,1550293	-294,3552856	-11,54789543
255,9274597	-295,5934143	-11,5429821
257,2384033	-295,4616394	-11,51717281
254,6919708	-294,2455139	-11,50255108
257,1273804	-293,8655396	-11,48871422
256,87854	-294,5013733	-11,46978188
255,1063232	-292,7850342	-11,42526245
252,8029938	-293,5553284	-11,42146206
256,0801392	-293,1090088	-11,40860176
254,5811768	-294,7081909	-11,40526199
254,5486298	-294,3113098	-11,34759331
254,3780365	-294,4416809	-11,34466457

2. táblázat Koordinátaadatok mintatáblázat

A koordinátaadatoknak a beállítása után megkeresve a legnagyobb és a legkisebb értékű koordinátát, és vagy a legnagyobbat abszolút értéket hozzáadni mindegyikhez, vagy a legkisebbet kivonva mindegyikből előjelhelyesen, egy előjelűvé tesszük a rendszert a lényeg az, hogy valamelyik végpont 0 értékben fusson ki. Erre azért van szükség, hogy a beszkenelt pontok biztosan a koordinátasík alá, egy ténnyedbe kerüljenek, mivel így biztosítható, hogy a koordinátasík éppen érinti a test legfelső pontját.

Max Z	1,31248486	mm
Min Z	-7,589949131	mm
Átlag	0,96282549	mm
Darab	82670	db
5% levágás	78537	db
szabv.hom.térfogat	25000	m3
számolt átmérő	363,6480554	mm
d30 kör területe	70685,83471	mm2
Egység pont	1,111071268	db/mm2

3. táblázat Leszűrt adatok

Összegző táblázatban összegyűjtve a kiszámolt adatokat a következő adatokat kapjuk.

Teljes terület					
Szabványos MTD érték [mm]	Relatív mélység [A/MTD]	Számolt átmérő	Hány százaléka a valósnak	Átlag mélység scannerből	Ponstűrűség [db/mm2]
1,294666798	3,680597664	163,46203	1,042487419	4,765147592	1,111071
1,399400155	2,602363053	186,98215	1,239934708	3,64174726	1,222749
1,159917943	3,008759373	191,0063	1,15315857	3,489913984	1,204796
1,148251501	4,539872034	156,28408	0,938431769	5,212914876	1,241225
0,610676947	3,095104853	259,54437	1,136545494	1,890109183	1,032074
0,608232834	4,161897728	224,27168	0,980476202	2,531402848	1,100532
0,65942773	3,730343496	227,50819	1,035010269	2,459891943	0,608934
1,607053974	4,128120407	138,53632	0,984359683	6,634112304	0,888
1,057076437	3,854718332	176,76877	1,01854664	4,07473192	1,104252
0,753472997	4,646460184	190,70413	0,927605676	3,50098228	1,109501
1,104827625	3,374718678	184,79449	1,088707483	3,728482421	1,018082

4. táblázat Digitális mérések főbb jellemzői teljes terület esetén

Ezek az adaok a teljes beszkenelt terület koordinátaiból kinyert adatokból számoltak

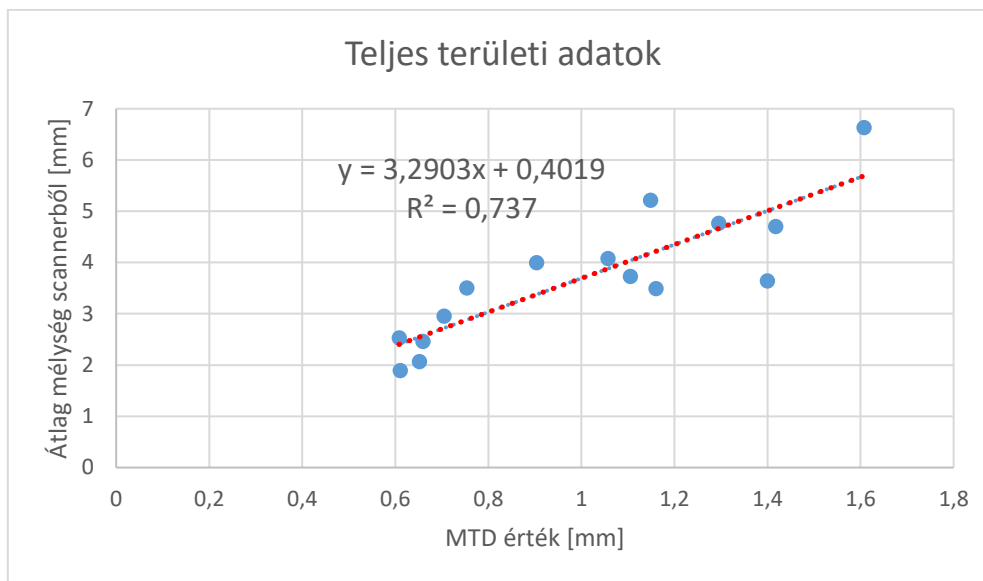
d=30cm henger terület					
Szabványos MTD érték [mm]	Relatív mélység [A/MTD]	Számolt átmérő	Hány százaléka a valósnak	Átlag mélység scannerből	Ponstűrűség [db/mm2]
1,294666798	2,6029008	194,3781	1,239656	3,369889216	1,1110713
1,399400155	2,4910156	191,1155	1,267344	3,485927588	1,2227485
1,159917943	2,5645651	206,8876	1,249039	2,974685063	1,2047958
1,148251501	3,0318665	191,2412	1,148337	3,481345215	1,2412246
0,610676947	2,6226816	281,9529	1,234672	1,601611197	1,0320738
0,608232834	3,7501362	236,2635	1,032902	2,280955958	1,1005317
0,65942773	2,9495761	255,8537	1,163963	1,945032294	0,6089339
1,607053974	3,4693389	151,1181	1,073759	5,57541483	0,8879997
1,057076437	2,9450823	202,2335	1,165275	3,113177075	1,1042524
0,753472997	3,463194	220,8934	1,07445	2,609423157	1,1095009
1,104827625	2,3377224	222,0298	1,308078	2,582780295	1,0180823

5. táblázat Digitális mérések főbb jellemzői d=30cm terület esetén

A színekkel különböző típusú aszfaltminták kerültek jelölésre.

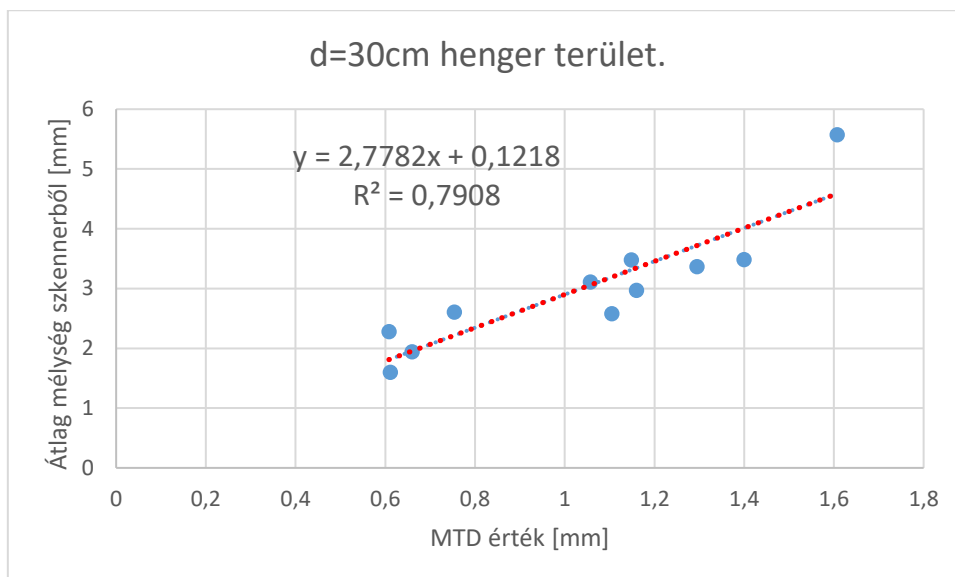
Ezután a kapott eredményeket egy koordinátarendszerben ábrázolva kivehetővé válik, hogy a hagyományos és a szkennelt eredmények közt kialakult kezdeti lineáris összefüggés kimutatható.

A legjobban jellemezni az R^2 értékkel, (mely jelentése, hogy az x érték milyen varianciával hat az y értékre) lehet az elkészült eredményeket melyet egy közös koordinátarendszerbe helyezett MTD érték és Szkennerből származó átlagmélység adatok szolgáltatják a pontok koordinátáit.



