

TURBINATÁRCSA VÉGESELEMES ANALÍZISE EKVIVALENS ÜZEMMÓDOK MEGHATÁROZÁSÁRA

BEVEZETÉS

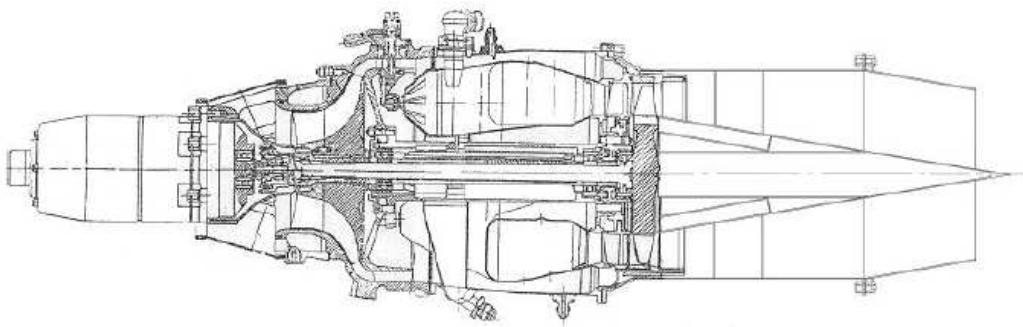
A BME Repülőgépek és Hajók Tanszékén TKT-1 néven egy kísérleti gázturbinás sugárhajtómű került kifejlesztésre, amelyet a MiG-23/Szu-22 típusú harci repülőgépeken rendszeresített TSz-21 típusú indító gázturbinából alakítottak át. Munkám célja, hogy az említett sugárhajtómű gázgenerátor turbinájának járókerék tárcsájában ébredő, a hajtómű indítása során fellépő, időben változó termikus igénybevételek esetén kialakuló feszültségeket meghatározzam. A végeelem program által meghatározott feszültségekből – ekvivalens üzemmód számítás útján – következtetéseket lehet levonni azon időtartományra vonatkozóan, amelyben az említett berendezés biztonságosan üzemeltethető. Erre azért van szükség, mert a TSz-21, mint indító gázturbina eredetileg csak 40-50 másodpercig üzemelt. Ugyanakkor kísérleti berendezésként használva legalább 3-5 perces időintervallumban működik, így szükséges azt tudni, hogy hajtómű hőigénybevételeknek leginkább kitett részegységei mennyi ideig terhelhetők az egyes üzemmódokon. A berendezés ekvivalens üzemmódjainak meghatározásával szeretnék hozzájárulni a hajtómű biztonságosabb és ellenőrizhetőbb működéséhez, valamint a hajtómű üzemidő nyilvántartásának elkészítéséhez.

Ennek a cikknek a keretein belül ismertetem a tárcsa végeelem analízisének főbb lépéseit, a hálózás, a kényszerek és terhelések elhelyezésekor alkalmazott feltevéseimet, beleértve a modellen alkalmazott elhanyagolásokat és egyszerűsítéseket is. Cikkem utolsó részében bemutatom az ekvivalens üzemmódok számításának elméletét, illetve annak főbb törvényszerűségeit is.

A TKT-1 KÍSÉRLETI BERENDEZÉSRŐL

A TKT-1 típusú kísérleti sugárhajtóműves berendezés a BME Repülőgépek és Hajók tanszékén került kifejlesztésre, abból a célból, hogy a kar repülőgépes képzésében tanuló hallgatók annak működésén keresztül megismerhessék a gázturbinás hajtóművek működését és bekapcsolódhassanak a tanszék ilyen irányú tudományos munkájába. A berendezés a már korábban említett TSz-21 típusú indító gázturbina gázgenerátor egységének átalakításával jött létre, melynek részeként a hozzákapcsolódó munkaturbina modul eltávolításra került, mivel az eredeti egység konstrukciójánál fogva tengelyteljesítmény teljesítményt szolgáltatott. Felépítését tekintve egy egyfokozatú centrifugális kompresszorból, a hozzá tartozó axiális diffúzorból, gyűrűs-csőves égéstérből és egy egyfokozatú

axiális turbinából áll. A hajtómű fűvócsőve gázsebesség fokozó redőnyzettel is rendelkezik. A turbina járókerék tárcsájának hűtése kétféleképpen valósul meg, egyrészt a kompresszortól elvett (hűtő)levegő útján, másrészt a tárcsa árammvonalazását is biztosító központi kúp segítségével [1]. Ez utóbbit munkám során nem vettem figyelembe. A hajtómű hosszmetzeti rajza az 1. ábrán látható.



