



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

POLIMERTECHNIKA TANSZÉK

**Szénszál erősítésű polimer kompozit elektromos basszusgitár
tervezése és építése**



Készítette: Edvi Zoltán Csaba

Konzulens: Molnár Kolos, PhD hallgató

Budapest

2011

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, Célkitűzés.....	2
2. Irodalmi áttekintés.....	3
2.1. A gitár története.....	3
2.2. Az elektromos gitár	5
2.3. A gitár alakja, A Flying V története	7
2.4. A basszusgitár	8
2.5. Új technológiák, anyagok megjelenése a hangszeriparban	8
2.5.1. Áttekintés az új anyagok alkalmazásáról	9
2.5.2. Szénszál erősítésű kompozit anyagok alkalmazása a hangszeriparban.....	10
2.6. A basszusgitár felépítése	13
2.7. A test	16
2.8. Alapvető szempontok, a tervezés alapjai	16
2.8.1. Skálahosszúság.....	16
2.8.2. Az érintők.....	17
2.8.3. Nyakformák.....	18
2.9. A nyak rögzítése.....	18
2.10. Az elektronika elrejtése	19
3. Felhasznált anyagok és mérési módszerek.....	20
3.1. Felhasznált anyagok	20
3.2. Vizsgálati módszerek	21
3.2.1. Kiégetés	21
3.2.2. Hajlító és kúszás vizsgálat.....	21
3.2.4. Akusztikai mérések	22
3.2.4.1. Fourier-transzformáció	24
3.2.4.2. Diszkrét Fourier Transzformáció	25
3.2.4.3. Gyors Fourier-transzformáció	25
4. A gitár tervezése és megépítése	26
4.1. A nyak méretezésének alapjai	26
4.2. Méretezés tömör fanyak esetében	27
4.3. Méretezés szénszál erősítésű kompozit nyak esetében	33
4.3.1. Rugalmassági modulus meghatározása egyszerű keverékszabállyal	33
4.3.2. A kompozit nyak geometriája, tulajdonságai	34
4.4. A szénszál erősítésű polimer kompozit elektromos basszusgitár megépítése.....	36
4.5. A nyak mechanikai tulajdonságait vizsgáló mérések.....	42
4.5.1. Hárompontos hajlító vizsgálat.....	42
4.5.2. Kúszás vizsgálat	45
4.6. Akusztikai tulajdonságok	50
5. Összefoglalás.....	53
Felhasznált irodalom	55
Melléklet	

1. Bevezetés, Célkitűzés

Az utóbbi időben a zeneipar és a zenészek egyre változatosabb igényeket támasztanak az általuk használt hangszerekkel szemben, legyen szó azoknak akusztikai tulajdonságairól, esztétikájáról és kezelhetőségéről egyaránt. A hangszeripar az igények kielégítése során egy egészen különleges fejlődésen megy keresztül. Ennek a főszereplője elsősorban az új alapanyagok és gyártástechnológiák megjelenése, melyek egyre nagyobb szabadságot adnak a hangszer készítőinek és a zenészeknek egyaránt.

Az utóbbi években jelentek meg nagyobb számban a szénszál erősítésű hangszerek, melyek egyedi hangzásvilággal gazdagítják a zenei palettát. Jellemzően könnyebbek hagyományos társaiknál, valamint kevésbé érzékenyek a hőmérséklet és nedvesség ingadozásaira és ezen felül kevesebb karbantartást is igényelnek.

Dolgozatomnak célja egy olyan szénszál erősítésű kompozit elektromos basszusgitár tervezése és építése, amely megfelel a napjainkban kereskedelmi forgalomban is kapható basszusgitárokkal szemben támasztott akusztikai, esztétikai és mechanikai követelmények, sőt ezeket meg is haladja, jobb tulajdonságokkal rendelkezzon, mint hagyományos társai. Tehát könnyebb, ezáltal kényelmesebb, merevebb, így tartósabb legyen, illetve anyagának köszönhetően különleges hangzásvilággal rendelkezzen, továbbá a környezeti hatásokkal szemben is nagyobb ellenálló képességű legyen, tekintve akár hőmérsékletváltozást vagy a cseppállóságot.

Munkám során foglalkoztam a basszusgitárt érő mechanikai terhelésekkel, ezek alapján a megfelelő szilárdságtani modellt felvéve méreteztem a nyakat. A méretezés helyességének ellenőrzésére az elkészült kompozit nyakon és egy referencia fanyakon hárompontos hajlító vizsgálatot végeztem, majd az eredményeket összehasonlítottam, kiértékeltem. Ezek után a gitár gyártástechnológiai lépéseivel foglalkozom, kirészletezve az egyes esetekben alkalmazott megoldási módokat.

Az elkészült basszusgitár akusztikai tulajdonságait különböző mérési elrendezésekkel vetettem össze egy hagyományos fából készült hangszerrel. Mikrofon segítségével rögzítettem az egyes hangszerek hangjait, és ezeket vizsgáltam frekvenciatartományban. Az egyes méréseket kiértékelve megállapítottam, hogy az általam készített szénszál erősítésű kompozit elektromos basszusgitár egyedülálló akusztikus lehetőségeket rejt magában.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A gitár története

A szó szoros értelmében vett gitárok valamikor a 15. század után jelentek meg, de természetesen jóval korábban – már az ókorban is – léteztek a gitárhoz hasonló, vagy arra emlékeztető húros, pengetős hangszerek. A zavaros hangszerelnevezések és hiányos történelmi adatok azonban nehezítik az ennél régebbi ismeretek rendszerezését.

A legrégebbi fennmaradt gitár egy öt hangra hangolt (1. ábra), hangonként dupla húrozással ellátott hangszer.



1. ábra: Öt hangra hangolt gitár 1590 tájáról [1]

A gitár teste keskeny, hátlapja eredetileg lapos volt. Ez a hangszer feltételezhetően az első ránk maradt gitárnak nevezhető hangszer, felépítésében és díszítésében azonban rendkívül hasonlít egy 1581-ből származó portugál „pengetős hangszerre, melyet egy bizonyos Belchior Dias készített.

A zeneszerető gazdagokra jellemző módon a gitárok kezdetben rendkívül díszes hangszertesttel rendelkeztek. A hanglyuk helyét például rozettás fafaragások töltötték be, a tetőn és a hátlapon pedig díszes festések, faragások, intarziák, bizonyos esetekben fémből készült motívumok kaptak helyet (2. ábra).



2. ábra: Dísztített 17. század elejéről származó gitár [2]

A hangszer méreteinek, hangolásának szabványosodása csak a 17. századtól indult meg, a nyomtatásban terjedő tabulatúrák korában. Ekkoriban a gitár négy „kórusos” volt, leggyakrabban három dupla és egy szimpla húrral volt felszerelve. A hangolás legtöbbször a tenor lant középső négy húrját követte, vagyis $C - F - A - D'$ volt. A század vége felé még egy mélyebb húrpárt kapott, és szokássá vált az összes húrt egy hanggal följebb hangolni. Ekkor alakult ki a napjainkban is használatos hangolás, hiszen az öt húr hangmagassága megegyezett a mai klasszikus hangolás felső öt húrjával, azaz: $A - D - G - H - E'$. A 18. század közepén kezdődött meg – először Spanyolországban – a hangszer hatodik húrpárral történő kiegészítése. A legmélyebb húrt a mély E hangra hangolták. A század végétől kezdett elterjedni a dupla húrok helyett a szimpla húrozás. Ekkor jelentek meg a gitárra kevésbé hasonlító, inkább a hárfára emlékeztető lyragitárok (3. ábra), melyek már többnyire hat húrral készültek, de előfordultak több, akár kilenc húros, vagy hat dupla húrral rendelkező változatok is.



3. ábra: Lyragitár [3]

A 19. század közepe táján Antonio de Torres sevillai hangszerkészítő megnövelte a hangszer méreteit, tökéletesítette konstrukcióját, és az általa kifejlesztett gitártípus vált általánossá. A fémhúros, ma akusztikus gitárnak vagy folk gitárnak nevezett hangszer a 19. század végétől kezdve, a domború tetejű ún. archtop gitár a 20. század elején, az elektromos gitár az 1950-es években alakult ki [4].



4. ábra: Antonio De Torres által készített gitár [5]

2.2. Az elektromos gitár

Az elektromos gitár kifejlesztésére irányuló korai törekvések mozgatórugója egyetlen szóban összegezhető: hangerő. Az 1920-as években a big bandekkel és swing zenekarokkal játszó gitárosokat elnyomta a többi hangszer, így hangosabb gitárokra volt szükség, hogy hallhatóvá váljanak [6].

A fő különbség az akusztikus és elektromos gitár között a hang felerősítések módja. Az akusztikus gitár esetében erre maga a hangszertest szolgál, míg az elektromos gitár megszólalása elektromágneses hangszedőket és egy elektronikus erősítőt kíván. Végülis a két gitárfajta közötti különbség nem olyan nagy, mint azt a hangzásuk és külsejük alapján hinni lehetne, hiszen mindkét hangszert jobb kézzel, a húrok megpengetésével szólaltatjuk meg, míg ballal a megszólaló hangot fogjuk le (ez balkezesek esetében éppen fordítva van). A hangolás és hangok elhelyezkedése is megegyezik, és minden zenei darab, ami egyik hangszeren játszható előadható a másikon is. A test formáját tekintve az akusztikus gitárnál a hangdoboz a meghatározó, így akár kis alaki vagy méretbeli változtatás is nagyban

befolyásolhatja a gitár hangszínét, hangerejét. Az elektromos gitárok esetében nincs efféle megkötés, így a tervezőik több szabadságot élveznek a test mérete és formája terén [6].

Az első elektromos gitárnak a George Beauchamp által tervezett hangszedőkkel ellátott, Adolph Rickenbacker által kivitelezett „Serpentyő” nevű elektromos gitár tekinthető (5. ábra) [6].



5. ábra: A Rickenbacker cég „Serpentyő” nevű gitárja [7]

A kezdeti elektromos gitárok mind üreges testtel rendelkeztek, és egy mikrofonos hangszedőkkel voltak felszerelve. Ezen tulajdonságok miatt hajlamosak voltak az öngerjedésre, és sok nem kívánatos felhangot is produkáltak, mivel ugyanannyit vettek fel a test hangjaiból, mint a húrok rezgéseiből. Les Paul, az ismert amerikai jazzgitáros felfedezte, hogy a tömör test kiküszöbölné ezeket a problémákat. Elkészítette saját, egyszerű hangszedőit, majd megtervezte és megépítette gitárprototípusát egy 10x10 cm-es fenyődeszkából és egy Gibson nyakból. Viszont Les Paulnak nem sikerült meggyőznie a Gibson céget a termék eladhatóságáról. Azonban Leo Fender, aki eredetileg rádiószerelő volt, hitt a tömör testű elektromos gitár jövőjében. 1943-ban tölgyfából megépítette a prototípusát, amelyet zenészeknek adott kölcsön. A kapott visszajelzések alapján fejlesztette tovább a hangszert, majd 1948-ban piacra dobta saját gitárját, a Fender Broadcastert, melyet a későbbiekben Telecasterre neveztek át (6. ábra) [6].



6. ábra: Fender Telecaster típusú gitár [8]

2.3. A gitár alakja, A Flying V története

A Gibson tömör testű gitárjai egészen az ötvenes évek végéig meglehetősen hagyományos formájúak voltak. Mindez a cég által „modern” gitároknak nevezett modellek, mint például a Flying V (7. ábra), az Explorer és a Moderne megjelenésével megváltozott. A régebbi gitárok formája az akusztikus gitárén alapult: nyolcas alakú test, kisebb felső résszel, amely egyensúlyt tart a nagyobbik, alsó féllal. A Gibson cég azonban valami egészen újat és eredetit hozott a formatervezés terén. A Flying V első változata 1958-ban került kereskedelmi forgalomba. Mindössze 100 példány készült, mielőtt 1959-ben felhagytak volna a gyártásával. Módosított változatai (1967-69) más kapcsolószerkezettel és szokványos fém alkatrészekkel jelentek meg. Sok évvel később e ritka gitárok rendkívül keresetté váltak, és a megújult érdeklődés más készítőket is arra ösztönzött, hogy a Flying V stílusát utánozzák[9]. (8. ábra).



7. ábra: Gibson Flying V típusú gitár [10]



8. ábra: Warrior típusú gitár [11]

2.4. A basszusgitár

Az első basszusgitárokat a nagybögő elektromos változatának tekinthetjük, megalkotásuk célja, akárcsak az elektromos gitár esetében a hangerő megnövelése volt. A basszusgitárt napjainkban a gitár mélyebb hangfekvésű változatának tekintjük. Legismertebb ezek közül az elektromos basszusgitár, ami külsőre hasonlít az elektromos gitárhoz, de legtöbbször csak négy húros, és menzúrája, tehát rezgő húrhosszúsága nagyobb, húrjai vastagabbak a gitárhoz képest. Hangolása legtöbbször a nagybögőével azonos, tehát húrjai a gitár alsó húrjaihoz képest egy oktávval mélyebbek[12].

2.5. Új technológiák, anyagok megjelenése a hangszeriparban

A korai gitármodellek rendkívül tartósnak bizonyultak, így az évszázadok folyamán csak kisebb változtatásokat eszközöltek rajtuk. A gyártási technológiák és az elektronika terén azonban történt fejlődés, valamint a modern anyagok megjelenésével megpróbálták kielégíteni a zenészek változatos igényeit és még jobb gitárokat alkotni.

A gitárok hagyományosan fából készültek, bár a gyártók alkalmanként kipróbáltak más anyagokat is. Néha anyagi okokból, máskor a gitár hangján, szilárdságán vagy küllemén kívántak változtatni. Fémmel és műanyaggal már a húszas évek óta kísérleteznek, a szilárdság

és tartósság miatt. Némelyik műanyag még a gyorsabb előállítás lehetőségét is kínálja. Az új anyagok alkalmazása viszont sokszor új problémák felmerülésével jár. A zenészek egy része szerint a fém túl hideg tapintású, a műanyag pedig silány küllemet kölcsönöz a hangszernek. Ezzel szemben a szénszálas erősítés megjelenésével kezdtek hozzászokni ahhoz a gondolathoz, hogy a megszokott fa helyett más anyagok is felhasználhatók a gitárkészítésben.

A jövőben a gitárkészítők kénytelenek lesznek a fa mellett más anyagokat is találni. A jó minőségű faanyag már ma is igen ritka, és bizonyos fafajták nagymennyiségben való felhasználása ellentétben áll a modern ökológiai gondolkodásmóddal. Egyes fafajták használata máris tilos, más, ritka fajok pedig túl drágák a tömeggyártáshoz. Az olcsóbb faféleségek, mint például a hárs alkalmazása mára általánossá kezd válni. A jelenlegi irányzat a műanyagot és a fát együtt használja, a nyak például egyes esetekben szénszálas erősítéssel készül [9].

2.5.1. Áttekintés az új anyagok alkalmazásáról

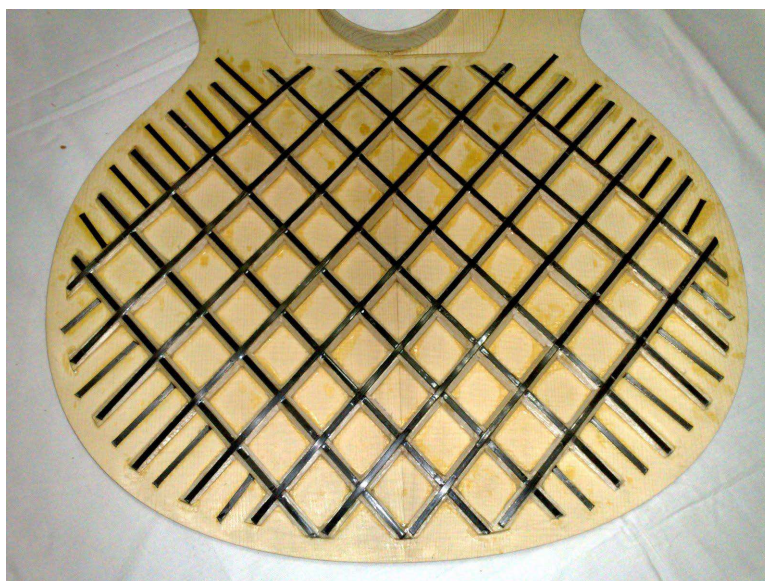
A legismertebb példa a modern, szintetikus anyagok használatára a Steinberger-gitárok és –basszusgitárok szénszál erősítésű kompozit teste, illetve nyaka. Számos terület is akad azonban, ahol ilyen jellegű anyagokat alkalmaznak. Gyakran használnak szénszálat a basszusgitárok nyakának merevítőpálcájához, maximális merevséget biztosítva súlytöbblet hozzáadása nélkül. A Parker és a BassLab cég polimer kompozit külső vázat használ gitárjaihoz (9. ábra), ezzel megerősítve azokat, de meghagyva rezonanciájukat. [6]



9. ábra: BassLab STD Bass típusú basszusgitár [13]

2.5.2. Szénszál erősítésű kompozit anyagok alkalmazása a hangszeriparban

Szénszál erősítésű kompozit anyagot a gitárkészítés során először Greg Smallman használt. Gitárjainak megszokatlanabb konstrukciós megoldása a fából és szénszálas műanyagból készített rácsos merevítés, a nagyon vékony, többnyire cédrusfából kialakított fedlap alján - a hangerő növelése érdekében (10. ábra). Így a tető anyaga lehet vékonyabb, de a végeredményt tekintve könnyebb és szilárdabb, amitől gyorsabban rezgésbe hozható, nagyobb amplitúdóval gerjeszthető és ezáltal a bevitt energia nagyobb hatásfokkal hasznosítható, így egy nagyon dinamikus és hangos, gyors reagálású gitár építhető [9, 14].