A nagy területre kiterjedő adatok $R^2=0,74$ os egyezőségi szintet mutat az R^2 értékében melynek jelentése, hogy két változó szórásnégyzet értéke hányad részben oszlik meg egymással, tehát mekkora a közös rész. Mondhatni ez egy olyan mérőszám ami megmutatja milyen szoros a lineáris kapcsolat a két változó között.

A helyzet javul ha szűkítjük a területet, ezért is éltünk azzal a módszerrel, hogy a teljes modellből a szabvány által megengedett 25cm^3 –hoz tartozó maximális terület nagyságú metszéket önnálló összehasonlító vizsgálatként kezeltük őket. Ebből lettek a $d=30\text{cm}$ hengerek.



Ezek az adatsorok már közel $\sim 0,8$ -as R^2 értékkel rendelkeznek, mely jelentős javulásnak tekinthető, annak ellenére, hogy csak egy szűkebb de egységes területet vizsgáltunk, nem módosítottunk sem a pontsűrűsége sem az elkészítési módon.

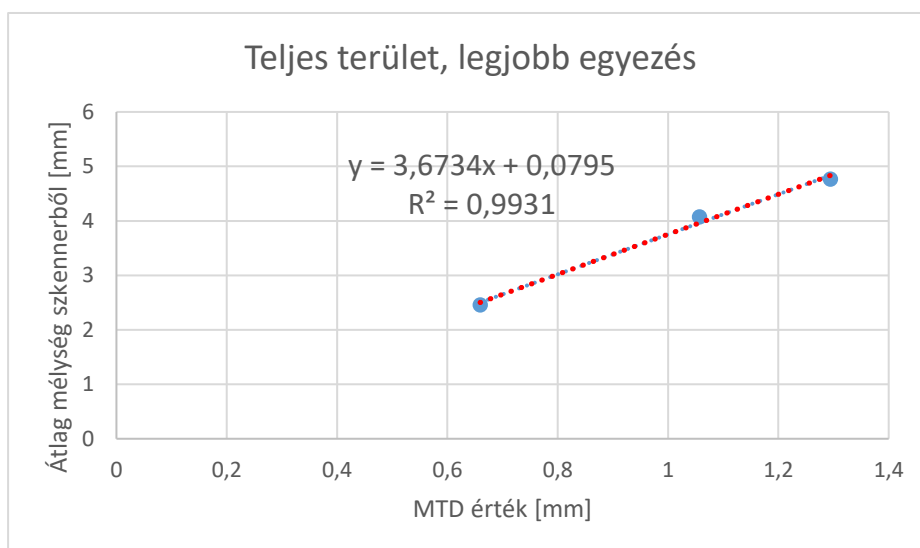
Vizsgálati módszereink érdemességének alátámasztására kiválasztottunk néhány adatsort melyek közös jellemzői a közel egységes pontsűrűség/átlagmélység hányados

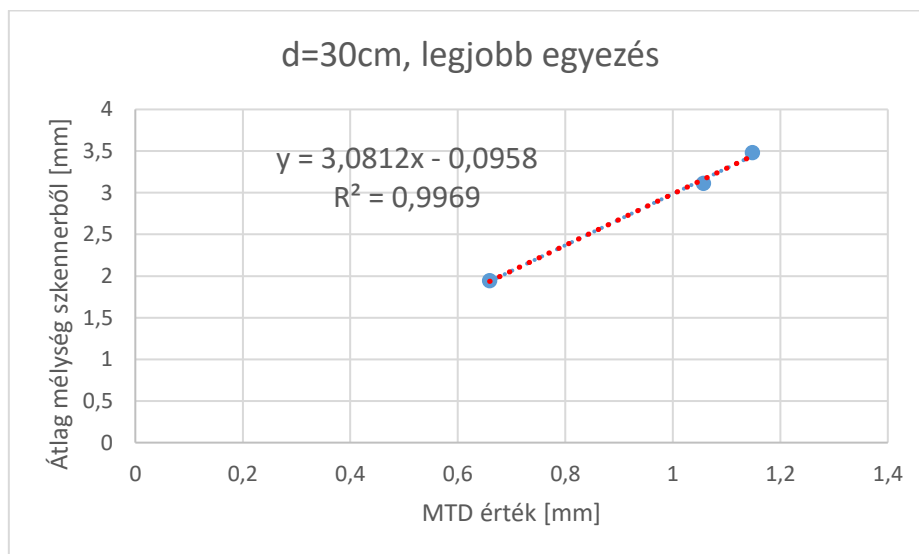
Teljes terület		d=30cm	
Sorszám	[db/mm]	Sorszám	[db/mm]
1	0,23317	5	0,356535927
10	0,24754	10	0,31307135
12	0,271	12	0,354702716

6. táblázat Felület-Pontsűrűség aránypárok

Azért fordulhat elő, hogy nem azonos mérések kerültek a legjobbnak értékelhetők közé, mert a területnagyság megváltozásával az átlagmélység is megváltozott a legtöbb mérés esetében.

Ezen esetekben a koordináta-rendszerek a következőképpen alakultak.





Látható, hogy a mérésekből kivehető több mint $R^2=0,99$ -es előre jelezhetőségű egyezés a hagyományos vizsgálati módszer és a digitális módszer közt, azonban ezek pontosítása ezzel az eszközzel még kutatásaink tárgyát képezik aktívan.

Kiterjesztett vizsgálatok

Fúrt magmintákkal való összemérés

Kutató munkánk végzése során lehetőségünk adódott nagyobb mennyiségű fúrt magminta bevizsgálására is. Első körben azt fogalmazódott meg bennünk, hogy elegendő az hogyha egy referencia síkot adó testtel együtt beszkenneljük ezeket a fúrt mintákat. Itt az első probléma az a referencia sík meghatározása volt. Ehhez egy etalon alaktartó testként mi egy tömör betonból készült elemet alkalmaztunk, amelynek feltételezhetően szemrevételezés alapján a felülete kellően sík.



38. ábra Vízszintezett szkennelés

Ezek a szkennelések mivel már nem olyan nagy felületről van szó, a laborban is elvégezhetők, egészen pontosan egy forgótárgyasztal alkalmazásával. Ezt a forgó tárgyasztalt saját magán nincs lehetőségünk vízszintes pozícióban hozni állítható lábakkal és vissza ellenőrizni szelencés libellával.

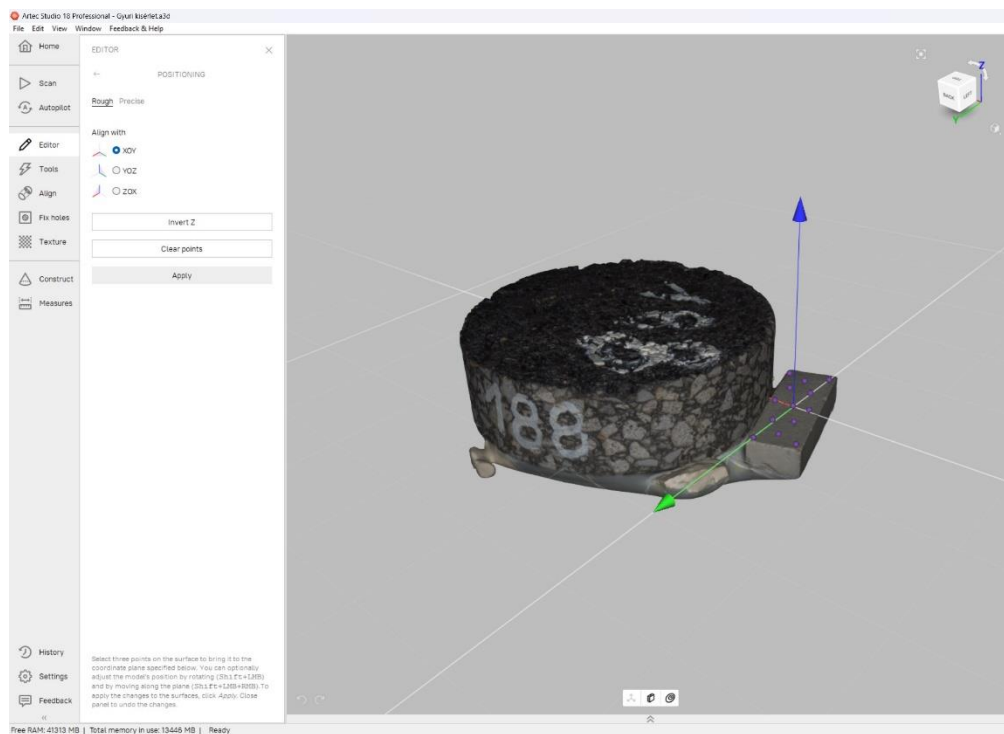


39. ábra: Artec Turn Table

Emiatt egymásra merőlegesen a felületén kettő irányban egy kézi vízmértékkelt vízszintes felületet állítottunk be. Így a forgó síkot, amelyen a tárgyasztal forog, vízszintesnek tekintettük. Erre az általunk síknak beállított felületre helyeztük rá a beszkenneledő magmintánkat, amely mellé elhelyeztük az általunk etalonként használt betont testet.