1. ábra - A TKT-1 hosszmetzeti rajza

A VÉGESELEM MÓDSZER

Az 1950-es évektől kezdve a repülőgépek szerkezetének mind bonyolultabbá válásával szükségesnek mutatkozott egy olyan számítási módszer kidolgozása, amelynek segítségével az egyes szerkezeti elemek igénybevételei kis időráfordítás mellett könnyen meghatározhatók. Erre kínált megoldást a végelem módszer kifejlesztése, amely egyszerűsége révén mára nemcsak a repülőgépiparban, de számos más területen is széles körben alkalmazásra került.

A módszer alapja, hogy egy felmerülő, igénybevételeit tekintve, összetett feladatot egy egyszerűbbel helyettesít, illetve modellez, amelynek segítségével lehetővé válik a feladat közelítő megoldása [3]. A feladat bizonyos, az analízis szempontjából lényegtelen, jegyeinek elhagyásával alkotott modell kialakítása két fő szempont szerint történhet. Az első, hogy az elemzés alapjául szolgáló modell a legjobban közelítse a valós szerkezetet, annak járulékos paramétereivel (peremfeltételeivel) együtt. A második, hogy az elemezni kívánt szerkezet mechanikai tulajdonságai jó közelítéssel, kevés időráfordítás mellett, meghatározhatóak legyenek. A végelem módszer olyan számítási eljárás, amelynek során a kitűzött feladat megoldása approximációs polinomok segítségével történik [4]. Matematikai megfogalmazásában a mátrixos írásmódra támaszkodik, mely lehetővé teszi a felállított egyenletek, egyenletrendszerek tömörített írásmódját és számítógépi programozhatóságát. Előnye a hagyományos vizsgálati eljárásokkal szemben az, hogy az elemzés tárgyának bármilyen alakja, formája illetve kényszerezése lehet. Ebben a fejezetben a módszer elméleti alapjait ismertetem, annak matematikai apparátusa ismertetésére nem térek ki.

A végeelem módszer rövid ismertetése

A végeelem módszerben a vizsgálat tárgyát véges méretű részekre ún. elemekre bontjuk. Az elemzés során, a feladat típusától, összetettségétől és bonyolultságától függően, különböző méretű és alakú elemek alkalmazhatóak. Az elemek alakját minden esetben az ún. csomópontjai (sarokpontjai) határozzák meg, számukat és típusukat többnyire a vizsgálandó tárgy geometriája szabja meg, valamint az, hogy hány független paraméter szükséges az elemezni kívánt rendszer leírásához. A végeelem módszer felületi és térfogati elemtípusokat egyaránt megkülönböztet, ilyenek például a három, négy illetve sokszög alakú felületi, illetve a tetraéder, hexaéder stb. típusú térfogati elemek. A felsorolt elemfajtákon kívül további speciális típusok alkalmazása is lehetséges, amennyiben ezt vizsgálandó tárgy geometriája megkívánja.

A végeelem módszer segítségével történő feladatmegoldások során egy több lépcsős megoldási algoritmust alkalmazunk, melyben a következő műveleteket végezzük el:

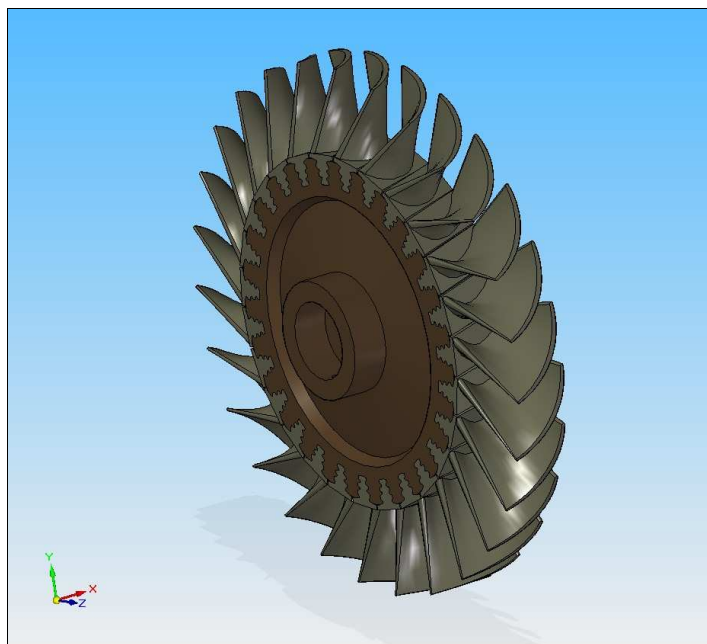
- a szerkezet egyszerűsítése
- a helyettesítő modell meghatározása vagy a megfelelő interpolációs módszer megválasztása
- az elemmerevségi mátrixok és a terhelések meghatározása
- az elemekre vonatkozó egyenletek felírása a feladatot leíró egyenletrendszer összeállításához
- a rendszer megoldása az ismeretlen csomóponti elmozdulásokra
- az egyes elemek igénybevételeinek kiszámítása

A feladatmegoldások mindegyike három probléma valamelyikére, ezek sorrendben a statikus (idő-független) és a sajátérték problémák, valamint az időben változó (tranziens) terhelések vizsgálata [2]. A felmerült esetek megoldására számos módszer kínálkozik, ilyenek például a Gauss, Runge-Kotta, Choleski illetve a numerikus és a véges differencia módszerek is.

A MODELL ELEMZÉSÉNEK ELŐKÉSZÍTÉSE, HÁLÓZÁS

Az elemzés alapjául választott modell

A vizsgálatom tárgyául választott turbinatárcsa számítógépes modellje a munkám megkezdésekor STEP és IGES fájlformátumokban a rendelkezésemre állt, amelyek vizsgálatához az ANSYS 11.0 nevű végeelem szoftver WORKBENCH modulját használtam fel. Az elemzés szempontjából a tárcsa és a lapátok együttes vizsgálatát tartottam a legalkalmasabbnak az munkám elvégzéséhez. Az analízisre kiválasztott modell (tárcsa és lapátok) az 2. ábrán látható.



2. ábra - Az analízis alapjául választott modell

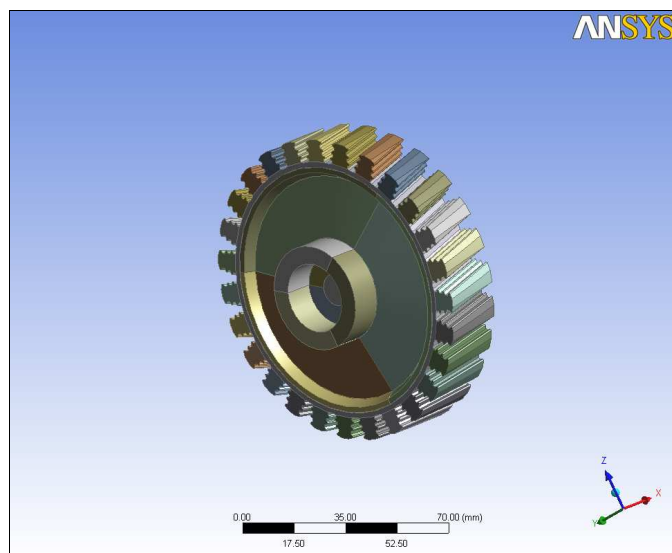
A modell előkészítése a hálózáshoz

A végeselem módszerrel vizsgált testek, rendszerek elemzésének fontos eleme a modell, hálózáshoz való, előkészítése. A mai végeselem programokhoz már elérhetőek olyan hálózó modulok (pl. GAMBIT), melyek az egyes elemek geometriája szempontjából legoptimálisabb hálózási peremfeltételeket illesztik a modell felületére. Mivel az általam végzett analízishez a rendelkezésre álló számítástechnikai kapacitás korlátozott, így az egyes vizsgálatok futási idejének lerövidítése érdekében a tárcsa és a lapátok alkalmas részekre való felbontásával igyekeztem a geometria szempontjából legoptimálisabb hálót elkészíteni.