10. ábra: Greg Smallman által készített akusztikus gitár rácsos merevítése [14]

A következő fontos esemény az új anyagok gitárkészítés során való felhasználásának területén a nyolcvanas évek elején megjelent Steinberger Bass volt (11. ábra), [9].



11. ábra: Steinberger Bass típusú basszusgitár [15]

A szénszál erősítésű kompozit anyagokból készült gitárok hangja tisztán cseng, nagyszerű hangszínt ad. Némely hangszeren, mint például a Status basszusgitáron (12. ábra) is, a szénszálak egyedi megjelenést kölcsönöznek a gitártestnek. [9, 15]



12. ábra: Steinberger Status típusú basszusgitár [16]

A szénszál as anyagokat nemcsak a gitárkészítés során használják fel, hanem a hangszeripar egyéb területein is teret hódítottak, köszönhetően az egyes fafajtákhoz képesti nagy merevségüknek, időjárési viszonyokkal szembeni ellenállásuknak, különleges akusztikai hangzásviláguknak és nem utolsó sorban egyedi megjelenésüknek. Jól példázza ezt, hogy napjainkban egyre több vonós hangszer készül szénszál erősítésű kompozit anyagokból [...].

A nyak speciális formája miatt kevésbé fárasztó ezeken a hangszereken játszani, illetve sokkal nagyobb az igénybevételekkel szembeni ellenállóképességük. A hangszer tartósságát jól példázza, hogy hosszas tűző napon hagyása illetve védőtok nélküli szállítása során sem sérül, deformálódik. További érdekesség, hogy az Amerikai Egyesült Államokban a Katrina nevű hurrikán után két héttel egy ilyen típusú hangszert találtak a Mississippi-folyóban, melyen híd és nyakcserét végrehajtva újra tökéletesen működött.

A legismertebb szénszál as erősítésű kompozit anyagot használó cég a Luis and Clark. Hangszerekeit kézi laminálással gyártják (13. ábra). Zenészek elmondásai szerint ezen hangszerek tisztábban csengő hangszínnel és nagyobb hangerővel rendelkeznek, mint a fából készültek [17-18].



13. ábra: A Luis and Clark cég által gyártott „karbon cselló” [18]

Akusztikus gitárok is készülnek szénszálas anyagokból. Erre tökéletes példa Rainsong cég W3000 12-húros és W1000 6-húros akusztikus gitár modellje (14. ábra). Mindkét gitár esetében a fogólap és a nyak egy darabból készül, illetve nem alkalmaznak merevítő-pálcát. A gitár fényezését uretán-lakkal végzik [19].



14. ábra: Rainsong W3000 és W1000 gitármodellek [19]

A Blackbird cég Rider gitármodellje (15. ábra). ultra-könnyű (1,4 kg), teljesen üreges kialakítású és nagyon gazdag, telt hanggal rendelkezik.



15. ábra: Blackbird Rider Carbon Fiber Guitar gitármodell [19]

2.6. A basszusgitár felépítése

A következő fejezetben bemutatásra kerül a elektromos basszusgitár felépítése, illetve az egyes alkatrészek funkciói.

1. A test részei [6]:

Test

A test formája nem csak esztétikailag fontos tényező, hiszen ez határozza meg a hangszer játszhatóságát, kényelmét is.

Húrláb

A húr végét tartó eszköz, innen mérik a gitárok skálahosszúságát. Szerepe a hurok rögzítése, azok fix helyzetben tartása, illetve a húrmagasság állíthatóvá tétele.

Hevedertartó

Ezzel rögzíthető a heveder a gitártesthez.

Védőlap

Megvédi a gitár testét az ujjak, vagy a pengető karcolásaitól. A hangszedők, valamint a hangerő- és hangszínszabályzó potméterek gitártesthez való rögzítésében is szerepe van, továbbá az elektronikát is elfedi, megvédi.

Hangszedők

Szerepük, hogy felvegyék a hurok mechanikus rezgését, melyet elektromos impulzussá alakítanak át. Ez un. effekt segítségével megváltoztatható, majd felerősíthető.

Elektronika

A hangszedő által létrehozott elektromos impulzus modulálására szolgáló eszközöket foglalja magába. Hangerő, hangszín, torzítás állítására szolgáló kezelő elemek, illetve tartalmazza a kimeneti aljzatot (jack-aljzat), ahol a jel elhagyja a gitárt.

2. A nyak részei [6]:

Nyak

A nyak kialakítása során fontos, hogy ellenálljon a húrokról átadódó terhelésnek, ennek érdekében egy merevítő-pálcát szoktak bele szerelni, melynek a feszítési állapota változtatható, tehát kompenzálni lehet a húrok húzóerejéből származó elhajlást, így biztosítva, hogy a nyak mindig egyenes legyen. További fontos tényező a hangokat lefogó kéz kényelme.

Fogólap

Ezen a részen történik a hangok lefogása, hiszen a húrok rezgő hosszának változtatásával képezhetők magasabb és mélyebb hangok (hosszabb húrhosszal mélyebb hang, míg rövidebb esetben magasabb hang szólal meg, feltéve, hogy azonos a húrvastagság és feszesség).

Fej:

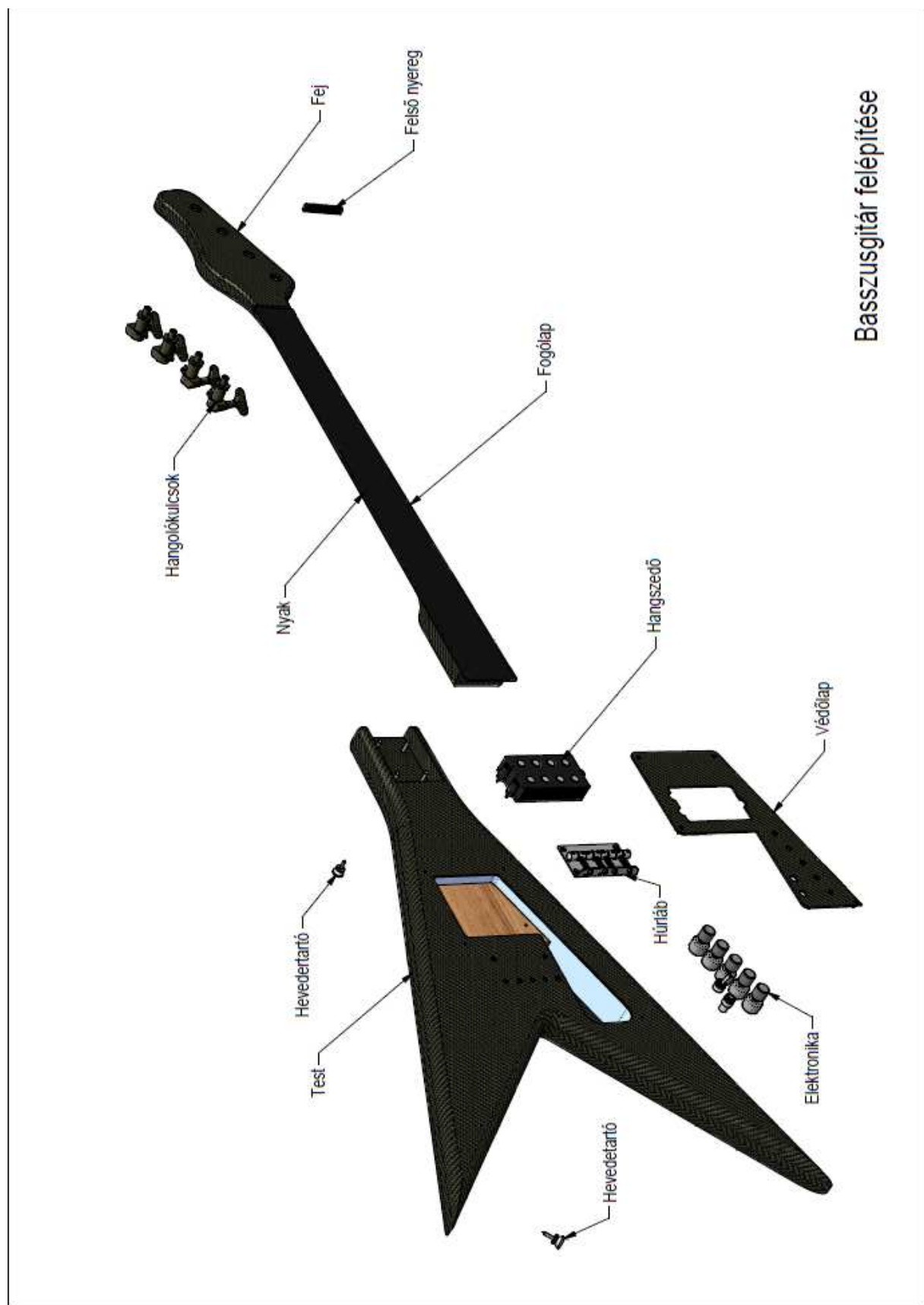
A fejen helyezkednek el a hangolókulcsok. Léteznek fej nélküli basszusgitár modellek, melyeknél a fejet elsősorban az egyensúly megtartása és a kényelmesebb hangolás miatt távolították el, ekkor a hangolókulcsok a húrlábon találhatóak meg, és speciális kialakítással rendelkeznek.

Hangolókulcsok:

Elforgatásukkal megváltoztatható az egyenként rögzített húrok feszessége, ezzel hangmagassága.

Felső nyereg

Szerepe a húrok helyzetének és a fogólap feletti magasságnak a meghatározása. Tekinthető akár „nulladik érintőnek” (érintők: lásd 2.8.2. fejezet), hiszen innen mérjük a megszólaló húr hosszát.



Basszusgitar felépítése

16. ábra: A basszusgitar felépítése

2.7. A test

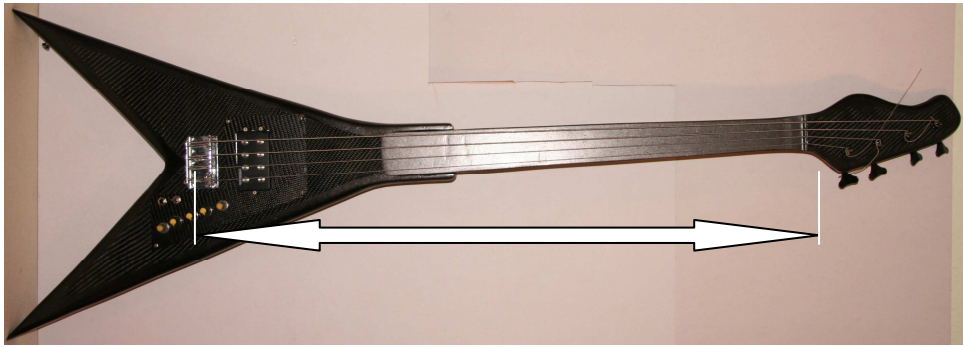
A tömör testtel, mint az ahogy a fentiekben is szerepel, a gitár kevésbé hajlamos az öngerjedésre és nem kívánatos felhangok produkálására. A formát tekintve a Gibson cég Flying V modelljét vettem alapul és ezt módosítottam (lásd: 2.3. fejezet). A Flying V testformát elsősorban esztétikai szempontok miatt választottam, illetve a V-alakú test miatt a gitár könnyen egyensúlyban marad, ha hevederrögzítéssel, a gitárt nyakba akasztva, állva játszunk rajta, mivel a „szárnyak” ellensúlyozzák a nyakat és a fejet.

2.8. Alapvető szempontok, a tervezés alapjai

Ebben a fejezetben a basszusgitár alapvető tervezési kihívásait kívánom bemutatni, az akusztikai, mechanikai, illetve kényelmi szempontból fontos tényezőket, mint például a skálahosszúság, az érintők kérdése, a nyak illesztése és az elektronika elhelyezése.

2.8.1. Skálahosszúság

A gitár skálahosszúsága (menzúrája) (17. ábra) a húr hosszát jelenti, azaz a nyereg elhagyása és a húrlábhoz való csatlakozás közötti távolság, amely a húr hangzó részét adja. A modern basszusgitárokra a következő skálahosszúság-értékek használatosak: short scale (rövid menzúra) 30" (762 mm), a long scale (hosszú menzúra) 34" (864 mm), az extra long még ennél is hosszabb, de nem annyira, mint a nagybögő 1050–1100 mm közötti menzúrája. A hangok frekvenciája ugyanakkora a különböző skálahosszúságú nyakakon, de rövidebb skálahosszúság esetén a húrfeszessége kisebb. Ebből kifolyólag a nagyobb skálahosszúságú hangszeren játszott hangoknak határozottabb a felfutásuk, és hosszabb a hangkitartásuk. A rövidebb skálahosszúságú nyakon könnyebb a hangok nyújtása, azaz egyes húrok az érintő ujjakkal történő megnyújtásától a húr feszesebb lesz, ezáltal magasabban szól, ugyanakkor gyakoribb az érintők zörgése [6, 9, 12]. Az utóbbi elkerülése miatt és a kényelmesebb, tisztább játék érdekében a long scale (hosszú menzúra) 34" (864 mm) menzúrát választottam a tervezés során.



17. ábra: Basszusgitár nyakának skálahosszúsága

2.8.2. Az érintők

A nyakon keresztbe futó fémpálcikák (18.a ábra), melyek kisebb egységekre osztják a húrok hosszát, meghatározva a hangok pontos helyét, ha a húrt az érintőhöz nyomjuk, azaz lefogjuk. A legtöbb érintő nikkelezüst nevű ötvözetből – ami tulajdonképpen réz és nikkel keveréke készül. Léteznek újabb törekvések, hogy acélt használjanak érintőként. A acélbundok tartósabbak és könnyebb rajtuk játszani [6].

Az érintő nélküli basszusgitárok (fretless bass) (18.b ábra) profi zenészek számára biztosítanak lehetőséget az igazán kifinomult játékra. A húrok közvetlenül a fogólap felületének nyomódnak neki, emiatt a hangszer hangja eltér az érintővel ellátott gitárok hangszínétől. Esetenként az érintők helyett csak jelölő vonalak vannak, amelyek nem emelkednek ki a fogólapból, de leggyakrabban ezek is elmaradnak. Az első „fretless” hangszert Bill Wyman, a Rolling Stones basszusgitárosa készítette 1961-ben egy olcsó japán basszusgitár bundjainak eltávolításával. [12]

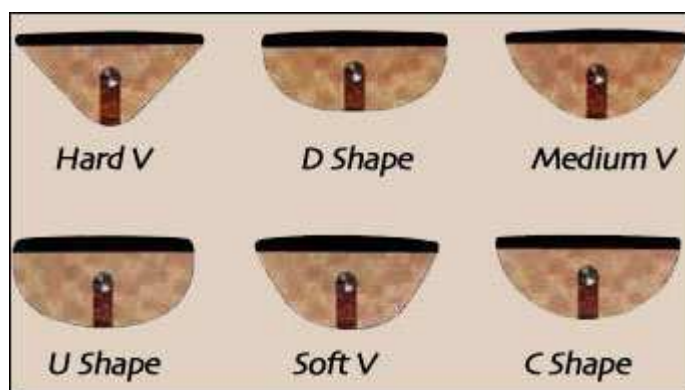
A nyak tervezésénél az érintő nélküli megoldást választottam, elsősorban saját ízlésemnek megfelelően.