FONTOS: Kizáró ok lehet a mintán hogyha már maga a mintának a felülete is tartalmaz lokális deformációkat, amelyek utólagosan sem hozhatók már helyre a vízszintes felületen történő beszkenneledő mintának a vízszintezésével, (értve ez alatt, ha van egy hajlás a szkennelendő minta felületében.)

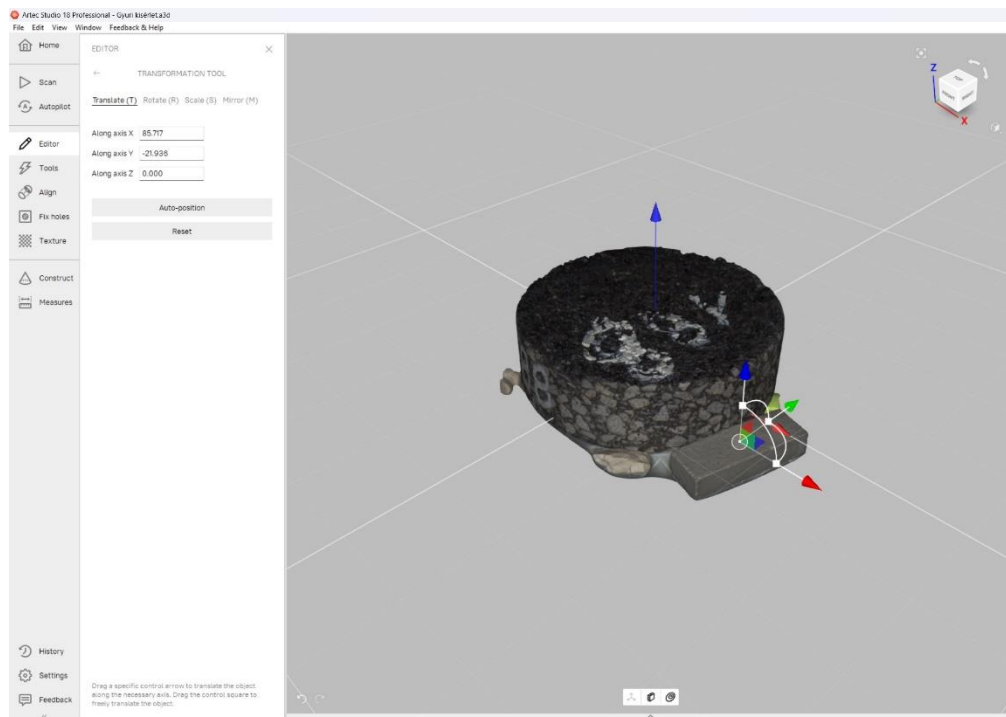
Tehető fel a kérdés, hogy miért pont így határoztuk meg a referenciasíkot a modellhez. Az általunk megalkotott matematikai háttér nyomán a modellnek nincs szüksége a teljes z magassági értékre a pontok koordinátaiból, hanem csak az általunk hasznosnak tekintett zóna legkisebb és a legnagyobb z érték közötti relatív magasság különbségekkel dolgozunk. az egyedüli nehézség, amit okoz ez a fajta vizsgálati módszer hogy itt a henger oldalát alkotó palást is pontok halmazából áll és ezeknek a levágása valamint a központossá tétel az ami a későbbiekben a nehézséget okozza.



40. ábra: A koordinátarendszer helyzete

Tehát ebben az állapotban az egyik probléma, hogy a koordináta rendszerünknek az origója az nem a testünknek a közepén található, hanem az általunk pluszba beszkennelet segédfelületen, ami a számunkra hasznos testen kívül eső pontot ad. Ezt valamelyest van lehetőségünk az alkalmazásban

a transzformáló eszközökkel korrigálni mely során szemre meg tudjuk mondani azt, hogy középbe tettük valamelyest az origóját. Meglehetne adni pontosan szám adatokkal is ezeket az eltolás értékeket, itt azonban még nem ismerünk koordinátákat.



41. ábra: A koordinátarendszer transzformálása

Látható, hogy a kis nyilak mutatják az eredetileg beállított origó helyzetét, valamint a nagy nyilak (melyből képen csak a kék Z irányt mutató látszik) amik a transzformálás utáni helyzetet mutatják. Ennek a precíziós végrehajtásához már szükség van az Excel program használatára, amihez betöltve a testet adó pontoknak a koordinátáit képesek vagyunk rászűrni koordináta egységeként minimum maximum értékekre.

//X	Y	Z			
-26,29882813	50,52631378	25,82038116			
-24,63610268	49,30268478	25,82043076			
-26,73338699	-51,22143936	25,82050514		Min	Max
-25,33338547	49,71244431	25,82061195	X	-77,28532410	70,56543732
-25,24489784	49,55727005	25,82079124	Y	-75,47832489	72,42391205
-28,21438408	-50,40747833	25,82100105			
3,71762085	28,58253670	25,82100677			
-28,90489197	52,08455658	25,82100677			

7. táblázat: Példaadatsor

A hagyományos matematikai koordináta rendszert alapul véve, ahol az y a függőleges az x a vízszintes tengely láthatjuk, hogy az általunk beszkenelt minta, jelen példánkban egy kicsit balra és egy kicsit lefele tehát dél-nyugati irányba helyezkedik el a teljesen központos helyzethez képest.

Ez egyszerűen korrigálható a minimum és a maximum értékek abszolút értékének az összegzésével majd pedig az átlagukat véve megkapjuk, hogy mi lenne azaz érték, amit ha felvesz a minimum és a maximum akkor pontosan az origótól egyenlő távolságra helyezkednek el x y z irányban a koordináták.

	Min	Max	Korrigált	Külömbség
X	-77,28532410	70,56543732	73,92538071	3,35994339
Y	-75,47832489	72,42391205	73,95111847	1,52720642

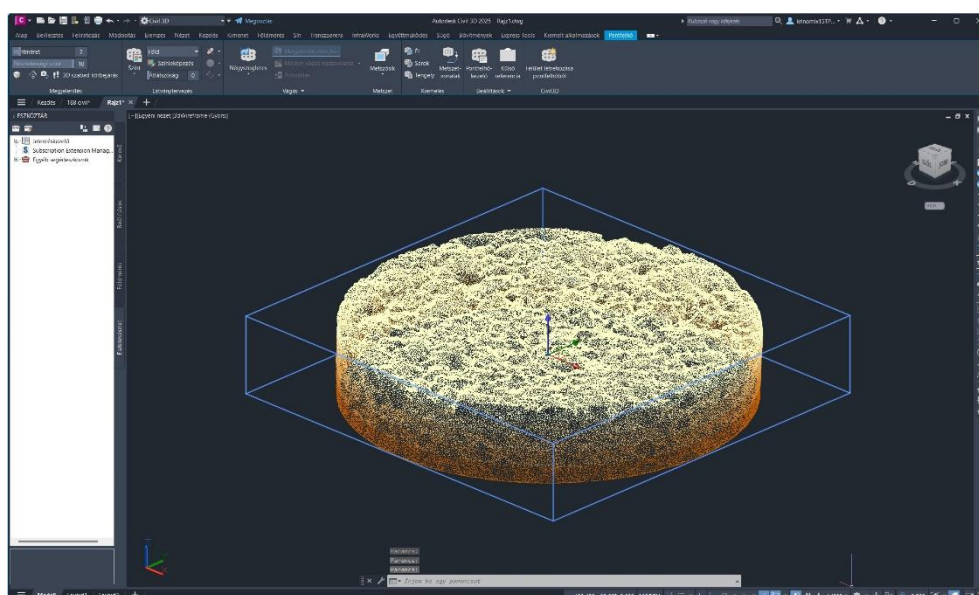
8. táblázat: Eltérés a koordináták közt

Ezekkel az értékekkel már csak értelemszerűen módosítani kell az eddig meglévő eredményeinket és az új eredményeket tekintjük ezután a testet alkotó pontok koordinátáinak.