A tárcsa előkészítése

A turbintárcsa előkészítését a hálózást megnehezítő, de az elemzés eredményét jelentősen nem befolyásoló szerkezeti részek módosításával kezdtem meg. Így feltöltésre került a tárcsa munkaturbina felé eső oldalán elhelyezett központfurat, valamint annak helyén elhelyezkedő kimunkálást is síkban levágtam, illetve ugyancsak feltöltöttem a tengely csatlakozás helyén lévő átmenő furatot is.

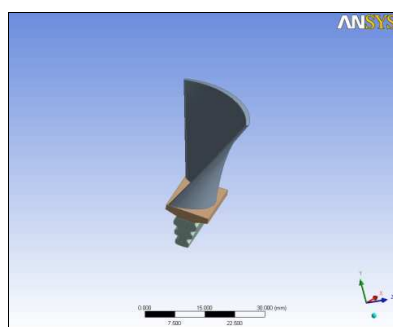
A tárcsa felbontását a fenyőfa-illesztések leválasztásával folytattam. Mivel e testeknek a geometriája alkalmas hexaéder elemekből felépített háló elhelyezésre, mely nagyban lecsökkenti az elemszámot és a vizsgálat időtartamát. A fenyőfaillesztések leválasztása után a tárcsát a lapátok osztásának megfelelően három 120° -os központi szögű részre osztottam fel, valamint a tárcsa geometriájának megfelelő módon a középsíkjukkal egybevágó sík mentén meg is felezttem azokat. További szétválasztást alkalmaztam még a nyomaték átvitel helyén is. A tárcsa felbontásának módja a 3. ábrán látható.



3. ábra - A tárcsa felosztásának módja

A lapátok előkészítése

A lapátok előkészítése esetében is, a geometria szempontjából legoptimálisabb háló elérése érdekében, a modell felosztása mellett döntöttem. Így a lapáttő síkjában elválasztásra kerültek egymástól fenyőfailesztés és a lapát áramlási felülete. Ugyancsak különválasztottam a lapátokkal érintkező központi testet és a fenyőfailesztést is. Az alkalmazott változtatások a 4. ábrán láthatóak.