18.a ábra: Érintők [20] ;18.b ábra: Érintő nélküli gitár [12]

2.8.3. Nyakformák

Forma és vastagság terén nagy a választék, így mindenki megtalálhatja személyes kedvencét. Néhány gitárnyak profilja kerekített, mások laposabbak: C, esetleg V profilúak. A vastagabb nyakak általában szebb hanggal és nagyobb hangkitartással rendelkeznek. A vékonyabbak kényelmesebbek, főleg a kisebb kezű gitárosoknak – bár egy túl vékony nyakon fárasztó lehet hosszabb ideig játszani. A 19. ábra szemlélteti a leginkább alkalmazott nyakformákat [6, 12].



19. ábra: Nyakformák [21]

Az általam választott nyakforma egy C forma, mivel ez a legkényelmesebb számomra.

2.9. A nyak rögzítése

Az elektromos basszusgitár nyakának testhez való rögzítése meglepően nagy hatással van a hangkitartására és hangzására. Több illesztési módszer is használatos, mint például csavarozás, ragasztás valamint testen átmenő nyak kialakítás. [6]

A tervezés során a csavarral rögzített nyakrögzítést választottam könnyű gyárthatósága, szerelhetősége és utólagos karbantarthatósága miatt.

2.10. Az elektronika elrejtése

Az elektronika elrejtésére kétféle módszert szoktak alkalmazni a hangszeriparban. Az első az ún. védőlapos (20. ábra) megoldás, ekkor az elektronika számára a gitár testbe mart rések és hornyok takarását egy védőlappal oldják meg. A védőlap tökéletesen illeszkedik a gitártest formájához és esztétikusan fedi el a kábelek, potmétereket és a többi alkatrészt. Ez a megoldás könnyű szerelhetőséget tesz lehetővé, hiszen a védőlap általában csavarokkal van rögzítve a testhez, eltávolítása után könnyen hozzáférhetünk az elektronikához.



20. ábra: Védőlap [22]

A másik megoldás a védőlap nélküli kialakítás (21. ábra). Ekkor a gitárokon a kapcsolók a test hátulja felől vannak rögzítve. Ezen megoldás néhány esetben esztétikusabb, hiszen a gitártest egybefüggőnek tűnik, mindössze a hangszedők számára kimart zsebek találhatók meg a gitártest elülső részén, viszont így a gitár elektronikai szerelése, karbantartása sokkal nehezebb, mint a védőlapos megoldásnál. [6]



21. ábra: Védőlap nélküli megoldás [23]

Ismételten a könnyebb szerelhetőség és karbantarthatóság miatt a védőlapos takarást választottam.

3. Felhasznált anyagok és mérési módszerek

3.1. Felhasznált anyagok

A basszusgitár megépítésére a következő anyagokat választottam:

1. A gitártest alapját képző extrudált polisztirol hab (XPS lap, styrofoam) [24]

Gyártó, márkanev: AUSTROTHERM, XPS 20

Méret: 600x1250x40 [mm]

Nyomószilárdság (10%-os összehúzódás mellett)= >200 [kPa]

2. A gitártestet és a nyakat felépítő unidirekcionális szénszál-szövet [25]

Gyártó, márkanev: ZOLTEK, PANEX 35

Felületi tömeg: 300 [g/m²]

Rugalmassági modulus: E=242 [GPa]

Sűrűség: $\rho=1810$ [kg/m³]

3. A test és a nyak külső rétegét képező dekorációs réteg [26]

Gyártó, márkanev: SIGRATEX, KDK 8042

Felületi tömeg: 200 [g/m²]

Rugalmassági modulus: E=242 [GPa]

Sűrűség: $\rho=1810$ [kg/m³]

4. Epoxi gyanta [27]

Gyártó, márkanev: IPOX CHEMICALS, MR3009; MH3120

Keverési arány: 5:1

Térhálósodási idő: (35°C-on): T=35 [min]

Rugalmassági modulus (térhálósodás után): E=3 [GPa]

Sűrűség (térhálósodás után): $\rho=1125$ [kg/m³]

5. Fenyőfa (testben lévő inzertek) [28]

Rugalmassági modulus: E=9,1 [GPa]

Sűrűség: $\rho=430$ [kg/m³]

3.2. Vizsgálati módszerek

3.2.1. Kiégetés

Ezzel a méréssel a gyanta és a szénszál tömeg-, illetve térfogatszázalék viszonyát határoztam meg, mely későbbiekben jelentős volt a kompozit nyak méretezése során. A kiégetés 600°C hőmérsékleten történt, erre a célra megfelelő kerámia tégelyekben. A tégelyek minta nélküli, mintával együttes kiégetés előtti, mintával együttes kiégetés utáni tömegét analitikai mérleggel mértem meg.

3.2.2. Hajlító és kúszás vizsgálat

A hárompontos hajlító vizsgálat során fontos volt, hogy a hajlítási erő hatására ugyanakkora nyomaték ébredjen a nyak fejrészi végpontjánál, mint a húrok húzó erejéből származó igénybevétel esetén. Számításaim szerint ezen hajlító nyomaték értéke $M=11,95$ [Nm], az alátámasztási távolság $l=405$ [mm], így az alábbi képlettel könnyen számolhatjuk a megfelelő erő nagyságát:

$$F = \frac{2M}{l} \approx 59 \text{ [N]}$$

Tehát a mérések során 59 [N] nagyságú erővel, illetve ennek egészszámú többszöröseivel ($n=1,2,3\dots 9,10$) terheltem a két gitáryakat.

A referencia basszusgitár nyakat egy Dimavery Precision basszusgitárból szereltem ki. A hárompontos hajlító, valamint a kúszás vizsgálatokat ZWICK 050 típusú számítógép vezérlésű univerzális szakítógéppel végeztem, a következő paraméterekkel:

Alátámasztási távolság: 405 [mm]

Felterhelési sebesség: 50 [N/s]

Maximális terhelés: $59 \cdot n$ [N]; $n=1, 2, 3, \dots 10$

Kúszás vizsgálatnál a terhelés ideje: 1 [óra]

3.2.4. Akusztikai mérések

Az akusztikai mérések során az általam készített szénszál erősítésű kompozit basszusgitár, és egy hagyományos fából készült Ibanez GSR-205 típusú, japán gyártmányú basszusgitár hangját rögzítettem három különböző módon, majd ezeket a hangfelvételek Steinberg Cubebase program segítségével elemeztem.

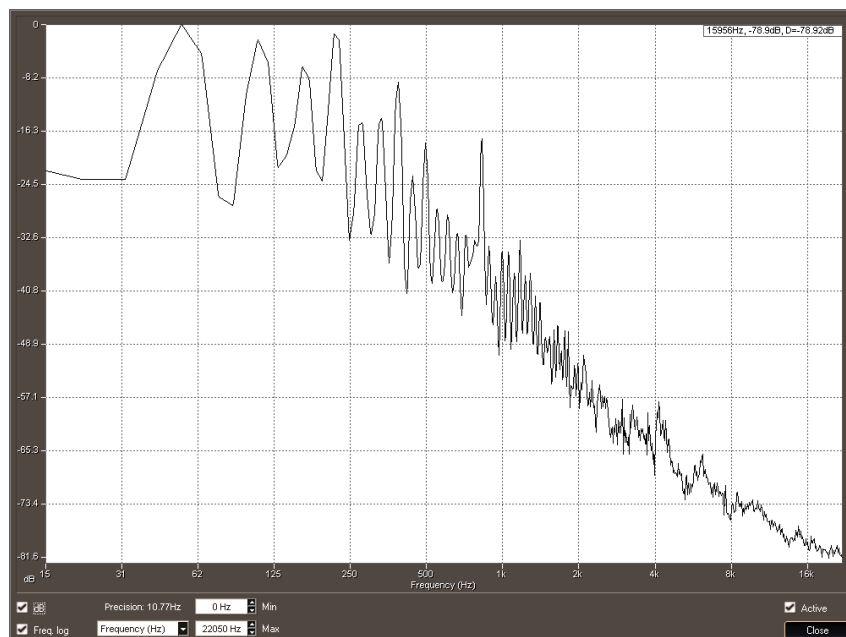
Az első mérési elrendezés során egy SHURE SM58 típusú mikrofont helyeztem a gitártestek elé, pontosan a nyak és test csatlakozási pontjától 50 mm távolságban. Ezen mérési elrendezés viszonylag pontatlan, hiszen nem csak a test hangját, hanem a húrok hangját, illetve egyéb környezeti zajt is rögzítettem.

A következő mérések során ezt kiküszöbölendő az AKG cég által gyártott testre szerelhető mikrofont használtam, melyet az egyes felvételek során a mérendő basszusgitár testére rögzítettem a húrlábtól vízszintes irányban 30 mm, függőleges irányban szintén 30 mm távolságban. Ezen mérési elrendezési biztosítja, hogy tisztán csak az egyes gitártestek saját hangjait rögzítsük, és kizárjuk a környezetből érkező egyéb zavarforrásokat.

Az általam alkalmazott harmadik mérési módszer, hogy a hangszedők által létrehozott elektromos jelet vizsgáltam. Ennek okát a későbbiekben fogom megadni.

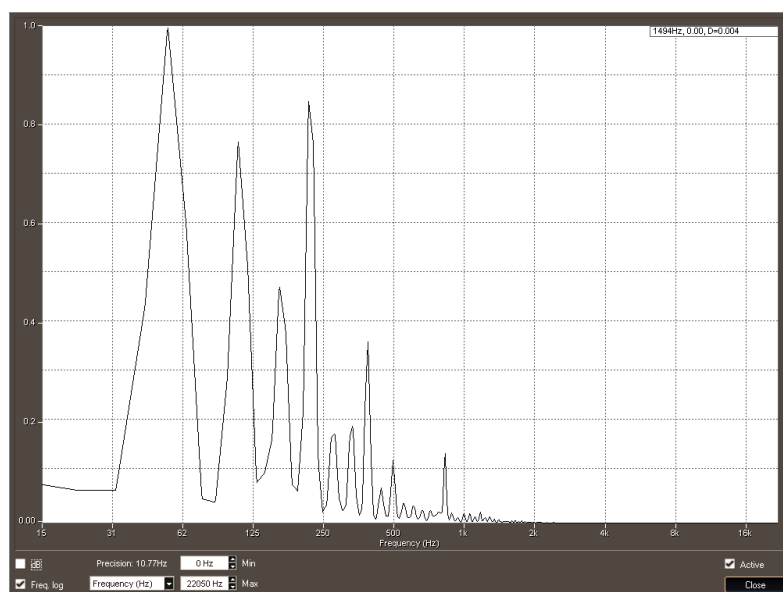
A fent említett méréseket mind a fa alapanyagú, mind a kompozit basszusgitárra elvégeztem. A mérések során kétféle pengetési módszert használtam. Elsőként a húrokat ujjal pengettem, ezzel egy lágyabb technikát alkalmazván, ezt követően a húrokat pengetővel szólaltattam meg. Utóbbi sokkal keményebb, „pattogósabb” hangszínt eredményez a megszólaltatni kívánt hangok, illetve húroknál. Mindkét technikát elterjedten használják a zenészek.

A mérések alapja, hogy mindkét hangszeren azonos, zenei alaphangot vizsgáltam, majd ezeket hasonlítottam össze a frekvencia-tartományban. A vizsgált hang a 110 Hz-es A hang, mely a 4 húros basszusgitárok második legmélyebb húrjának felel meg (standard basszusgitár hangolás: E-A-D-G). Ezt követően az audio fájlokon spektrum-analízist (Fourier-transzformációt) hajtottam végre számítógépes program segítségével, így megkapva az egyes rögzített hangok meghatározó frekvencia komponenseit. Az alábbi ábrán erre láthatunk egy példát, Az A (amplitúdó) skála [dB] osztásban, az f (frekvencia) skála [Hz] osztásban (22. ábra).



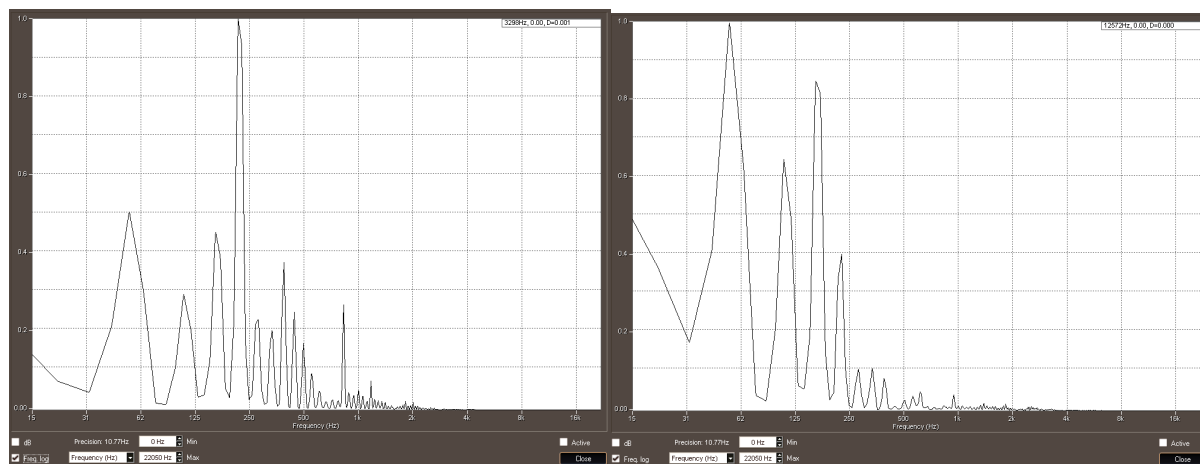
22. ábra: Egy hangfelvétel Fourier-transzformációját követő frekvencia függvény

Ezt követően az egyes frekvencia függvények normált értékeit jelenítettem meg a program segítségével. Ez azt jelenti, hogy a legkiemelkedőbb frekvenciakomponens értékét tekintjük 1-nek, ehhez viszonyítjuk a többi kevésbé domináns komponensek arányát. Erre azért volt szükség, hogy az egyes frekvencia függvények könnyebben összevethetők legyenek egymással. Ezek után az A (amplitúdó) skála mértékegység nélküli, arányt fejez ki [-], az f (frekvencia) skála továbbra is Hz osztásban (23. ábra) lesz.



23. ábra: Normalizált frekvenciagörbe

Ezt követően az egyes frekvenciagörbék csúcspontjainál leolvastam az A (amplitúdó) és f (frekvencia) értékeket. Ezen mérési eredményeket Microsoft Excel 2003 program segítségével táblázatba foglaltam (a táblázat megtalálható a mellékletben), és oszlopdiagramokon ábrázoltam. Ennek célja a könnyebb áttekinthetőség, egyes mérési eredmények könnyebb összehasonlítása. Az alábbi ábrákon egymás mellett láthatjuk az egyes frekvenciagörbéket és a belőlük megfelelő módon előállított oszlopdiagramokat (24.a-b ábra)



24.a-b ábra: Frekvenciagörbék

3.2.4.1. Fourier-transzformáció

Egy időben változó jel előállítható különböző frekvenciájú, fázisú és amplitúdójú jelek összegeként. A Fourier-transzformáció az a művelet, amely egy adott jelhez megadja ezt a felbontást. A Fourier-transzformáció inverze szolgál arra, hogy a frekvencia spektrumból (frekvenciatartomány) megadja az időfüggő jelet (időtartomány).

Egy jel Fourier transzformáltja az a jel, amin ha elvégezzük az alább látható inverz-Fourier transzformációt (1), visszakapjuk a jelet:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (1)$$

Tehát a Fourier transzformáció (2):

$$F(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

3.2.4.2. Diszkrét Fourier Transzformáció

A gyakorlatban, mivel diszkrét idejű jelekkel dolgozunk, a transzformációt is ennek megfelelően egyszerűsítjük. Az alábbi összefüggéssel (3) tehát az elemi szinuszos komponensek számíthatóak ki.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi \frac{k}{N} n} \quad (3)$$

ahol

- N: a minta adatblokkjának elemszáma, amire a Diszkrét Fourier Transzformációt (DFT) el kívánjuk végezni.
- k az egyik alkotó frekvenciával arányos konstans. Frekvenciában kifejezve: $k = N \cdot \text{frekvencia/mintavételi sebesség}$

A spektrális felbontás számhalmazából a jelet visszaállíthatjuk az egyes szinuszos oszcillátorok jeleinek összegeként (4):

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{j2\pi \frac{k}{N} n} \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4)$$

3.2.4.3. Gyors Fourier-transzformáció

A gyors Fourier transzformáció (Fast Fourier Transform) eredménye egyezik a fenti DFT eredményével, azonban a művelethez szükséges számítási teljesítmény igénye sokkal kisebb. Azaz:

- DFT esetén a számítás lépésszáma: $N^2 \cdot (t_{\text{mul}} + t_{\text{add}})$
- FFT esetén ugyanez a számítás $N \cdot \log_2(N) \cdot (t_{\text{mul}}/2 + t_{\text{add}})$ lépésszámból teljesíthető.