//X	Y	Z	X mód.	Y mód.
-26,29882813	50,52631378	25,82038116	-22,93888474	52,05352020
-24,63610268	49,30268478	25,82043076	-23,10889626	49,30268478
-26,73338699	-51,22143936	25,82050514	-26,73338699	-51,22143936
-25,33338547	49,71244431	25,82061195	-25,33338547	49,71244431
-25,24489784	49,55727005	25,82079124	-25,24489784	49,55727005
-28,21438408	-50,40747833	25,82100105	-28,21438408	-50,40747833
3,71762085	28,58253670	25,82100677	3,71762085	28,58253670
-28,90489197	52,08455658	25,82100677	-28,90489197	52,08455658
-65,67095184	-23,44517326	25,82104492	-65,67095184	-23,44517326

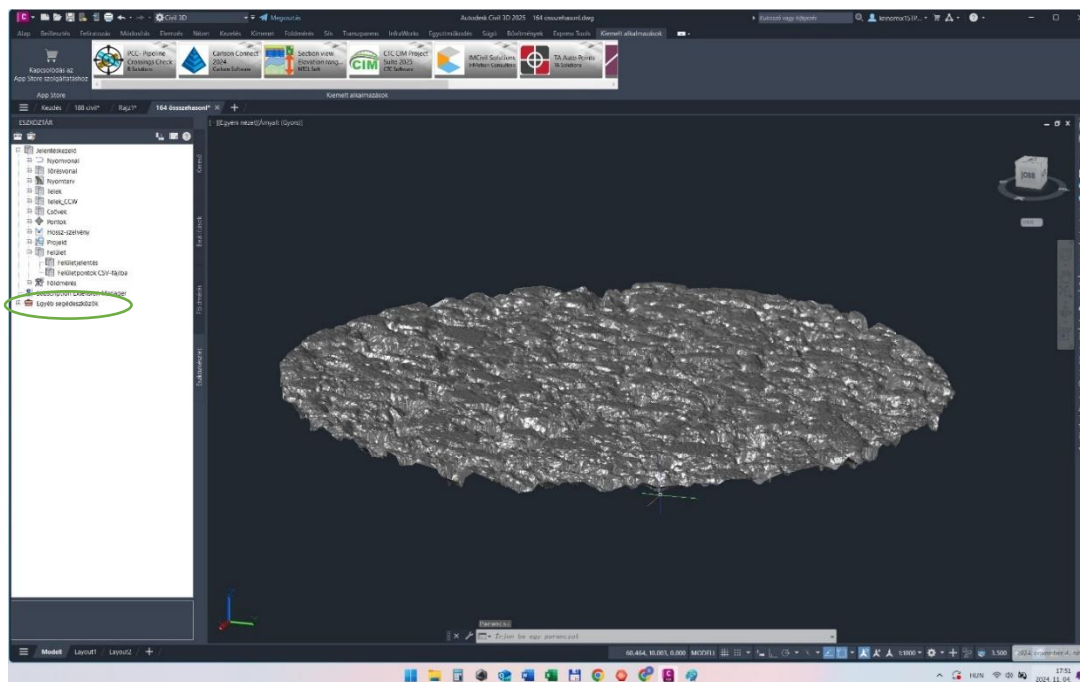
9. táblázat: Módosított koordináták

Ezeket a pont adatokat pontfelhőként betöltve van lehetőségünk a Civil 3D programban egyszerűen geometriai eszközökkel szerkeszteni. Viszont a Civil 3D szoftver nem tud pontfelhőt kiexportálni, csak az abból létrehozott felületet alkotó pontokat képes lekérdezéssel 3 tizedes pontossággal visszaadni számunkra.



42. ábra: Civilbe betöltött forma

A civil 3d-be betöltött pont felhőt a geometriai szerkesztő eszközök segítségével megszerkesztettük, vagyis levágtuk a fölösleges részt, ami a henger oldalát alkotók palástot jelenti



43. ábra: Civilben megszerkesztett magminta modell

Ezen a képen látható a létrehozott felület valamit a felület kezelő eszköz, aminek a segítségével a felület alkotóinak a pontjait a civil képes exportálni CSV formátumban, amit már Excelben lehet újra kezelni.

Easting (mm)	Northing (mm)	Elevation (mm)
-56,387	-78,618	-0,612
-56,391	-79,03	-1,007
-56,594	-78,814	-0,27
-56,167	-78,536	-1,249
-56,085	-79,23	-1,29
-56,476	-78,615	-0,416
-56,325	-79,022	-0,793
-56,795	-78,617	-0,171
-56,305	-78,63	-1,112
-56,233	-78,517	-1,153
-55.91	-78.624	-1.27

10.. táblázat: Példaadatok Civil 3d-ből



44. ábra: Civil 3d logó

Mivel a civil 3D 3 tizedes pontossággal állította elő nekünk a felületeket így adódhat a kérdés, hogy mennyi adatot veszítettünk az adatok egyszerűsödése során? A rövid válasz az, hogy elenyésző

menyiséget, viszont az összehasonlítás igazolásaként egy referenciafelület nyers adatait és a civilből kiexportált ugyan azon felület csak „rontott” adatait összehasonlítottuk és százalékosan kimutatott eltérést értékelve jutottunk arra a következtetésre, hogy elenyésző mennyiségű adatot veszítünk. Az összehasonlító táblázat az alábbiak szerinti eredményt hozta.

Százalékos eltérések		
99,95%	eltérés a db-ben	
X	Y	Z
99,95%	99,95%	99,88%

11. Táblázat: %-os eltérések a Civil export ált és a nyers adatok közt

A Z értékekben való eltéré nagyobbodását az okozza, hogy a Z értékek az X és Y értékekhez képest egy nagyságrenddel kisebb nem cm-ben, hanem mm-ben mérhetők és „a kicsiből egy kicsit kevesebb is több”

Elkészült a modellünk, az adatai már számunkra kezelhető állapotban vannak és ismerős környezetben vannak. A következő kérdés az volt, hogy mi adja a pontszerű összehasonlításunk alapját ebben az esetben.

A hagyományos (homokmélység) MTD érték mérés visszaalakítása fűrt magmintára alkalmazva

Hagyományos térfogat alapú homok mélységes makro textúra vizsgálatot elképzelésünk szerint visszaalakítottuk volna nem a fix térfogat elvén, hanem a tömegén alapulva.

Mivel a vizsgáló homoknak, mint minden szemcsés anyagnak van egy adott térfogat súlya. az egységesen 25 köbcenti-hoz tartozó térfogatsúlyt kimérve és a 15 cm-es fűrt magminta, felületére kiszórva szétterítettük. A következő alapképletben a V (térfogat) tag meghatározását változtattuk, mely az alábbiakban kerül bemutatásra.

$$MTD = 4 V / \pi D^2$$

Mivel az összes mintanyagot nyilván nem lehet beledörzsölni a kis felületű magmintánkban ezért van a mint anyagnak lehulló része.

A D átmérő értéke pedig a magminták szabvány szerinti lemérésével történik.

Ezt a lehulló részt a továbbiakban visszamaradó anyagnak tekintjük. A visszamaradt anyagot egy tálcán összegyűjtve újból lemérlegeljük és ezzel megkapjuk azt, hogy mennyi anyag az, amit nem sikerült beledörzsölnünk és ha ezt a mennyiséget kivonjuk a kezdeti induló tömegből akkor megkapjuk azt hogy mennyi van a mintában.

Az ismert térfogatsúly alapján a minta tömegéből kiszámolhatjuk a térfogatát a kiszórt mennyiségű homokunknak. 25000mm^3 térfogatú minta tömege úgy alakult, hogy 41,154g lett, ami alapján $1,6465\text{g/cm}^3$

Tehát a képletünkben a V tag az $\frac{\text{Bedörzsölt tömeg}}{\text{Térfogatsúly}}$ hányadosként értelmezhető és használható.