A Fourier-transzformáció elvégzése után már tudjuk vizsgálni az egyes jelek frekvencia komponenseit.[29]

4. A gitár tervezése és megépítése

A basszusgitár optimális geometriájának megtervezését AutoDesk Inventor 2010 program segítségével végeztem el. A kész műhelyrajzok, összeállítási rajz és robbantott ábra a mellékletben megtalálhatók.

4.1. A nyak méretezésének alapjai

Mivel a gitáron a legfőbb teherviselő elem a nyak, ezért azt szilárdságilag méretezni kellett. A nyak esetében nagyon fontos követelmény, hogy közel egyenesnek kell maradnia, ellenállva a húrok húzóerejével szemben. A nyakhoz képest a gitártest sokkal nagyobb másodrendű nyomatékkal rendelkezik, így ezt az elemet nem méreteztem lehajlásra.

A nyak méretezésének első lépése a nyakat ért igénybevételek megállapítása. A nyakat elsősorban a húrok feszítése révén kialakuló húzóerő fogja terhelni. A húrok feszítő erejének értéke megtalálható a különböző húrgyártó cégek katalógusaiban, az alábbi táblázat (1. táblázat) a D'Addario cég honlapjáról letöltött adatokat tartalmazza az áttekintés érdekében. [30]

Márkanév	E húr húzóereje [N]	A húr húzóereje [N]	D húr húzóereje [N]	G húr húzóereje [N]
<i>EPS160 Long Scale 50-105</i>	165,82	199,53	25,44	249,31
<i>EPS170S Short Scale 45-100</i>	119,07	140,04	163,56	144,84
<i>EXL220M Medium Scale 40-95</i>	134,26	150,24	169,35	132
<i>EXL 160SL SuperLong Scale 50-105</i>	200,9	241,37	299,59	266,27

1. táblázat: Húrok húzóerejére vonatkozó táblázat [30]

A méretezés alapjául a EXL 160SL SuperLong Scale 50-105 húrkészletet választottam, mivel ez rendelkezik a legnagyobb húzóerővel az összes többi közül és adja a legnagyobb igénybevételt, illetve skálahosszúsága is megfelel az általam épített gitárénak.

Húrok húzóereje: G: 200,9 [N]
D: 241,37 [N]
A: 299,59 [N]
+ _____ E: 266,57 [N]
Összesen (m): 1009 [N]

$g=9,81$ [m/s]

4.2. Méretezés tömör fanyak esetében

Az első méretezési számítás tömör fanyak esetére vonatkozik. A nyak alakját leíró függvény [31]:

A nyak alakját az alábbi függvénnyel (5) lehet a legjobban leírni:

$$y = \frac{w}{2} \left\{ -a \left[1 - \left(\frac{2x}{w} \right)^2 \right]^{\frac{1}{4}} + b \left[\left(\frac{2x}{w} \right)^2 - 1 \right] \right\} \quad (5)$$

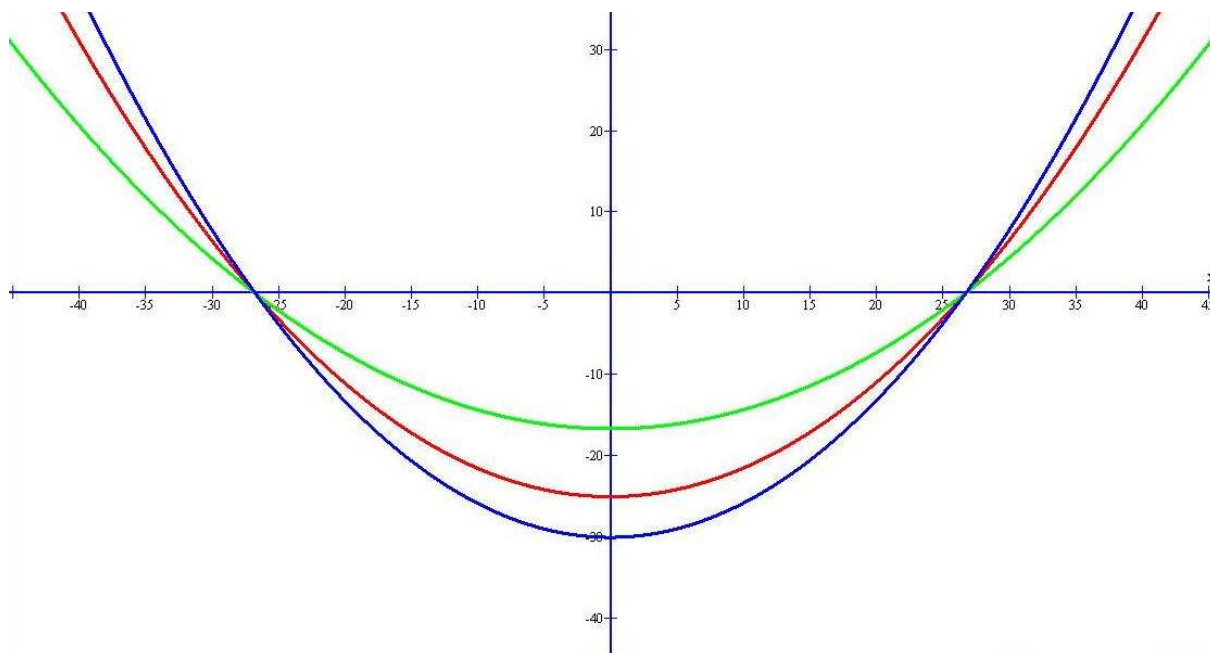
Ahol:

w: a nyak vastagságát figyelembevevő paraméter, amit a legvékonyabb ($w_0=42$ mm) és a legvastagabb ($w_1=65$ mm) nyakszélesség számtani közepeként számítottam.

$$w = \frac{w_0 + w_1}{2} = 53,5 \text{ [mm]} \quad (6)$$

a és b: a függvény alakját változtató paraméterek, melyek hatását a 25. ábra jól szemléltet.

1. eset /zöld színnel jelölt függvény/: $a=0,5$; $b=0,5$
2. eset /kék színnel jelölt függvény/: $a=0,75$; $b=0,75$
3. eset /piros színnel jelölt függvény/: $a=0,9$, $b=0,9$

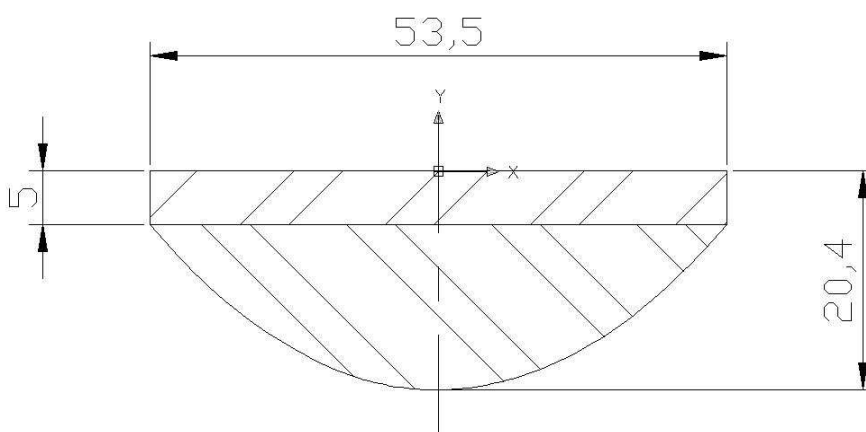


25. ábra: A nyak alakját leíró függvények képe

A valós nyak alakot a legjobban a 2. eset írja le ($a=b=0,75$), így a továbbiakban ezzel a közelített alakkal számoltam tovább.

A nyak lehajlása:

A megfelelő alakot leíró függvény képét AutoDesk AutoCAD programba képként beillesztettem, majd körberajzoltam egy spline segítségével. Így kapván az alábbi rajzot (26. ábra):

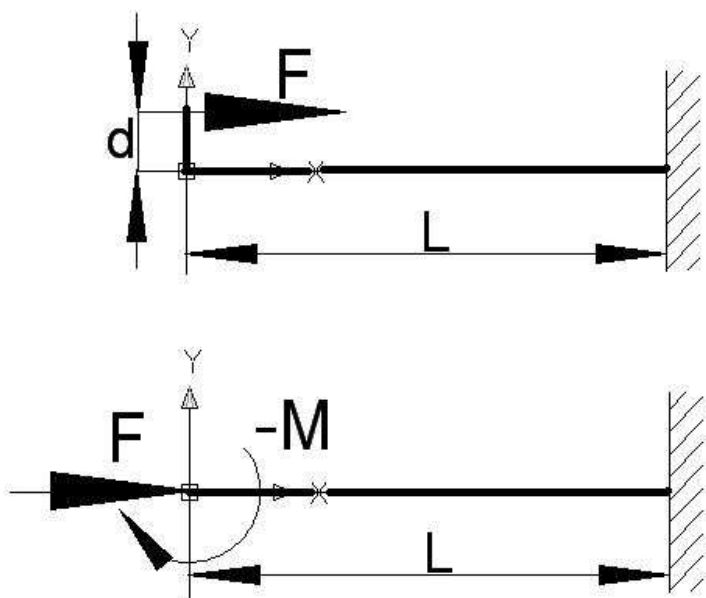


26. ábra: A nyak alakja

Fontos megjegyezni, hogy az átlagosan 5 [mm] vastagságú fogólapot a rózsafa szilárdsági adataival vettem figyelembe, míg a nyak többi részét mahagónifaként. Ezek után AutoDesk Inventor 11 program segítségével meghatároztam a nyak centroidjának helyét, illetve a másodrendű nyomatékát külön a fogólapnak és külön a nyak íves részének. Ezek a következő értékekre adódtak:

<u>Centroid az egész geometriára:</u>	$y = -8,34 \text{ [mm]}$
<u>Fogólap másodrendű nyomatéka:</u>	$I_{fl} = 63800 \text{ [mm}^4\text{]}$
<u>Nyak íves részének másodrendű nyomatéka:</u>	$I_{ny} = 79590 \text{ [mm}^4\text{]}$

Ezt követően a nyakat egyik végén befogott nyomott gerenda szilárdsági modellként vettem figyelembe (27. ábra).

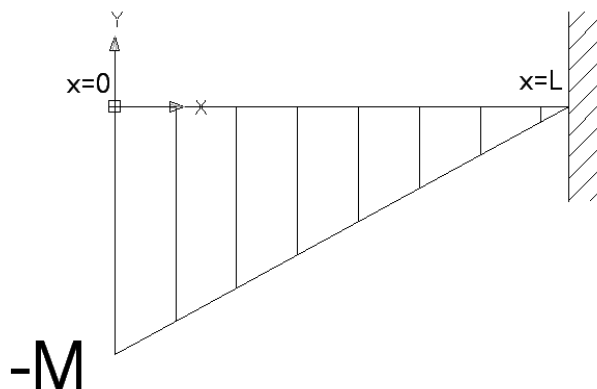


27. ábra: Nyomott gerenda modell

Ahol d a semleges tengelytől számított távolság. Ha húrok távolságát a fogólaptól 3,5 [mm]-nek vesszük, akkor d értéke a következőre adódik (7):

$$d = -y \text{ [mm]} + 3,5 \text{ [mm]} = 11,84 \text{ [mm]} \quad (7)$$

Ezek alapján a következő nyomaték-igénybevételi ábrát rajzolhatjuk fel (28. ábra).



28. ábra: Nyomaték-igénybevételi ábra

Ezt követően az M_x függvényt (8) a következő képen írhatjuk fel:

$$M(x) = -M \left(\frac{x}{L} - 1 \right) \quad (8)$$

Ahol:

$$M = F \cdot d = 11,95 \text{ [Nm]}$$

$L = 520 \text{ [mm]}$ a fogólap hosszúsága, húrnyeregtől a test és a nyak csatlakozási pontjáig mért távolság

x : az x -tengelyen vett koordináta távolság

Ezek után felírtam a modellre a rugalmas szál differenciálegyenletét (9) [31]:

$$M(x) = E \cdot I(x) \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (9)$$

Ahol:

E : jellemző rugalmassági modulus [GPa]

Az egyenletet átrendezve (10):

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M(x)}{E \cdot I(x)} \quad (10)$$

M(x)-t behelyettesítve, és az integrálásokat elvégezve (11); (12):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{E \cdot I} \int \left(-M \left(\frac{x}{L} - 1 \right) dx \right) = -\frac{M}{E \cdot I} \left(\frac{x^2}{2L} - x \right) + c_1 \quad (11)$$

$$y(x) = \int \left(-\frac{M}{E \cdot I} \left(\frac{x^2}{2L} - x \right) + c_1 \right) dx = -\frac{M}{E \cdot I} \left(\frac{x^3}{6L} - \frac{x^2}{2} \right) + c_1 \cdot x + c_2 \quad (12)$$

Ahol:

c_1 ; c_2 integrálási-konstans

$y(x)$: a lehajlás x távolságra

A peremfeltételek:

Mivel a nyakat egy befogott gerendaként modelleztem, így a befogásánál, nyak-test csatlakozási pontnál a nyak lehajlása és szögelfordulása zérus:

$$y(520[\text{mm}])=0 [\text{mm}]$$

$$y'(520[\text{mm}])= 0 [\text{rad}]$$

Ezek alapján, illetve figyelembe véve a két különböző rugalmassági modulusszal rendelkező elemet a következőt írtam fel (13):

$$0 = -M \cdot \left(\frac{520^2}{2 \cdot 520} - 520 \right) \left(\frac{1}{E_{fl} \cdot I_{fl}} + \frac{1}{E_{ny} \cdot I_{ny}} \right) + c_1 \quad (13)$$

Ahol:

$E_{fl}=13$ [GPa], a fogólap anyagának (rózsa) rugalmassági modulusa

$E_{ny}=9,7$ [GPa], a nyak többi részének anyagának (mahagóni) rugalmassági modulusa

A megfelelő értékeket behelyettesítve c_1 -re a következő érték adódik:

$$c_1=0,007769$$

$$0 = -M \cdot \left(\frac{520^3}{6 \cdot 520} - \frac{520^2}{2} \right) \left(\frac{1}{E_{fl} \cdot I_{fl}} + \frac{1}{E_{ny} \cdot I_{ny}} \right) + c_1 \cdot 520 + c_2 \quad (14)$$

Ezek alapján c_2 -re a következő érték adódik:

$$c_2 = 1,347$$

Megvizsgálva a nyak lehajlását a felsőnyeregnél, tehát $x=0$ koordinátánál:

$$y(0) = +1,347 \text{ [mm]}$$

Tehát majdnem 1,5 [mm] lenne a nyak lehajlása (ez esetben ez pozitív értékű, lásd koordináta-rendszer), ha a nyak tisztán csak fából készülne. Ennek kiküszöbölése érdekében a fogólap alá ún. merevítőpálcát szoktak elhelyezni, mely általában nagyobb rugalmassági modulusú anyagból, mint például szénacélból készül. A nyakmerevítő pálcát egy enyhén íves fémrúd, mely a hangszer nyakának belsejében fut végig. Feszességének állításával a húrok deformáló hatásával ellentétes irányú hatást lehet elérni, így befolyásolható a nyak hosszanti görbülete. A nyakmerevítő pálcát állítására szolgáló csavar vagy a nyak és a fej találkozási pontjánál van egy kis műanyag fedél alatt, vagy a nyak másik végén, a testhez való csatlakozásnál. A nyakmerevítő pálcát a nyak ideális görbületének beállítására szolgál, nem pedig arra, hogy az ún. nyomást, vagyis a húroknak a fogólaptól való távolságát állítsuk vele. Ez utóbbit mindig a húrláb magasságának változtatásával kell beszabályozni. [6]



29. ábra: Nyakmerevítő pálcát a nyakban

4.3. Méretezés szénszál erősítésű kompozit nyak esetében

4.3.1. Rugalmassági modulus meghatározása egyszerű keverékszabállyal

A rugalmassági modulus meghatározásához ismerni kell a kompozit száltartalmát. Az égetés előtt és azt követően megmértem a minták tömegét, majd ebből kiszámoltam a tömegszázalék-arányt. A 2. táblázat mutatja a kiégetés során használt tégelyek tömegeit üresen, majd a mintát belehelyezve, illetve a kiégetést követően.

Minta	Üres tégely [g]	Kiégetés előtt [g]	Kiégetés után [g]
1.	34,256	37,188	35,164
2.	36,172	39,358	37,157
3.	41,747	44,919	42,639

2. táblázat: A mért tömegek

Ezek után már meghatározható a tömegszázalék arány, úgy hogy a kiégetés utáni minta tömegét elosztjuk a kiégetés előtti minta tömegével.

Minta	Minta tömege kiég. előtt [g]	Minta tömege kiég. után [g]	Tömegszázalék [%]
1.	2,932	0,908	30,968
2.	3,186	0,985	30,916
3.	3,172	0,892	28,121

3. táblázat: A minták tömegei, tömegszázalék

Ezek után ismerve a szénszál és a gyanta sűrűségét egyszerűen megkapjuk a térfogatszázalékot.

$$\rho_{\text{szál}}=1,81 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$\rho_{\text{gyanta}}=1,125 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Minta	Gyanta [cm3]	Szénszál [cm3]	Kompozit [cm3]	Térfogatszázalék [%]
1.	1,7991	0,5017	2,3008	22
2.	1,9564	0,5442	2,5006	21,7
3.	2,026	0,4928	2,5188	19,56

4. táblázat: A minták szénszál tartalma térfogatszázalékban

Ezek alapján a szénszála vonatkozó átlagos térfogatszázalék: $v_{sz}=21,09$ [%]

Az egyszerű keverékszabály (15):

$$E=0,5 \cdot v_{sz} \cdot E_{sz} + 0,5(1-v_{sz}) \cdot E_{gy} \quad (15)$$

Ahol:

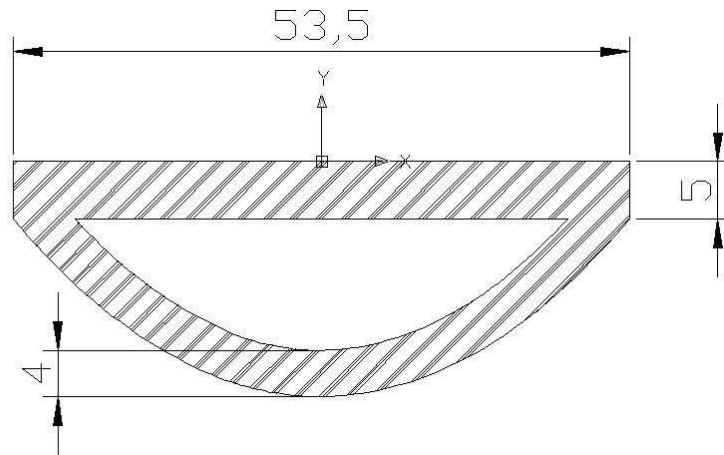
$E_{sz}=242$ [GPa], a szénszála vonatkozó rugalmassági modulus

$E_{gy}=3$ [GPa], a gyantára vonatkozó rugalmassági modulus

Ezek alapján: $E_{kompozit}=26,7$ [GPa]

4.3.2. A kompozit nyak geometriája, tulajdonságai

A nyak külső geometriája azonos a fából készültével, hiszen arról, mint ősmintáról vettem egy szilikon mintát, majd készítettem el a szénszál erősítésű kompozit nyakat. Belső geometriája viszont nem egyezik meg, hiszen a kompozit esetében üreges kialakítású, ezt a következő képen közelítettem, mivel összesen 4, a húrokkal párhuzamos és 2, azokra merőleges unidirekcionális szénszál réteget használtam fel. A rétegrend a következő volt: 0,0,90,0,0,90. Természetesen a méretezés és az igénybevétel során csak a húrral párhuzamos rétegek számítanak, a másik két réteg a csavarodás megelőzése céljából került beépítésre. A geometria ezek alapján a következő (30. ábra):



30. ábra: A kompozit nyak geometriája

A geometria tulajdonságait ismét AutoDesk Inventor 11 program segítségével határoztam meg. Ezek alapján a másodrendű nyomatéka:

$$I_{\text{kompozit}} = 113700 \text{ [mm}^4\text{]}$$

A kapott adatokat (E, I), behelyettesítettem az előbbieken már meghatározott rugalmas-szál differenciálegyenletébe (9), mivel ugyanaz a mechanikai modell érvényes a két nyakra. Ezek alapján (16); (17):

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{M}{E \cdot I} \left(\frac{x^2}{2L} - x \right) + c_1 \quad (16)$$

$$y(x) = -\frac{M}{E \cdot I} \left(\frac{x^3}{6L} - \frac{x^2}{2} \right) + c_1 \cdot x + c_2 \quad (17)$$

A peremfeltételek behelyettesítve (18); (19):

$$0 = -\frac{M}{E_{\text{kompozit}} \cdot I_{\text{kompozit}}} \left(\frac{520^2}{2 \cdot 520} - 520 \right) + c_1 \quad (18)$$

$$0 = -\frac{M}{E_{\text{kompozit}} \cdot I_{\text{kompozit}}} \left(\frac{520^3}{6 \cdot 520} - \frac{520^2}{2} \right) + c_1 \cdot x + c_2 \quad (19)$$

Ezek alapján:

$$c_1 = -0,001024$$

$$c_2 = 0,1880$$

Megvizsgálva a nyak lehajlását a felsőnyeregénél, tehát $x=0$ koordinátánál:

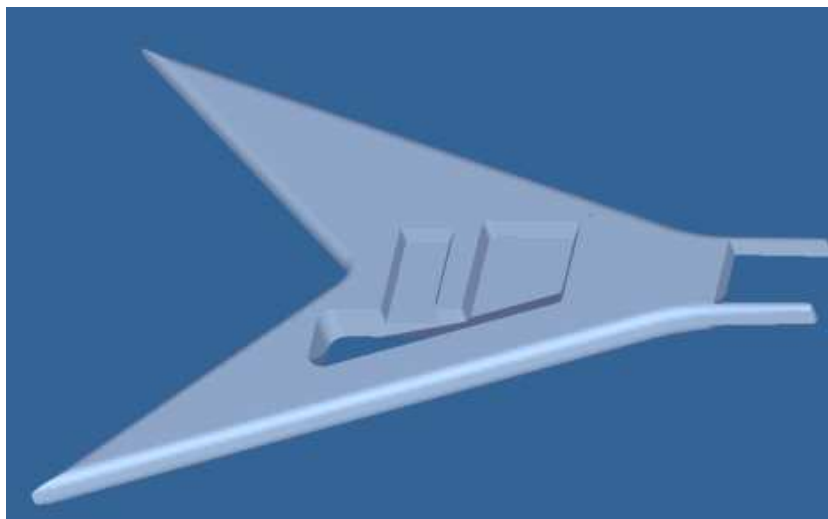
$$y(0) = +0,188 \text{ [mm]}$$

Látható, hogy a lehajlás értéke a kompozit nyak esetében alig több, mint 0,15 [mm], ami még teljes mértékben megengedhető a 889 [mm] skálahosszúság esetén, és egy nagyságrenddel kisebb, mint a fanyak estében. Illetőleg akusztikailag is kedvezőbb ezen geometria, hiszen a nyakban található egy üreg, mely akusztikai térként is funkcionál, így erősítvén a megpengetett húrok hangját. Továbbá az üregesség miatt sokkal könnyebb a kompozit nyak, ezzel sem terhelve a rajta játszó zenészt. Összességében elmondhatjuk, hogy szinte minden téren kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkezik, mint a hagyományos nyakak. Ezt a mechanikai tulajdonságokat vizsgáló mérések is alátámasztják.

4.4. A szénszál erősítésű polimer kompozit elektromos basszusgitár megépítése

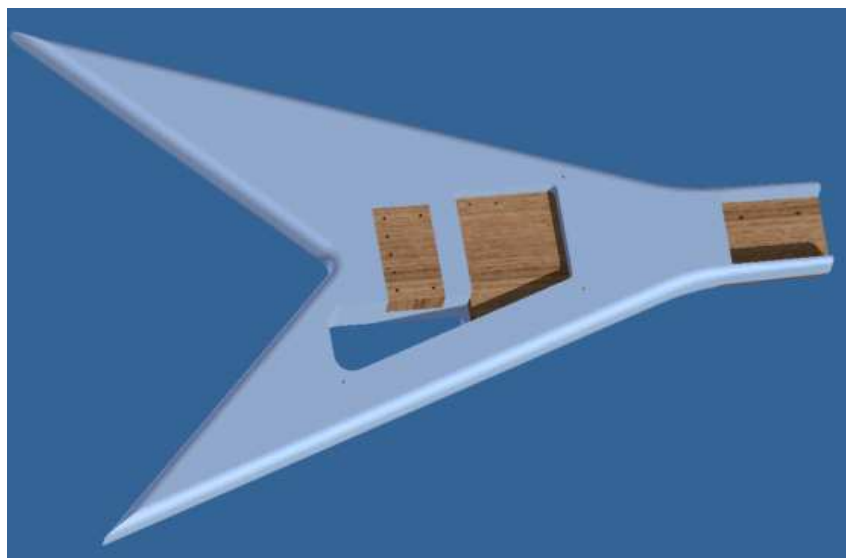
Ezen fejezetben röviden összefoglalja a gitár gyártástechnológiai lépéseit. A test kézi laminálás technológiájának segítségével készült.

Az XPS-lapra első lépésként megszerkesztettem, illetve felrajzoltam a kívánt forma méreteit, melyet a már előre megtervezett modelltől vettem le (31. ábra) majd ennek megfelelően kivágtam. Ezen alapanyag kedvező tulajdonsága, hogy nagyon könnyen vágható, és csiszolható.



31. ábra: Az XPS-betét 3 dimenziós modellje

Ezek után az ismételt pontos szerkesztést és felrajzolást követően kimartam az elektronikának és az egyes fainzerteknek szánt helyet. Következő lépésként megfelelő méretű fabetéteket helyeztem el, a kivágott formában, hogy ezzel biztosítsam majd a későbbiekben a kényelmes, egyszerű és tartós összeszerelést. A testbe 3 fa inzert került elhelyezésre (32. ábra).



32. ábra: A fa inzertek testen belüli helyét bemutató ábra

A legtöbb elem csavarok segítségével került rögzítésre. Csavarozásnál fontos, hogy a csavarok menetszárnyai megfelelő szilárdságú anyagba kapjanak bele, a tökéletes rögzítés érdekében. A kisszilárdságú és puha XPS-lap erre nem megfelelő, emiatt kerültek

beillesztésre az egyes fabetétek. Az első (32. ábrán jobb oldali) a nyaki részhez került behelyezésre. Feladata a nyak és a test könnyebb szerelhetőségnek biztosítása, illetve megfelelő felfekvési felület biztosítása a csavarok meneteinek számára. A következő fainzert (32. ábrán középső) a hangszedő megfelelő rögzíthetőségének érdekében került behelyezésre, továbbá formája megfelel az elektronikát takaró védőlap geometriai kialakításának, ez elsősorban esztétikai szempont. A harmadik fabetét (32. ábrán baloldali) a húrláb helyzetének tökéletes rögzítése miatt került beépítésre. Mivel a húrlábon keresztül vannak a húrok a gitártesthez erősítve, ezért itt adódik át a húrok húzóereje a testre, emiatt a megfelelő szilárdságú rögzítés alapvető követelmény. Az egyes fa betétek méretéről és pontos helyzetéről a mellékletben közölt műszaki és összeállítási rajzok adnak tájékoztatást.

Az alábbi ábra szemlélteti az így kialakított előgyártmányt (33. ábra). A nyakrögzítésére szolgáló fainzert csak a laminálás során került végleges beillesztésre.



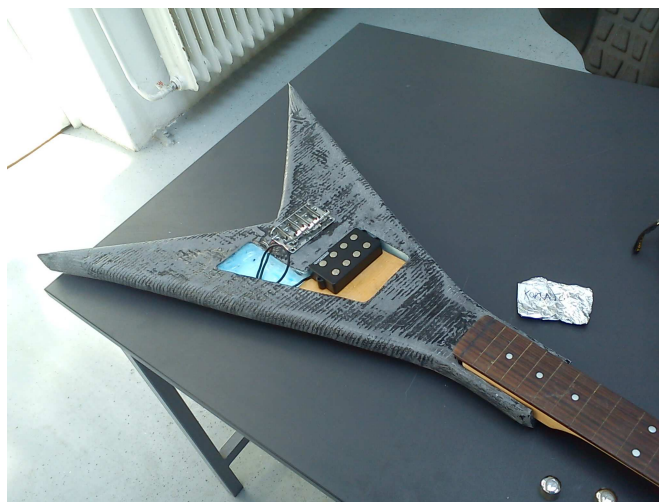
33. ábra: Előgyártmány

Ezt követően unidirekcionális szénszálszövetből megfelelő méretű darabokat vágtam le, majd lamináltam rá az előzetesen kialakított formára. Az első szövetréteg a gitár hosszanti-síkjával párhuzamosan került felhelyezésre, a következő réteg pedig a hosszanti-síkra merőlegesen, ezzel biztosítva a megfelelő merevséget, szilárdságot mindkét irányban. A laminált test 34. ábra szemlélteti.



34. ábra: Laminált test

Következő lépésben a már kitérhálósodott laminátum felületét síkra csiszoltam, illetve a helyi hibákat poliészter glett segítségével befedtem, ezzel biztosítva, hogy a későbbiekben felhelyezésre kerülő dekor szénszál-szövet szépen illeszkedjen a gitártest formai vonalaihoz, esztétikusan nézzen ki. Ezek után megvizsgáltam, hogy az így elkészült gitártest méreteiben megfelelő, és későbbiek beszerelni kívánt alkatrészek tökéletesen illeszkednek (35. ábra).



35. ábra: A visszacsiszolt gitártest méreteinek vizsgálata

Utolsó lépésként a gitártestre felhelyezésre került a dekor-réteg. Ezt követően az epoxi-gyanta térhálósodása után némileg visszacsiszoltam a felületeket, majd felpolíroztam, ezzel a gitártest elnyerte végső formáját.

A következő gyártási-fázisban a nyakat készítettem el az előzetes méretezés alapján. A nyak formai és geometriai kialakítását egy Dimavery Precision Bass basszusgitárból kiserelt basszusgitar nyak ősmintaként való felhasználása szabta meg. Az ősmintáról első lépésként szilikonba lenyomatot készítettem, majd a későbbiekben ez szolgált a nyak építésénél szerszámként. A szilikon-szerszám segítségével elkészítettem a megfelelően méretezett nyak egyik darabját, mely felül nyitott, mivel hiányzik róla a fogólap. Fontos megjegyezni, hogy a nyakba is került fainzert a nyak és a test megfelelő rögzítése érdekében. A fabetét helyét az alábbi ábra szemlélteti (36. ábra).

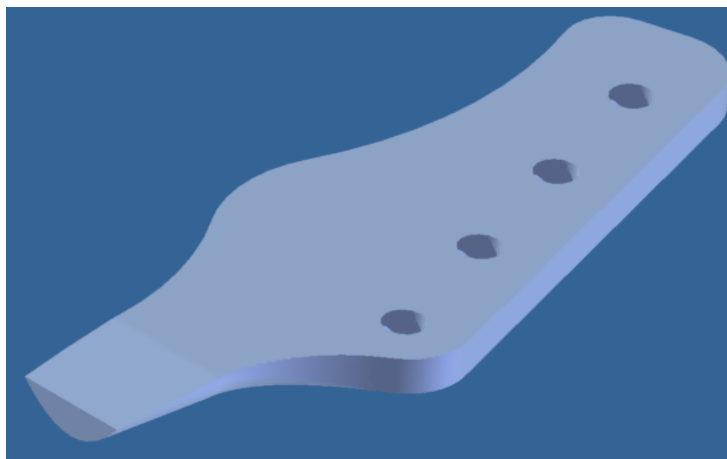
Megjegyzés: az 3 dimenziós modellen már látszik a nyakhoz illesztett fej, ez viszont csak az építés későbbi fázisában került beillesztésre.