45. ábra: Visszamérés elvű hagyományos makro érdesség vizsgálat

Ebből azt kaptuk a vizsgált minták alapján az alábbi példán szemléltetve:

Induló tömeg	Lehullott tömeg	Átlag átmérő
41,152	13,862	149,61
Visszaszámolt MTD érték		
	0,942881362	mm

(a feltüntetett táblázatban a tömegek gramm-ban, az átmérő pedig mm-ben értelmezendő)

MTD	Scan átlag	Terület [mm ²]	Átszámolt MTD	Eltérés
0,94	7,645595422	17671,45868	2,708154712	187,22%

12. táblázat: Visszamérési elvű makró érdesség mérés példa adatsora

Ez az eltérés nem egyedi a mérési eredmények között, éppen ezért ezt a megoldási módszert jelent TMDK dolgozatunkban nem taglaljuk tovább mivel még jelentős fejlesztésekre szorul. Mind a meghatározásának a módja és ezzel együtt a háttér adatoknak a feldolgozási módja is. Irányvonal már van meghatározva, hogy valószínűleg az átalakított képlettel kell, külön korrelációt keresni mivel az fix térfogatra van megalkotva. (megjegyeznénk azt, hogy a 30 cm feletti átmérővel rendelkező homokminta terület esetén a szabvány megengedi lefelezni, tehát egész számú osztalékként kezelni a térfogatot) Az átmérő az, ami különböző lehet az alap képletben viszont jelen esetünkben nekünk pont az átmérő az ami fix a magminta jellegéből adódóan

RSP mérőgerenda eredményeivel való összemérés

Dynatest RSP MK3 – útvizsgáló gerenda

Dynatest Mk-III útfelület-profilométer különféle mutatókat és jellemzőket mér, beleértve a hosszanti profilt, a nemzetközi érdességmutatót (IRI), a menetszámot (RN), a keresztirányú profilt, a nyomvonalat, a makró textúrát és a geometriát (keresztesés, lejtő és görbületi sugar).

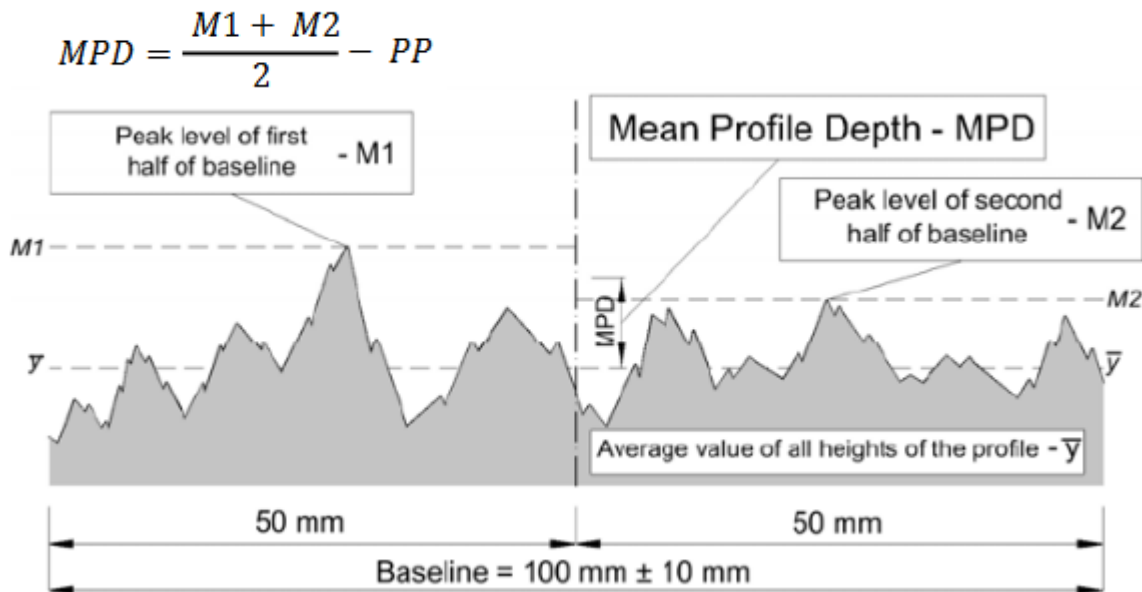
Bármelyik, vagy egyszerre mindkét kerékpályán haladó lézerefény alkalmas lehet makrotextúra mérésére, annyi változtatással, hogy kisebb lézerefény átmérőt és nagyobb frekvenciájú mintavételt alkalmaz. A Mark III esetében a középilonali lézerszenzor textúraképessége egy opcionális választás. A rögzített makró textúra értékek megfelelnek a megállapított szabványos 'Mean Profile Depth' (MPD) és Root Mean Square (RMS) szabvány által előírt feltételeknek, azonban ezeket statisztikai alapon kell értelmezni. Mindkét statisztikát a rendszer folyamatosan számítja, és akár 100 mm-ként is kérhetőek. Az átlagos profilmélység mérése az ASTM E1845-01 „A burkolat makró textúrájának átlagos profilmélységének kiszámításának szabványos gyakorlata” és az ISO/CD 13473-1 „A burkolati textúra jellemzése felületi profilokat használva” szerint történik.



46. ábra: Mérőgerenda

Az MPD paraméter számításának a módszertana a felületi profil nagy felbontású lézeres mérésén alapul, amely a lézerefény hullámhosszúsága és amplitúdója meghatározása után a szükséges felbontással rögzíti a szabálytalanságokat a pályaszerkezeten. A következő lépés a mért adatok feldolgozása és az MPD kiszámítása. Ez a paraméter kiszámítás, egy meghatározott eljárás alapján és az eredményeket átlagértékként értékeli, a mérőeszköz kezelője által meghatározott intervallumban. (ez lehet az akár legrövidebb 10cm-es szakasz)

Az átlagos profilmélység (MPD) a két csúcs átlagából kivonjuk a profil átlagát, (utóbbi általában nulla a nagyfrekvenciás szűrés vagy a meredekség elnyomása következtében). A profil csúcshintjét a ketté osztott szakasz mindkét oldalán azonosítani kell. Mindkét rész legmagasabb csúcshintjét meg kell határozni és a két csúcshintjet számtani átlagolással kell meghatározni. Az MPD paraméter kiszámításának elve a 47. ábrán látható.



47. ábra: MPD elve

Az egyes profilok átlagos profilmélységét (MPD) a következő számtani értékek alapján határozzuk meg két csúcshozát átlaga mínusz az átlagos (profil) szint.

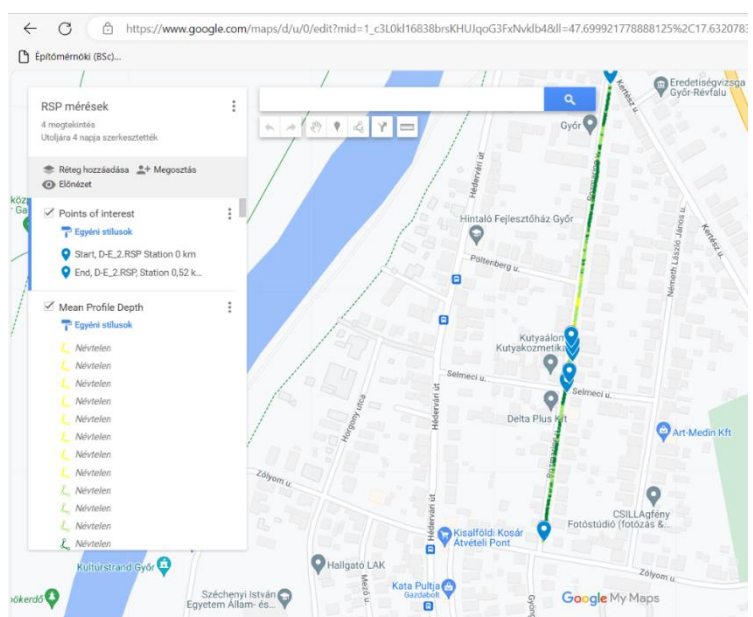
ahol:

- M1 - az alapvonal hosszának első felének csúcshozát [mm],
- M2 - az alapvonal hosszának második felének csúcshozát [mm],
- PP - a profil átlagos szintje [mm].

Az MPD adatokkal való össze-méréshez, egy az egyetemünk-től nem messze található kis forgalmú utcát választottunk, mivel az útlabor által biztosított eszközöket biztonságosabbnak ítéltük egy ilyen helyen használni ami nem labor környezetként tekinthető.