36. ábra: A nyakban elhelyezett fainzert szemléltetése

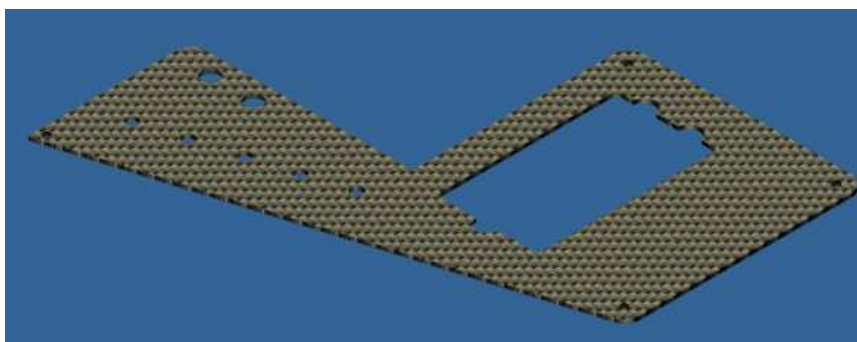
Ezt követően két üveglap között síklapot lamináltam, melyet megfelelő méretre vágás után az előzőekben elkészített nyakdarab felülnyitott részére illesztettem, ezzel kialakítva a fogólapot .

A nyak építésnek szempontjából utolsó lépésként XPS-lapból kialakítottam a fejnek szánt megfelelő geometriát (37. ábra). Mivel az előzőekben összeillesztett nyak fej felöli része üreges ide illesztettem be a fejrészt, melyet összelamináltam a nyakkal. Ezek után a nyak hátsó oldalára felhelyeztem egy dekor szövetréteget, majd felpolíroztam a kész darabot, így a nyak elnyerte végleges formáját.



37. ábra: XPS-lapból kialakított fej-geometria 3 dimenziós modellje

Ezek után üveglapok között elkészíttettem egy síklap laminátumot, melyet megfelelő méretekre vágva kialakítottam a védőlapot (38. ábra).



38. ábra: Védőlap 3 dimenziós modellje

Legvégül az elkészített és előre megvásárolt elemeket (húrláb, 4db húrkulcs, 2 db hevedertartó, 4db húr) felszereltem, így a basszusgitár elnyerte végleges formáját (39. ábra).



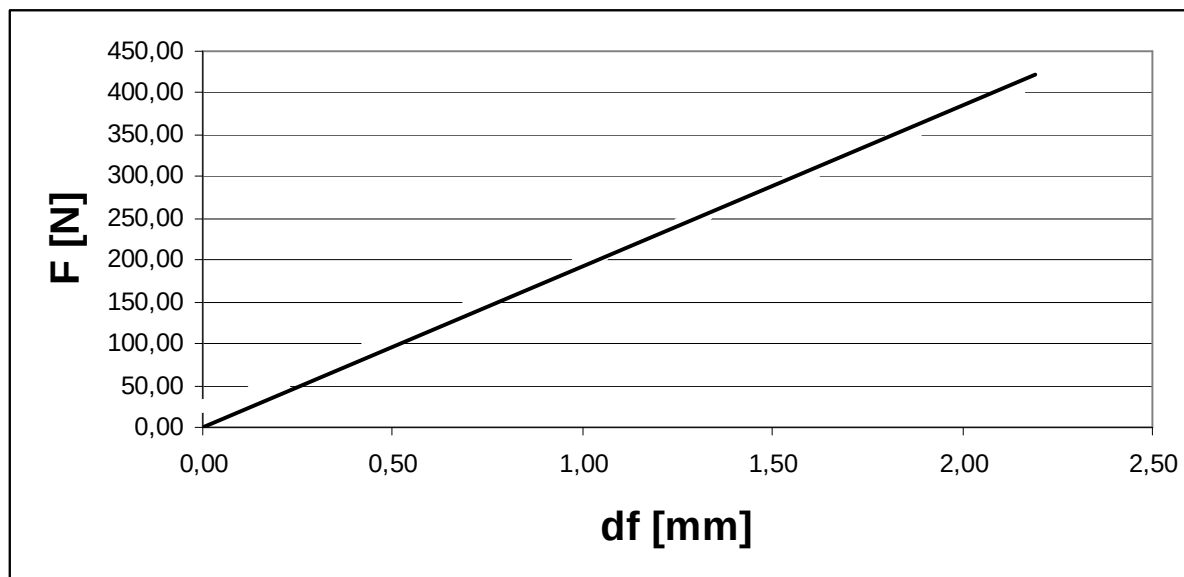
39. ábra: Kész szénszál erősítésű kompozit elektromos basszusgitár

Továbbá fontos megemlíteni, hogy az általam készített szénszál erősítésű elektromos kompozit basszusgitár összsúlya, szerelvényekkel együtt mindössze 3,5 [kg]. Összehasonlításképpen a referencia akusztikai mérések során használt Ibanez GSR-205 típusú fatestű basszusgitár összsúlya, szerelvényekkel együtt: 6,4 [kg]. A kompozit basszusgitár számos más előnyös tulajdonsága mellett jóval könnyebb, mint a hagyományos hangszerek, így nem okoz akkora megterhelést huzamosabb ideig történő játszás során az öt megszólaltató zenésznek.

4.5. A nyak mechanikai tulajdonságait vizsgáló mérések

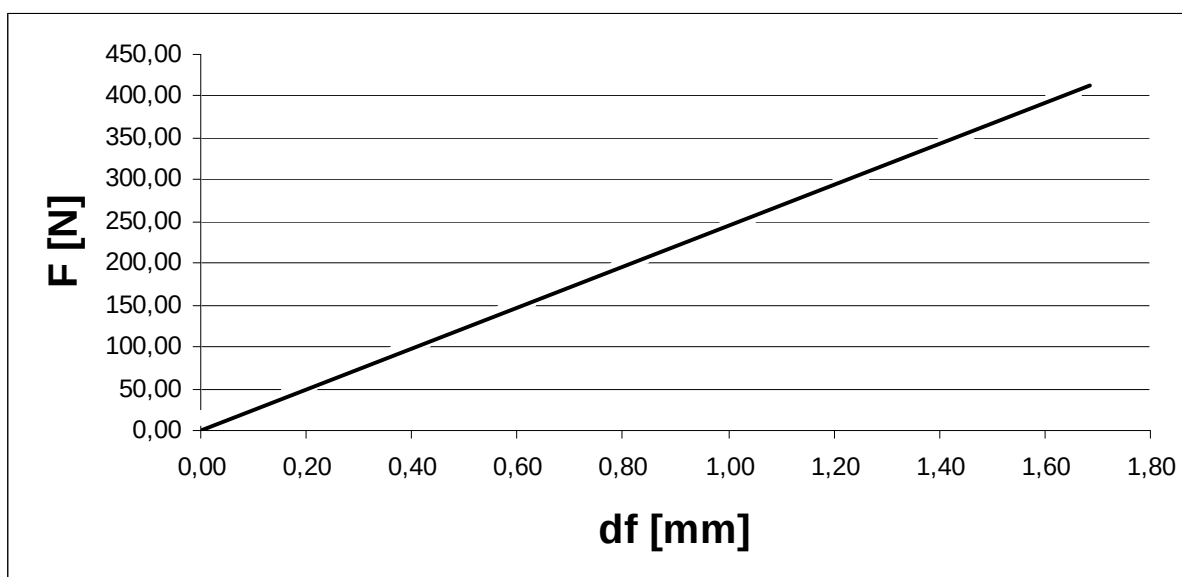
4.5.1. Hárompontos hajlító vizsgálat

A vizsgálatok eredményeit Microsoft Excel 2003 program segítségével dolgoztam fel. Az erő és a lehajlás értékeit megfelelő diagramokon ábrázoltam, illetve a felvett pontokra lineáris trend vonalat illesztettem. Az alábbi ábrákon láthatjuk a fa nyakon végzett vizsgálatokból kirajzoltatható lehajlás-erő görbét hétszeres terhelés mellett (40. ábra). A hétszeres terheléshez tartozó mérési eredményeket azért választottam, mert az ezekből felrajzolható diagramokat legkönnyebb összehasonlítani.



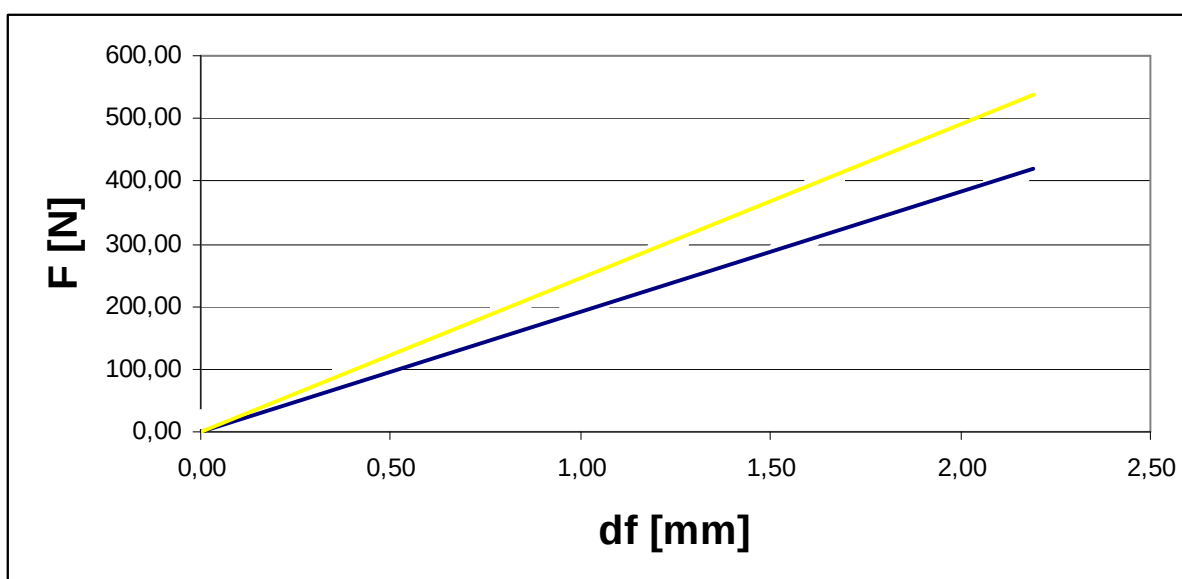
40. ábra: A fa nyak lehajlás-erő görbéje

Azonos módon szerkeszthetjük meg a kompozit nyakhoz tartozó lehajlás-erő görbét hétszeres terhelés mellett (41. ábra):



41. ábra: A kompozit nyak lehajlás-erő görbéje

A két görbét egy diagramon ábrázolva (sárga szín: kompozit nyak; kék szín: fa nyak) (42. ábra):



42. ábra: Hárompontos hajlító vizsgálat mérési eredményei

A diagramon jól láthatjuk, hogy a sárga színnel jelzett kompozit nyakhoz tartozó görbe meredekebb lefutású, mint a kék színnel jelzett fa nyakhoz tartozó görbe, tehát merevebb. Ezt számítással is alátámaszthatjuk, hiszen a szilárdságtanból ismert járulékképletet (20) felhasználva [32]:

$$f = \frac{F \cdot l^3}{48IE} \quad (20)$$

Ahol:

f: lehajlás adott terhelés mellett [mm]

F: adott terhelés [N]

l: alátámasztási távolság [mm]

I: másodrendű nyomaték [mm⁴]

E: rugalmassági modulus [GPa]

A képletet átrendezve kapjuk, hogy (21):

$$E = \frac{l^3}{48I} \cdot \frac{F}{f} \quad (21)$$

Ahol:

F/f: az egyes görbékhez tartozó meredekség [N/mm], ezen értékeket a diagramokról leolvasható

Az egyes görbe-mereedség értékek a különböző terhelésekhez tartozó értékeit az 5. táblázatban láthatjuk. Ezeknek az átlagát véve és visszahelyettesítve a fenti képletbe megkaphatjuk az egyes nyakakhoz tartozó rugalmassági modulus értékeket. Mivel a kompozit nyak esetében nem volt tökéletes a felfekvés, ezért csak négyszeres terhelés utáni eredmények átlagát vettem, előtte lévőket mérési hibaként elhanyagoltam.

Terhelés [N]	59	118	177	236	259	354	413	472	531	590
Kompozit nyak esetén [N/mm]	133,6	162,7	189,3	213,9	217,8	229,5	245,2	239,4	243	249
Fa nyak esetén [N/mm]	124,7	171	176,9	178,9	179	179,5	179,6			

5. táblázat: Görbe-mereedség értékek

A szénaszál erősítésű kompozit nyakhoz tartozó görbe merekségek átlagértéke: 233 [N/mm]

A fa nyakhoz tartozó görbe merekség értéke: 172 [N/mm]

Továbbá felhasználva a méretezés során már ismeretes paramétereket illetve, behelyettesítve a (21)-es képletbe a következő eredményekre jutunk:

1. eset: Fa nyak

$E_{fa}=16,7$ [GPa]

Megjegyzés: a fa nyak rugalmassági modulusának értéke azért tér el jelentősen a méretezés során felhasznált illetve a mérésből számított értéktől, mivel a méretezés során nem vettem figyelembe, hogy a fa nyak el van látva egy szénacélból készült merevítő-pálcával, mely jelentősen megváltoztatja szilárdsági tulajdonságait.

2. eset: Kompozit nyak

$E_{kompozit}=28,38$ [GPa]

Összességében láthatjuk, hogy a szénaszál erősítésű kompozit nyak sokkal merevebb, mint a fából készült társa, tehát nagyobb húrerők hatására is kisebb lesz a deformációja, így szükségtelenné válik a nyakmerevítő-pálca alkalmazása. Továbbá a méretezés helyesnek bizonyult, a számított és mért rugalmassági modulus értékek a kompozit nyak esetében közel azonosak.

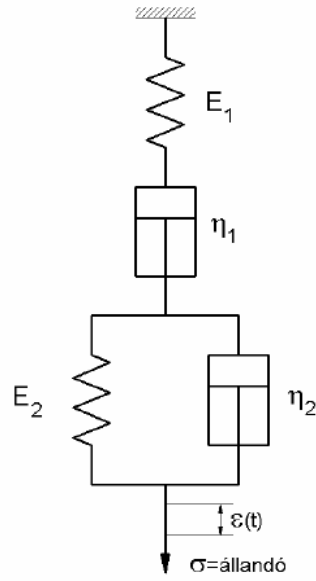
$E_{mért}=28,38$ [GPa]

$E_{számított}=26,7$ [GPa]

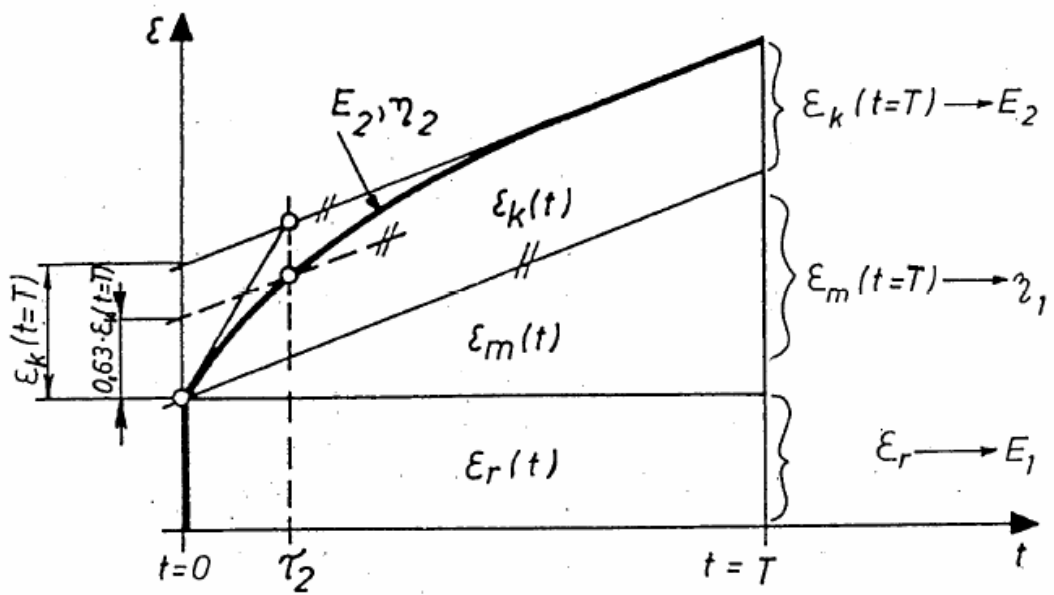
Eltérés=6,3 [%]

4.5.2. Kúszás vizsgálat

A kúszási viselkedés minőségi leíráshoz használható legkisebb elemszámú modell a négyparaméteres Burgers-féle modell (43. ábra). A modell egyes paramétereinek meghatározását a görbe kiértékeléséből kapjuk (44. ábra) [33].

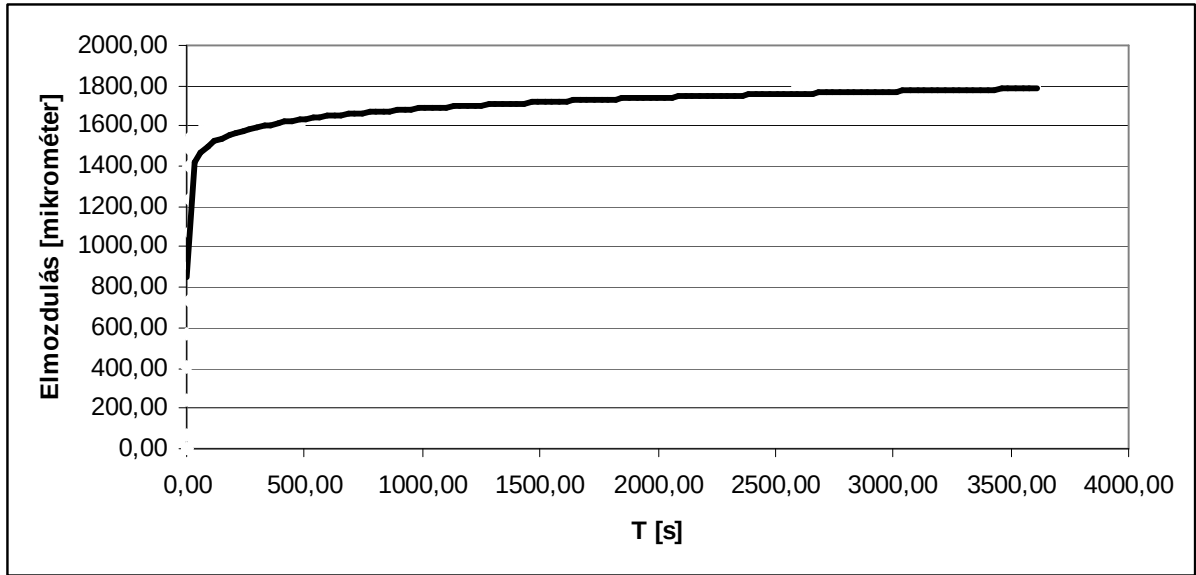


43. ábra: Burgers-féle modell [33]

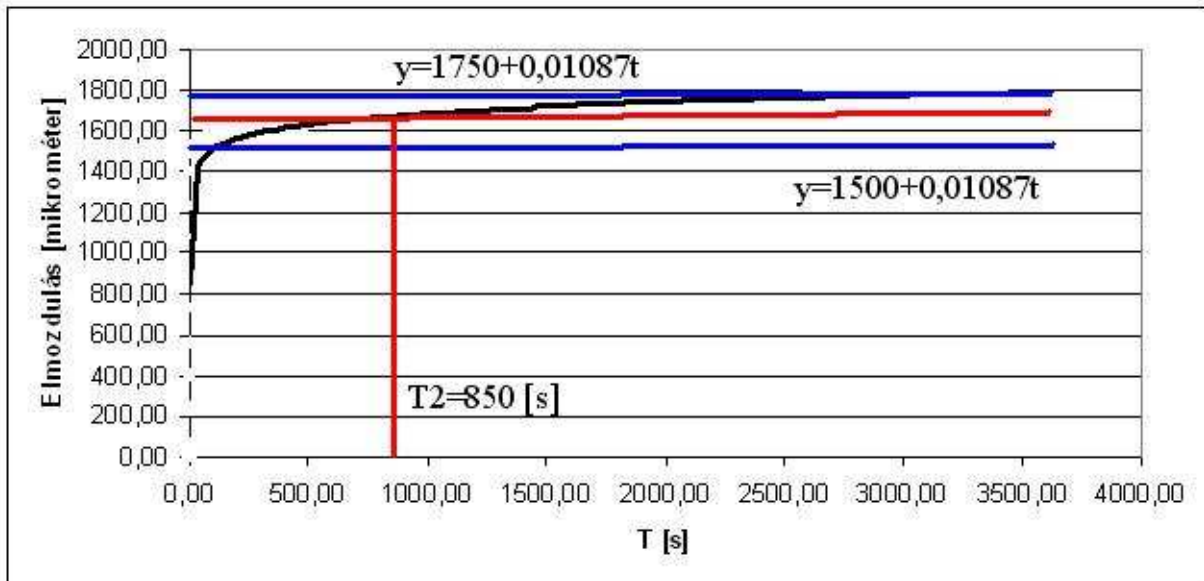


44. ábra: Kúszás görbe kiértékelése [33]

Az két ábra szemlélteti az általam mért kúszási görbét (45. ábra), illetve annak kiértékeléséhez szükséges szerkesztéseket (46. ábra).



45. ábra: Kúszási görbe



46. ábra: Kúszási görbe kiértékelése

A Burgers-féle összetett modell nyúlás-válasz függvénye az azt alkotó modellelemek válaszfüggvényeinek szuperpozíciójával összegezve az alábbi képlettel írható fel [33]:

$$\varepsilon_{\sigma}(t) = \varepsilon_r(t) + \varepsilon_m(t) + \varepsilon_k(t) \Rightarrow \varepsilon_{\sigma}(t) = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{\eta_1} t + \frac{\sigma_0}{E_2} \left(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} t} \right) \quad (22)$$

A következő képen határozhatjuk meg az egyenlethez szükséges paramétereket:

A $t=0$ időpillanatban mérhető ugrás nagysága ε_r , amelyből az E_1 paraméter határozható meg (23).

Megjegyzés: a kúszás görbe kiértékelése során ε értékek nem relatív elmozdulás értékek, tehát a kúszás görbe nincs átparaméterezve az y-tengelyen az elmozdulás értékek találhatók, melyeknek dimenziója mm. Ebből adódóan E_1 , E_2 dimenziója [GPa/mm], illetve η_1 , η_2 dimenziója [GPas/mm], így a Burgers-féle egyenlet végeredménye mm-ben adódik :

$$\varepsilon(t=0) = \varepsilon_r = \frac{\sigma_0}{E_1} \rightarrow E_1 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_r} \quad (23)$$

$$\sigma_0 = \frac{F}{A} = 0,59614 \text{ [GPa]} \quad (24)$$

Ahol:

σ_0 : a kezdeti feszültségérték [GPa]

$F=295$ [N]; a vizsgálat során a terhelés [N]

$A= 494,85$ [mm²]; a vizsgált keresztmetszet felülete

Mivel a kúszás görbéhez tartozó kezdeti érték leolvasható (továbbá Microsoft Excel vagy Graph programmal pontosan meghatározható), így E_1 paramétert könnyedén meghatározhatjuk (25).

$$\varepsilon_r = 1,5 \text{ [mm]}$$

$$E_1 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_r} = 0,3974 \text{ [GPa/mm]} \quad (25)$$

Megrajzolva $\varepsilon(t)$ görbe $t = T$ ponthoz tartozó érintőjét, majd a $(0, \varepsilon_r)$ ponton keresztül húzott párhuzamost ezzel az érintővel, és ugyanezen ponton keresztül húzott párhuzamost a t tengellyel is. Az így megrajzolt vonalak az $\varepsilon(t)$ görbe alatti területet az $\varepsilon_r(t)$, az $\varepsilon_m(t)$, és az $\varepsilon_k(t)$ nyúláskomponenseknek megfelelő mezőkre osztják (lásd: 35. ábra). Ennek a szerkesztésnek az eredményeként az ábráról lemérhető az $\varepsilon_k(t = T)$ és az $\varepsilon_m(t = T)$ értéke, melyekből az E_2 és az η_1 paraméterek számíthatók (26); (27) [33]. Fontos megjegyezni, hogy a $t=T$ ponthoz tartozó érintő közel párhuzamos az y-tengellyel meredeksége mindössze 0,01087 [μm/s]

$$\varepsilon_k(t = T) = \frac{\sigma_0}{E_2} \rightarrow E_2 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_k(t = T)} = 2 \text{ [GPa/mm]} \quad (26)$$

Ahol:

$T=3600$ [s]; mérés időtartama

$\varepsilon_k(t = T)=0,295$ [mm]; kúszási görbéről leolvasva

Továbbá:

$$\varepsilon_m(t = T) = \frac{\sigma_0}{\eta_1} \cdot T \rightarrow \eta_1 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_m(t = T)} \cdot T = 425920,8 \text{ [GPas/mm]} \quad (27)$$

Ahol:

$\varepsilon_m(t = T)=0,005$ [mm], kúszási görbéről leolvasva

$\varepsilon_k(t = T_2) \approx 0,63 \cdot \varepsilon_k(t = T)$ egyenlet alapján:

A $t = 0$ helyen az $\varepsilon = \varepsilon_r + 0,63 \cdot \varepsilon_k(t = T)$ pontból a görbe $t = T$ időponthoz tartozó érintőjével párhuzamost húzunk és megkeressük a görbével való metszéspontját. (lásd: 35. ábra) A metszéspontot merőlegesen levetítve a t tengelyre megkapjuk T_2 értékét. Ezután η_2 számítható (28):

$$\eta_2 = E_2 \cdot T_2 = 1700 \text{ [GPas/mm]} \quad (28)$$

Ahol:

$T_2=850$ [s]; kúszási görbéről leolvasva

Az előbbieken kiszámolt paramétereket visszahelyettesítve a Burgers-féle egyenletbe (22) kiszámolhatjuk a nyak elmozdulását egy meghatározott idő múlva.

Mivel a húrok húzóereje $F=59$ [N],

Továbbá a vizsgált keresztmetszet felülete $A=494,85$ [mm²], így (29)

$$\sigma_0 = \frac{F}{A} = 0,12 \text{ [GPa]} \quad (29)$$

A Burgers-egyenlet eredményei:

1 hét utáni deformáció:

$$T_{\text{hét}} = 604800 \text{ [s]}$$

$$\varepsilon_0(t=T_{\text{hét}}) = 0,53 \text{ [mm]}$$

1 hónap utáni deformáció:

$$T_{\text{hónap}} = 2678400 \text{ [s]}$$

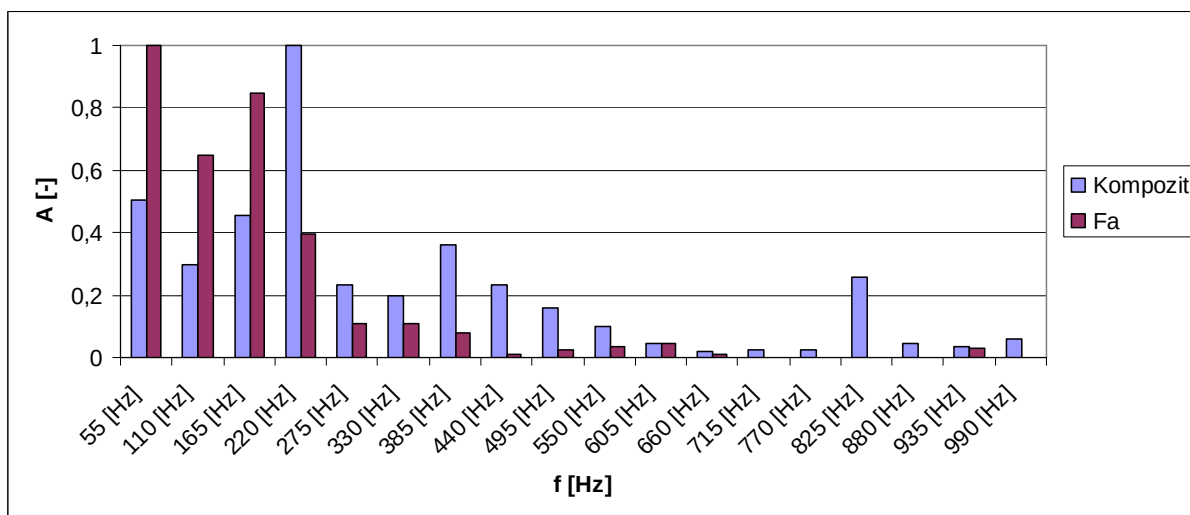
$$\varepsilon_0(t=T_{\text{hónap}}) = 1,11 \text{ [mm]}$$

Látható, hogy hosszú idő elteltével is viszonylag kicsi a húrok húzóerejéből adódó deformáció. Továbbá fontos megjegyezni, hogy ezen értékek a valósághoz képest sokkal nagyobbak, ezen pontatlanság abból adódik, hogy a felrajzolt kúszási görbe $t=T$ időpontjához tartozó érintő meredeksége a valóságban zérus (nem pedig igen kismereedségű egyenes), tehát a nyak a valóságban kúszik. Továbbá a Burgers-modell a legkisebb elemszámú, tehát a legpontatlanabb leírást adó kúszási viselkedés minőségét vizsgáló modell, a valóságban nem tapasztalható ekkora mértékű kúszás.

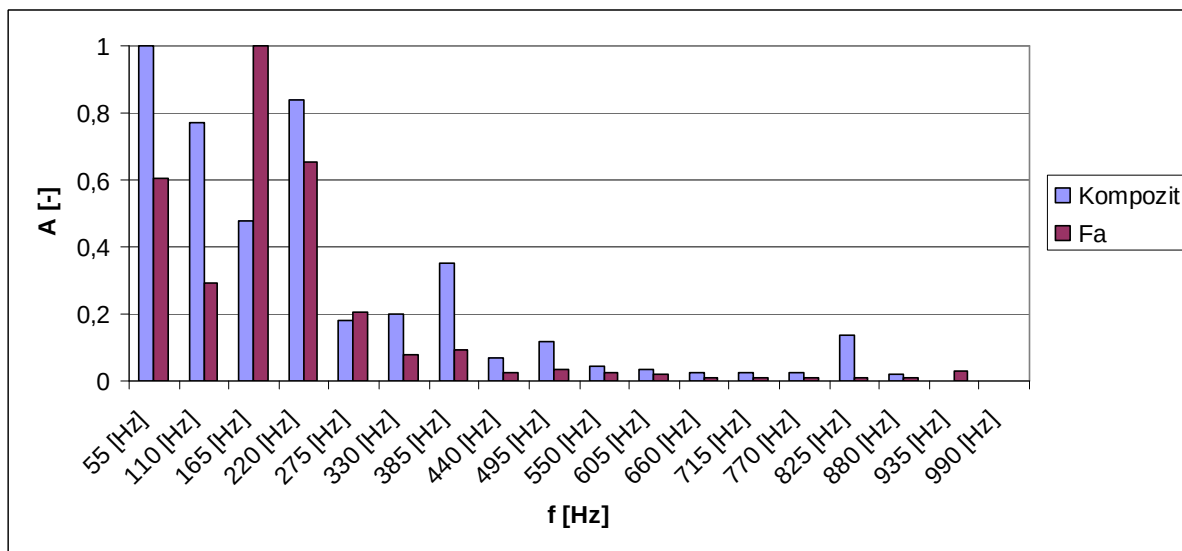
4.6. Akusztikai tulajdonságok

A 3. Felhasznált anyagok és vizsgálati módszerek című fejezet 3.2.4. Akusztikai mérések c. részében leírtak alapján elkészítettem az egyes mérési esetekhez tartozó oszlopdiagramokat, melyek az akusztikai tulajdonságok összehasonlításának alapjául szolgálnak.