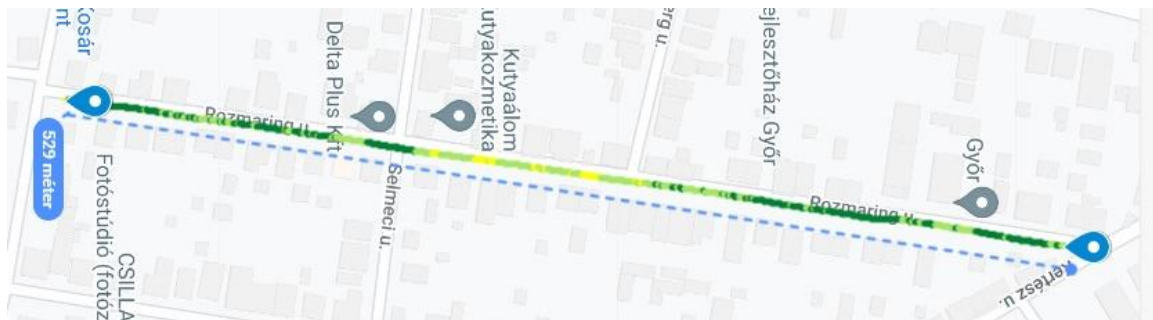
Az utcában a jól megválasztott időpontban szinte órákig csak egy-két jármű haladt el, így zavartalanul végezhet-tük a méréseinket.

(48. ábra)



48. ábra: Vizsgált helyszín

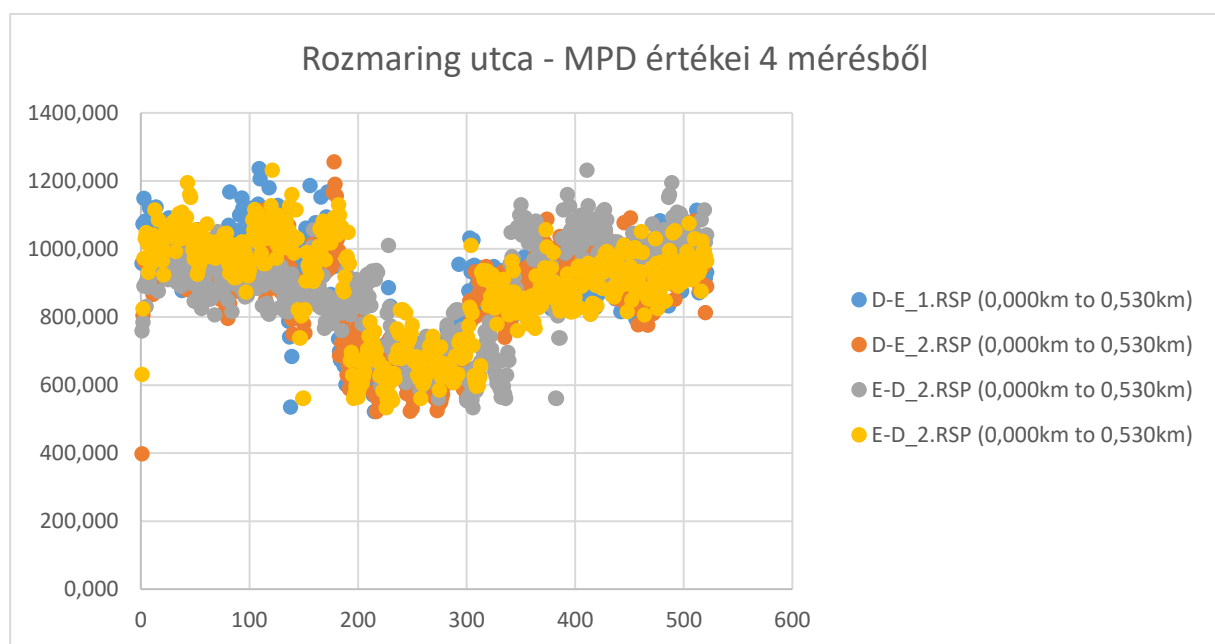
Mivel az RSP mérőgerendának az egyik sajátossága, hogy legalább 100 méter hosszban képes értékelhető eredményeket adni, és ezekből is legalább 5 eredmény kell, tehát legalább 500 méter kell. (49. ábra)



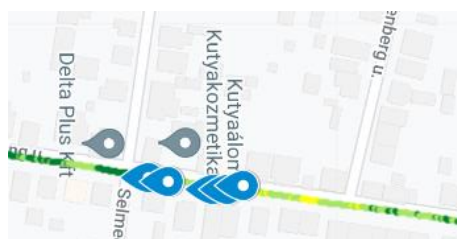
49. ábra: 500 méteres szakasz vizsgálata

A beforgatásra csak a jobb láthatóság miatt van szükség, de így kifejezetten jól látható, hogy a felmért szakasz meg van legalább 500 méter hosszú, és jól kivehetőn 3 részre tagolódik.

Ezek a vizualizált adatok a mérési eredményeket Excelben ábrázolva is jól kivehetőek. (50. ábra)



50. ábra: Excel-ben ábrázolva



51. ábra: A kiválasztott 5 keresztmetszet

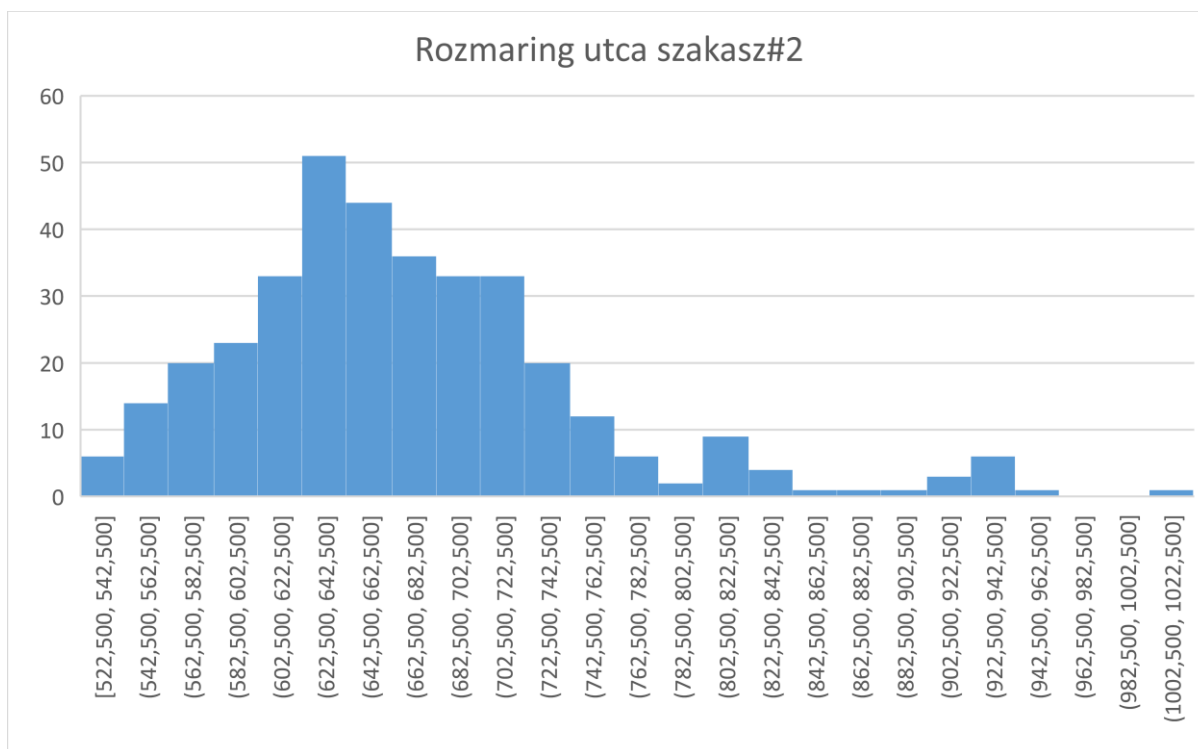
Ehhez mérten igyekeztünk egy mérési egységből kiválasztani az általunk vizsgált összehasonlítási szakaszt melyen 5 keresztmetszetet kijelölve, keresztmetszetenként 2 pontban végeztük el az összehasonlító mérésünket. (51. ábra)

Elsődlegesen az RSP mérőgerenda eredményeit szeretnénk bemutatni.

Fontos tisztázni, hogy az RSP mérőgerenda által meghatározott MPD mérőszám egy statisztikailag meghatározott érték. Mint ahogyan az az előbb leírtakon is itt látszik legalább ötször 100 méteres távolság adatai alapján ad nekünk egy jellemző értéket a burkolatunknak a átlagos profil mélységére.

Ezt úgy csinálja az eszköz, hogy minden keresztmetszetben ahol elhalad, a gerenda legalább három pontban mér a lézersugarával, tehát egy keresztmetszetnek tulajdonképpen nincs térbeli kiterjedése, mint az általunk használt felület szkennelrel előállított méréseknek, hanem csak egy-egy pontbeli mérés csatolható hozzá.

Ezért az összehasonlítás alapja is statisztikai jellegű kell, hogy legyen, amihez a pontosítás kedvéért három külön szakaszra válogattuk az adott utunk eredményeit. Tehát mi a második szakaszra vonatkozó eredményekkel fogunk foglalkozni. (52. ábra)



52. ábra: 2. szakasz vizsgálata

Ezen a diagrammon a rozmaring utca általunk választott szakaszainak az értékének a normál eloszlása látható. Az adatok nyers fájlként lekérhetőek a szoftverből, ami azt Excel táblázatban

képes nekünk feldolgozható állapotba exportálni. Ezeket az adatokat a gép a saját beállítási értékeivel kezeli és rögzíti, így nem szabad megtéveessen senkit, hogy az alsó, vagyis vízszintes tengelyen feltüntetett mértékadó keresztmetszeti méretek százas és ezres nagyságrendben feltüntetett számok, ugyanis azok mikró méterben (μm) kell értelmezni. Tehát a sor elején

látható 522,500-542,500 μm érték az 0,5225-0,542,500 mm értéket jelent.

Statistic	
Mean	670,222222
Standard Error	4,27810832
Median	656,5
Mode	612
Standard Deviation	81,1713982
Sample Variance	6588,79588
Kurtosis	2,24643841
Skewness	1,20455391
Range	488
Minimum	522,5
Maximum	1010,5
Sum	241280
Count	360

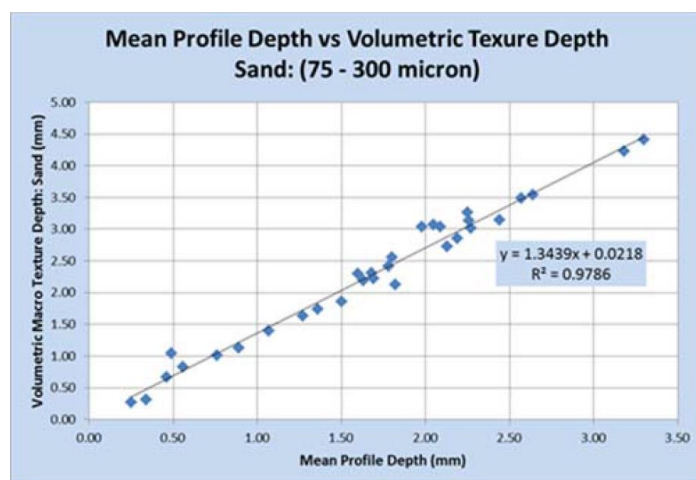
Statisztikai elemzést lefuttatva a mérési eredményeken, kivehető a legfontosabb érték számunkra, ami a MEAN vagyis átlaga a méréseknek, ami jelen esetben 670,22 μm , tehát 0.6702mm. Ez az, amit az MPD értékként feltüntetve kapunk meg a mérést végrehajtva az adott szakaszra.

Ez azonban nekünk még csak egy mérőszám, azonban ez nem azt jelenti, hogy a hagyományos homok vagy üveggyöngyön alapuló méréseknek is ugyan ez lenne az eredménye.

13. táblázat: Statisztikai elemzés

Több nemzetközi tanulmány is foglalkozott már a hagyományos térfogat alapú és a digitális átlagos profilmélység (MPD) értékek közti korreláció keresésével. A legrégebbi ilyen általunk kézre kerített cikk egészen pontosan 2004-ből származik, de mi nem ezt használtuk mivel vannak ezeknél jóval frissebb rendelkezésre álló adatok, amelyek más eredményt is hoztak.

Az általunk feldolgozott irodalomból az derül ki, hogy egy megadott egyenlettel nagyjából 0,98-as korrelációs értékkel megbecsülhető az egyik változóból a másik. (53. ábra)



53. ábra: Korreláció meghatározása

Ezt a szerző úgy összegezte a végére a kutatásának, hogy az MPD értékből meg lehet határozni az ETD értéket, ha azt egy 1,35-ös szorzóval megszorozzuk. Lássuk mit is tesz ez a megállapítás a mi esetünkben:

$0,6702 \cdot 1,35 = 0,9048 \text{ mm}$ az ETD értékünk.

Az ETD érték tükör fordításban a becsült textúra mélységet jelenti tehát az MTD érték MPD-értékből származtatott becsült értéke.

Ez az az érték, amellyel mi már tudunk foglalkozni. Viszont az általunk elvégzett kutatómunka során felfedezett megannyi egymásnak ellentmondó tudományos értekezés olvasása során, arra jutottunk, hogy muszáj mi magunknak is ezt a módszert kipróbálnia, hogy milyen megbízhatósági szinten képes működni.

Ennek okán elvégeztük az adott szakaszon 5 keresztmetszetben a hagyományos vizsgálatot a homokmélységgel, valamint ezeket a helyeket korreláció keresése szempontján be is szkenneltük, azonban azt egy kicsit később tárgyaljuk.

A hagyományos makro érdesség vizsgálatot a már korábban leírtak alapján elvégeztük, mely során keresztmetszetenként az alábbi eredményeket kaptuk:

Vizsgálati hely	MTD	Átlag
1_1	0,9063	0,9165
1_2	0,9635	
2_1	1,2184	
2_2	1,0437	
3_2	0,8674	
4_1	0,6479	
4_2	0,7685	

14. táblázat: MTD mérési eredmények Rozmaring utca

Ezen mérési adatok átlaga pedig a következőképpen alakult: 0,9165 mm, amit ha összehasonlítunk az előzőekben taglalt ETD értékkel azt kapjuk hogy 98,71%-ban egyezik az ETD és az MTD értéke, ilyen „csekély” elvégzett mérés mellett is. Valószínűsíthető, hogy a több mérési eredménnyel való összehasonlítás, csak még közelebb hozná, egymáshoz ezt a két értéket. Ezt igazolandó, hogy van 1 db mérési eredményünk (0,87), amelyet azonban a digitális modell megalkotása során fellépett hiba miatt kihagytunk a felsorolásból, mivel annak jelen pillanatban az akkori mérési eredményhez tartozó digitális párját már nem áll lehetőségünkben előállítani, de azt az eredményt is belefűzve az átlaga már 99% fölé kúszik ez az egyenlőségi mutató. Ez a megállapítás pedig jó kiindulási alapod biztosíthat arra, hogy a jövőben az RSP

mérőberendezés által szolgáltatott adatokkal is összehasonlítható lehessen az általunk elkezdett modern köntösbe bújtatott makro érdesség vizsgálat.

Egy kis érdekesség jelen kutatási eredményeinkből, mivel elvégeztük a Rozmaring utcában a digitális szkennelést is, és az általunk felállított ~0,8-as korrelációjú modell tesztelésére, elvégeztük a digitális vizsgálatot a hagyományos kiindulási alapokkal mellyel az alábbi eredményeket kaptuk.

MTD [mm]	SCAN MTD [mm]	Egyezés [%]
0,906279	1,0176014	112,28%
0,963524	0,7917651	82,17%
1,218413	1,3599453	111,62%
1,043654	0,8375322	80,25%
0,867371	0,7163194	82,59%
0,647936	0,5833167	90,03%
0,768475	0,8151284	106,07%

Jól látszik, hogy a 0,2-es azaz 20%-os szórási tartományon belülre sikerült az összes eredményt kiszámolni az általunk megalkotott egyenlettel, ami ennek az alapgondolatnak is a további kutatására és az abban rejlő további pozitív lehetőségek felfedezhetőségére ad bizodalmat.

15. táblázat: Modell igazoló táblázat

Összefoglalás

Összegzésként elmondható, hogy az általunk választott módszer és a hagyományos jelenleg hiteles mérési módszerek között lehet összefüggést találni.

A digitális módszer elvégzéséről elmondható, hogy kevésbé érzékeny a nagyon szeles időjárásra, mint a hagyományos homok mélységes vizsgálat. Esőben vagy nedves felületen egyik vizsgálat elvégzése sem ajánlott mivel a víz befolyásolja mind a homok elterülését, mind a szkennelt felület visszakapható részletezettségét. Az erős napsugárzás pedig vagy árnyékolást, vagy felület tükröződés gátlást igényel, mert ez is negatív irányba befolyásolja a digitális mérést.

A digitális mérés pontossága egyértelműen az egy területre eső pontok darabszámától függ, de megfigyelhető a nagyon közeli összefüggést mutató minták közt, hogy nem a legnagyobb pontsűrűségű halmazok adják mindig a legjobb eredményt, hanem egy felület/pontsűrűség hányadossal jellemezhető arányszám.