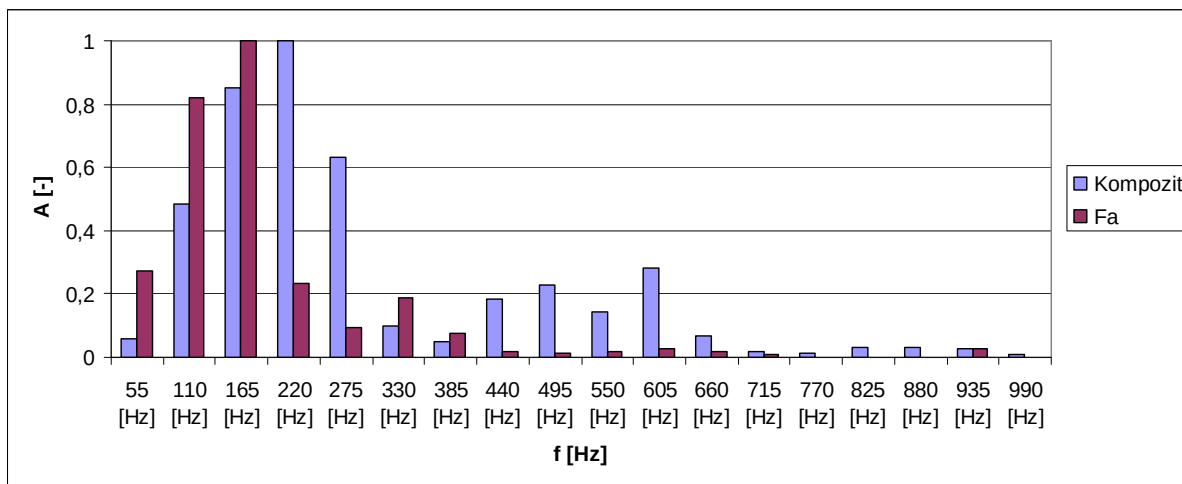
A továbbiakban közlöm a megszerkesztett diagramot. Az oszlopdiagramokon kék színnel jelzett adatok a szénszál erősítésű kompozit basszusgitárra vonatkoznak, a bordó értékek pedig a hagyományos basszusgitárhoz tartoznak. Az ábrák címe jelzi, hogy éppen milyen módszerrel kerültek rögzítésre a hangfájlok illetve milyen pengetési technikát alkalmaztam.



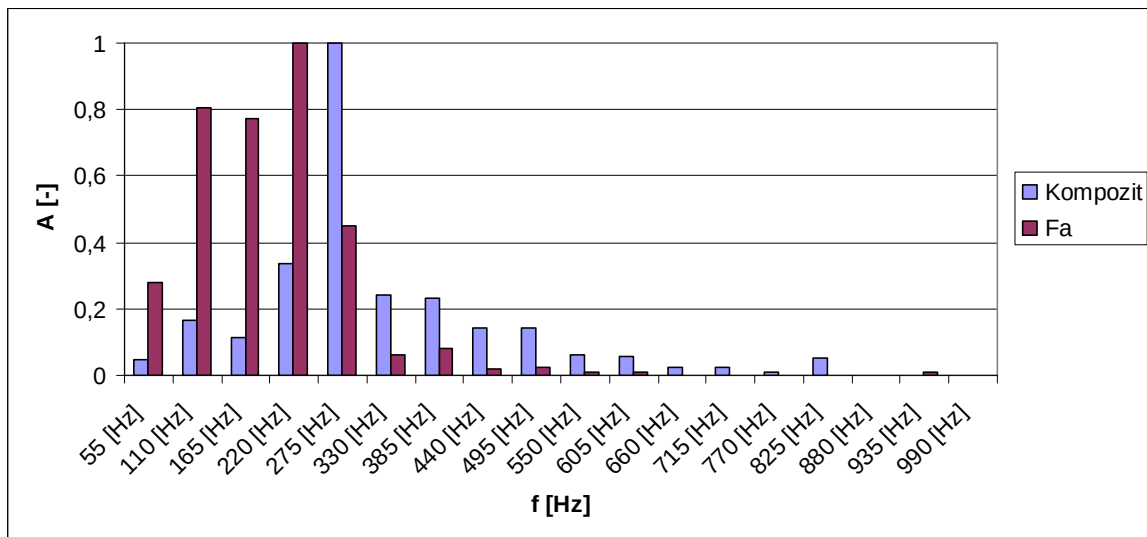
47. ábra: Mikrofon felvétel, pengetés: pengetővel



48. ábra: Mikrofon felvétel, pengetés: ujjal

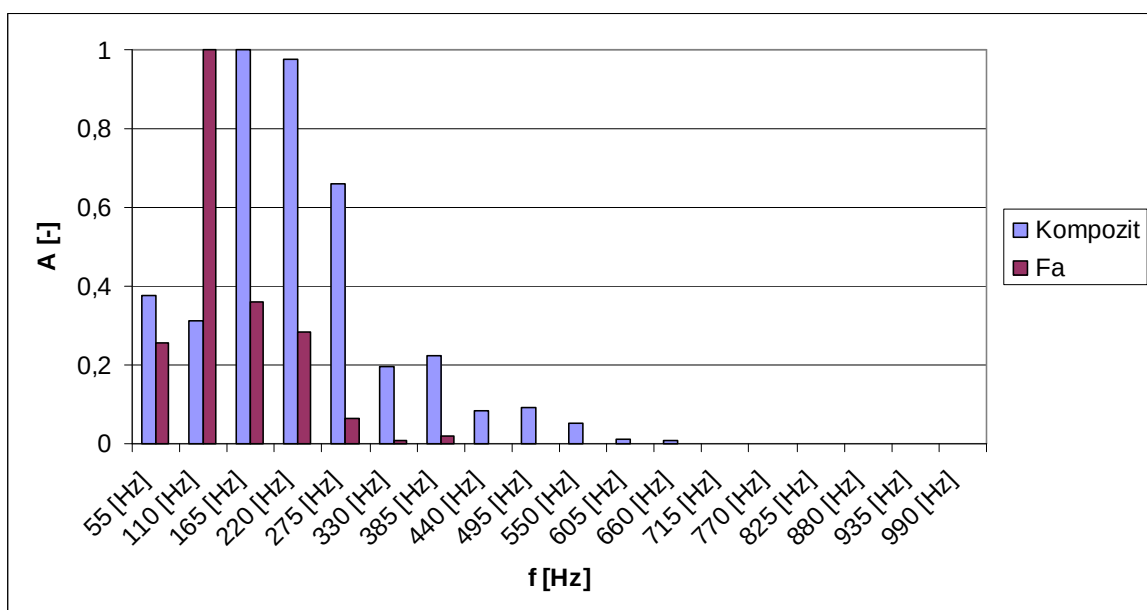


49. ábra: Testre rögzített mikrofon felvétel, pengetés: pengetővel

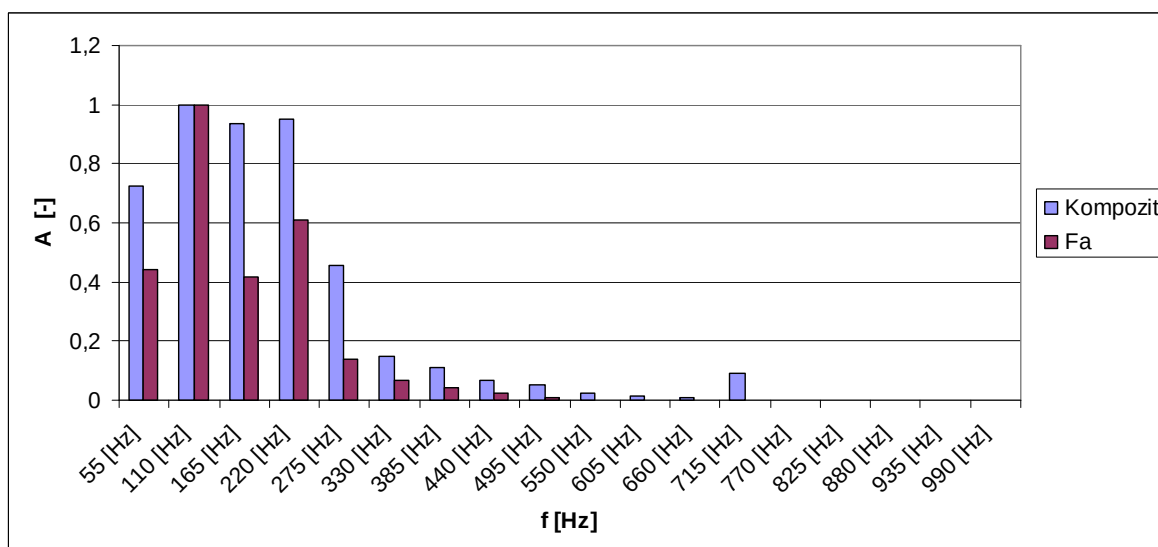


50. ábra: Testre rögzített mikrofon felvétel, pengetés: ujjal

A diagramok alapján láthatjuk, hogy mennyire befolyásolja a mérési eredményeket a mérési módszer, illetve az alkalmazott pengetési technika, mégis megállapíthatjuk, hogy a szénszál erősítésű kompozit basszusgitár hangja sokkal több felharmonikust tartalmaz, tehát sokkal gazdagabb hangzásvilággal rendelkezik, mint hagyományos társai. Meg kell említenünk viszont, hogy az elektromos gitárok esetében az akusztikai hangzás csak másodlagos, hiszen a gitárok hangosítása elektromos módon történik, így az elektromos jelet tetszés szerint módosíthatjuk. Ennek bemutatására az alábbi két diagramon láthatjuk a hangszedők által „előállított” hang frekvenciagörbéit (51.-52. ábra)



51. ábra: Hangszedő felvétel, pengetés: pengetővel



52. ábra: Hangszedő felvétel, pengetés: ujjal

A diagramokon jól láthatjuk, hogy ezen hangfelvételek sokkal kevesebb frekvenciakomponenssel rendelkeznek, mind az akusztikus módon rögzítettek. Ennek oka, hogy a hangszedők tisztán elektromos jelet állítanak elő, és kevesebb zajt vesznek fel a környezetükből, mint az akusztikus mikrofonok. Az elektromos jeleket sokkal könnyebben módosíthatjuk, szűrhetjük, egyes frekvenciakomponenseket kiemelhetünk, másokat elnyomhatunk. A hangszedő által előállított jel vizsgálata azért nem objektív, mivel a két különböző típusú basszusgitárban valószínűleg eltérő, általunk nem ismert karakterisztikájú hangszedő lett beépítve. Fontos megjegyezni, hogy ezen felvételi mód során is a kompozitból készült basszusgitár jóval több frekvenciakomponenssel rendelkezik, mint hagyományos társa.

Összességében elmondhatjuk, hogy a szénszál erősítésű basszusgitár egyedi akusztikai tulajdonságokkal rendelkezik, a felharmonikusainak száma többszöröse a hagyományos fatestű basszusgitárhoz képest, tehát akusztikai szempontból sokkal több lehetőséget rejt magában, mint hagyományos társai, hiszen több frekvenciakomponensből sokkal egyszerűbben tudjuk az elektronikával a megszólalási hangot módosítani.

5. Összefoglalás

Az irodalomkutatót, és az egyes tervezési szempontok alaposabb megvizsgálása után sikerült egy olyan basszusgitárt megépítenem, mely képes felvenni a versenyt a mai kereskedelmi forgalomban is kapható hagyományos fatestű hangszerekkel szemben mind

mechanikai, mind akusztikai téren. A dolgozatom elején megfogalmazott célkitűzéseket az elkészült szénszál erősítésű kompozit elektromos basszusgitár maradéktalanul teljesíti.

A tervezés során felmerülő problémákat sikerrel oldottam meg, a leghatékosabb megoldásokat választva. Az elkészült gitár, akárcsak hagyományos társai könnyen, egyszerűen szerelhető, illetve karbantartható, amely köszönhető a basszusgitár alapanyagát képező szénszál erősítésű kompozitnak illetve a megfelelő helyre beillesztett fainzerteknek.

Mechanikai tulajdonságait tekintve a fő teherviselő elemek merevebbek, mint a hagyományos fából készült gitárok esetében, így a húrok húzóerejéből származó deformáció is sokkal kisebb. Ezt a kompozit- és a referencia fanyakon elvégzett mérések maradéktalanul alátámasztották. További nagy előny a szénszál erősítésű nyak esetében az üreges geometriai kialakítás. Ezen tulajdonságának köszönhetően a gitár sokkal könnyebb, mint egy tömör fatestű változat, így sokkal kényelmesebb és könnyedebb a játék rajta hosszútávon. Továbbá az üreg akusztikai térként funkcionál, így erősítve a basszusgitár hangját.

Hangzásilag megállapíthatjuk, hogy az általam készített hangszer több frekvenciakomponenssel, felharmonikussal rendelkezik, emiatt sokkal gazdagabb, teltebb a hangzásvilága, mint a hagyományos társaié, így színesítvén a zenei palettát.

Anyagának köszönhetően a szénszál erősítésű kompozit elektromos basszusgitár sokkal ellenállóbb a környezeti, időjárási tényezőkkel szemben, hiszen ezen anyag nem vesz fel vizet, ellentétben a fával, tehát esőben is használható, továbbá nagymértékű hőmérsékletingadozást illetve tűző napsütést is képes elviselni különösebb következmények nélkül.

További fontos szempont a basszusgitár megjelenése, esztétikai tulajdonságai, illetve a kényelem. Az esztétikumot fokozza a testen és a nyak egyes részen található dekor szénszálszövet-réteg, továbbá a gitár egyedi festése. A kényelmi szempontokat is maradéktalanul teljesíteni, hiszen a gitár könnyű, megfelelő geometria kialakítással rendelkezik, tovább könnyen szerelhető és karbantartható.

Összességében elmondhatjuk, hogy az általam épített hangszer minden vele szemben támasztott igényt, követelményt teljesít. Továbbá különleges tulajdonságainak köszönhetően egy igen izgalmas és érdekes színfoltját képezi napjaink hangszeriparának.

Felhasznált irodalom

- [1]: <http://brebru.com/guitarhistory/3.html>
- [2]: http://www.metmuseum.org/toah/hd/guit/hd_guit.htm
- [3]: <http://www.harpguitars.net/history/org/org-lyres.htm>
- [4]: <http://www.gitarvilag.hu/gitar/tortenet>
- [5]: http://members.cox.net/warren.allen/Scale_Lengths/scale_lengths.htm
- [6]: Alan Ratcliffe: The Electric Guitar Handbook, New Holland Publishers (UK) Ltd., 2005
- [7]: <http://sharemyguitar.com/blog/history-of-the-electric-guitar/>
- [8]: <http://stringconnectionmusic.com/guitar%20sale.htm>
- [9]: Tony Bacon: The Ultimate Guitar Book, Dorling Kindersley Ltd, London, 1991
- [10]: <http://pedalboardsetup.blogspot.com/2011/05/set-up-de-kirk-hammett.html>
- [11]: http://www.fotolog.com/solo_guitars/57503447
- [12]: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Basszusgit%C3%A1r>
- [13]: <http://www.basslab.de/>
- [14]: http://gitarhangtechnika.hu/index.php?menu=2-2&oldal=cikkek/ht_ag_nh_2006_06_10_ashley&hol=cikk&kategoria=3&honnan=0&mennyi_t=10
- [15]: <http://en.wikipedia.org/wiki/Steinberger>
- [16]: <http://basstremfanatics.forumotion.net/t9-steinberger-trans-trem>
- [17]: <http://stipistop.com/blog/2011/07/04/szenszalas-rock-n-roll/>
- [18]: <http://www.luisandclark.com/the-instruments/>
- [19]: <http://www.carbonfiberglass.com/6-sexy-carbon-fiber-guitars/>
- [20]: <http://www.gitar-gitarozas.info/hasznosoldalak.html>
- [21]: <http://www.joelguitars.com/joel-guitar-neck.html>
- [22]: www.gitarcentrum.hu
- [23]: <http://www.ebay.com/itm/Ibanez-GSR205FM-5-String-Bass-Guitar-w-Flamed-Maple-Top-/260840289470>
- [24]: <http://www.austrotherm.hu/upload/dokumentumok/termekek/muszaki/extrudalt/xps20.pdf>
- [25]: http://www.zoltek.com/pdf/MSDS_PANEX.pdf
- [26]: www.sigratex.com
- [27]: <http://www.ipox-chemicals.de/en/products/#epoxy-systems/composite/>
- [28]: http://hu.wikipedia.org/wiki/Fa_%28anyag%29

[29]: http://wiki.ham.hu/index.php/Fourier_transzform%C3%A1ci%C3%B3

[30]: <http://www.daddario.com>

[31]: Richard Mark French: Engineering the Guitar, Theory and Practice, Springer
Science+Business Media, LLC 2009

[32]: Orvostechnikai anyagok (BMEGEMTAMOA) c. tantárgyhoz tartozó Csont és műcsont
hárompontos hajlító vizsgálata c. mérési segédlet

[33]: Polimerek anyagszerkezetana és technológiája (BMEGEPTAG0P) c. tantárgyhoz
tartozó B5 Kúszás c. mérési segédlet