A technológia fejleszthetőségének egyik fő irányát mindenképpen a pontsűrűség optimalizálása jelenti, mivel ez jelentősen befolyásolja nem csak a modell pontosságát, hanem annak az elkészítési idejét mely túl nagy számítási kapacitású feldolgozó egységet igényel szükségtelenül nagy pontosság esetén.

A mintafelület felső síkjának a meghatározására, van egy jelenleg laborban jól használható megoldásunk, azonban, kinti területen történő szkennelés során, továbbra is gondot okoz, a sík és a síkhelyesség megállapítása.

A fűrt magmintákra való kiterjesztése a technológiának, további pontosítást igényel, mivel a térfogati elven megállapított MTD értéket kiszámoló képletet nem lehet egy az egyben csak egyenlet rendezési módszerekkel átalakítani, úgy hogy az tömeg arányosan tudja kiszámolni a vonatkozó eredményeket.

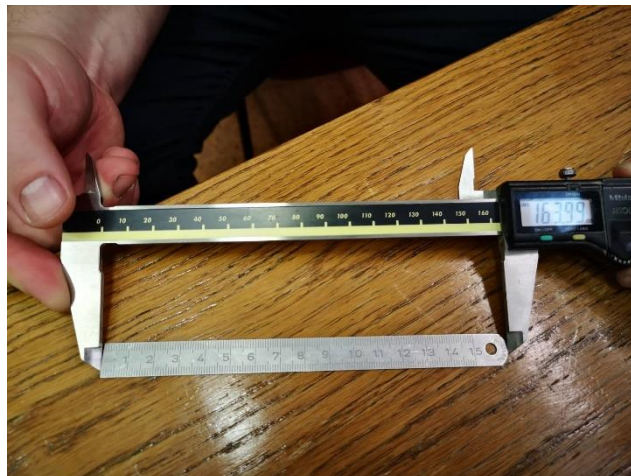
Mivel jó korreláció mutatható ki a hagyományos térfogati módszer és a digitális RSP mérőgerenda eredményei közt, így ez kijelöli azt a célt is, hogy ezen eszköz mérései és a mi digitális szkennelünk eredményei közt is korrelációt kereshetünk közvetlenül

Mellék mérések és igazolások

A méret vonalzó hitelesítése! Első körben a vonalzót 24 Celsius fokos szobahőmérsékleten mértük le 0,1század pontosságú digitális tolómérővel. Ebben a mérésben 163,99 század millimétert mértünk.



38. ábra Vonalzó hossza +60°C-n



39. ábra Vonalzó hossza +24°C-n

Ezt követően 6:00 órára fagyasztóba raktuk a hőmérőnket, amely során nagyságrendileg -20 Celsius fokra hűlt le az idő lejárta után kivettük és egy semleges hőmérsékletű felületen elhelyezve minél gyorsabban lemértük a vonalzónak a hideg hosszát ugyanis nagyon vékony anyagról lévén szó hamar képes visszamelegedni a szobahőmérsékletre. Ennél a mérésnél 163,97 század millimétert mértünk.

Hőmérséklet [°C]	Hossz [mm]
-21	163,97
24	163,99
59	164,07
ΔL [mm]	0,08
ΔT [°C]	35
L [mm]	163,99
α	1,39381E-05
ΔL 22 °C	-0,00457143

16. táblázat Vonalzó hitelesítő számítások

Majd végül pedig hat órára kemencébe raktuk hatvan fokra majd az idő lejárta után a megfelelő védői eszközökkel a kemencéből kivettük és szintén egy semleges hőmérsékletű felületre helyeztük, ahol megint csak lemértük a teljes hosszát ekkor 164, 07 század milliméter mértünk.

Az elvégzett hőtani számításokkal megkaptuk a vonalzóna a hőmérsékleti együtthatóját melynek birtokában már a modellt fel tudtuk méretezni.

(A jövőben fa eszköz használatával mely kevésbé érzékeny a hőmérsékletváltozásra ezen lépés kiváltásra kerülhet!)



Kalibrier-Protokoll
 Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage
 Protocollo di collaudo • Informe de calibración

Gerät / Model /	testo 880-3	
Appareil / Modelo:		
Serien-Nr. / Serial no. /		
N° de série / Número de serie:	01699156	
Objektivtyp / Lens type /	standard / standard /	
Objectif / Objetivo:	standard / estándar	
Serien-Nr. / Serial no. /		
N° de série / Número de serie:	20199867	
Messung an Hohlraumstrahler / Measured at cavity blackbody / Mesure sur corps noir à cavité / Medida en cavidad de cuerpo negro		
Emissionsgrad / Emissivity /		
Coefficient d'émissivité / Emisividad	0.9994	
Hohlraum / Cavity /		
Corps noir / Cuerpo negro	Ø 60 x 300 mm	
Messabstand / Measuring distance /		
Distance de mesure / Distancia de medición	0.5 m	
Umgebungstemperatur / Ambient temperature /		
Température ambiante / Temperature ambiente	25°C	
Sollwert Reference Référence Referencia:	Toleranz Tolerance Tolérance Tolerancia:	Istwert Actual Value Valeur réelle Valor medido:
Temperatur / Temperature / Température / Temperatura		
0.0 °C	±2.0 °C	-0.5 °C
80.0 °C	±2.0 °C	79.0 °C
23.06.2009 Datum / Date Date / Fecha (1640) Prüfer / Inspector Vérificateur / Verificador		

A hőkamera pontosságát/hibahatárát igazoló dokumentum mellyel a hőmérsékleti adatokat mértük.

FELHASZNÁLT IRODALMAK

EURÓPAI SZABVÁNY EN 13036-1:2001 2001. május ICS 17.040.20.; 93.080.20
[STL Vs OBJ - A Különbségek | 3DNyomtass.hu | Minden Ami 3D Nyomtatás!](#) (2024.03.30)

[statea11.pptx \(dote.hu\)](#) (2024.0,30.)

<https://www.researchgate.net/publication/281204523> Correlation between Mean Profile
Depth Estimated Macro Texture Depth

www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815304426

www.researchgate.net/publication/242130861 Correlation of Surface Texture Segregation
and Measurement of Air Voids

<https://www.researchgate.net/publication/237458901> Evaluation of Circular Texture Meter
for Measuring Surface Texture of Pavements

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815304426>

[https://iris.unirc.it/retrieve/e2047588-460f-7e24-e053-
6605fe0afb29/Pratic%C3%B2_2015_j.conbuildmat_Study_Post.pdf](https://iris.unirc.it/retrieve/e2047588-460f-7e24-e053-6605fe0afb29/Pratic%C3%B2_2015_j.conbuildmat_Study_Post.pdf)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822031038>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224124010248>

<https://www.pathwayservices.com/news/13468/>

<https://vtrc.virginia.gov/media/vtrc/vtrc-pdf/vtrc-pdf/03-r9.pdf>

https://www.jstage.jst.go.jp/article/easts/10/0/10_1576/_pdf

[https://saferoadsconference.com/wp-content/uploads/2016/05/Holloway-Accuracy-of-
Pavement-Texture-Measurement.pdf](https://saferoadsconference.com/wp-content/uploads/2016/05/Holloway-Accuracy-of-Pavement-Texture-Measurement.pdf)

<https://www.researchgate.net/publication/242130861> Correlation of Surface Texture Segre-
gation and Measurement of Air Voids

<https://www.researchgate.net/publication/263723356> Evaluation and comparison of surfac-
e macrotexture and friction measurement methods

<https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/0-6610-1.pdf>

<https://core.ac.uk/download/pdf/55615243.pdf>

Táblajegyzék

Tábla sorszáma	Táblázat megnevezése
1	Hagyományos makroérdeesség mérés értékelt eredményei
2	Koordinátaadatok mintatáblázat
3	Leszűrt adatok
4	Digitális mérések főbb jellemzői teljes terület esetén
5	Digitális mérések főbb jellemzői d=30cm terület esetén
6	Felület-Pontsűrűség aránypárok
7	Példaadatsor
8	Eltérés a koordináták közt
9	Módosított koordináták
10	Példaadatok Civil 3d-ből
11	%-os eltérések a Civil export ált és a nyers adatok közt
12	Visszamérési elvű makró érdeesség mérés példa adatsora
13	Statisztikai elemzés
14	MTD mérési eredmények Rozmaring utca
15	Modell igazoló táblázat
16	Vonalzó hitelesítő számítások

A kutatás a "SZE - Hallgatói versenycsapatok, technikai sport aktivitások támogatása" program keretében, a "Széchenyi István Egyetemért Alapítvány KFI Programtámogatási Rendszere" támogatásával valósult meg.