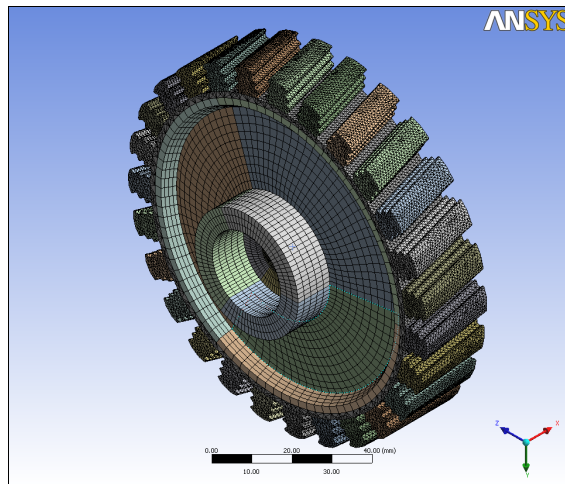


4. ábra - A lapátok felosztásának módja

A tárcsa és a lapátok hálózása

A tárcsa

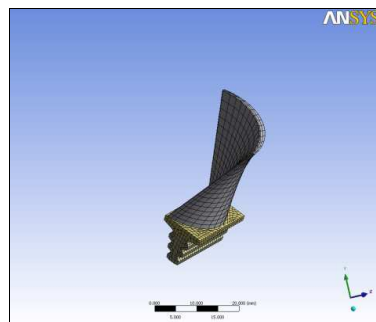
A tárcsa geometriája lehetővé tette a járókerék agy és abroncs közötti rész hexaéder elemekből felépülő, sugaras szerkezetű háló alkalmazását, amelyet az ANSYS **Mapped Face Meshing** parancsa valósít meg. A fenyőfailesztések és a járókerék felosztása során kialakított, az illesztésekhez kapcsolódó gyűrűk esetében, azok szabálytalan geometriája illetve a lapátillesztések elfordítása miatt, egyszerű tetraédes szerkezetű háló került kialakításra. A lapátokról átvitt mechanikai és termikus (hőátadás) igénybevételek indokoltá teszik az elemszám növelését ezeken a területeken. A tárcsán kialakított háló az 5. ábrán látható.



5. ábra - A tárcsára illesztett háló

A lapátok

A lapátok áramlási felületei, a fenyőfa-illesztések, valamint a kontakt-elemek esetében, azok egyszerű alakja miatt, úgy nevezett **Sweep**¹ típusú hálót alkalmaztam. Az ilyen típusú hálónak, az egyszerűségén kívül, előnye, hogy lerövidíti a futtatás idejét. A központi és a lapát illesztési testek esetében hexaéderekből felépített háló került alkalmazásra. (6. ábra)



6. ábra - A lapátokra illesztett háló

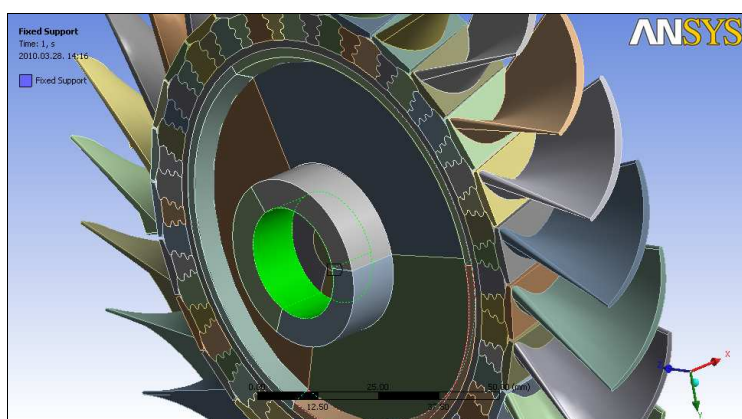
Kényszerek

A tárcsa és a lapátok kényszerezése két részből tevődik össze. A lapátok az eredeti turbina tárcsán acél kapsokkal vannak rögzítve, melyek megakadályozzák azoknak a tárcsából való kicsúszását. Erre a célra az axiális mozgást megakadályozó kényszer alkalmazása a legmegfelelőbb. Ennek modellezésére az előzetesen kialakított kontaktfelületek mentén ún. **Bonded** típusú kapcsolatot értelmeztem. Az ilyen típusú peremfeltételek az egyes kapcsolódási felületek között ragasztott kapcsolatot hoznak létre, mely ebben az esetben megköti a lapátok valamennyi mozgási szabadságfokát. A lapátok és a tárcsa közötti kapcsolat definiálásakor feltételeztem, hogy a hajtómű működése közben, csak a centrifugális erő

¹ **Sweep:** Olyan hálózási típus az ANSYS végelem programban, amely „téglatestekből” felépített hálót helyez a behálózni kívánt test felületére

vektorának irányába eső felületeken jön létre érintkezés, így a korábban említett peremfeltételt csak ezekre adtam meg.

A tárcsa esetében a nyomaték-átvitel annak forgástengelyével párhuzamosan kialakított perem belső felületén valósul meg, amely indokolja, hogy a tárcsa mind a hat mozgási szabadságfokának (mozgás X, Y, Z tengelyek irányába, valamint azok körül való elfordulás) megkötését. Ugyanakkor ilyen peremfeltételek mellett a hőterhelés hatására az előzetes futtatások eredményei alapján feszültségcsúcsok jelentkeztek, így a 7. ábrán jelölt területen rugalmas megfogást alkalmaztam, amely engedi a tárcsa hő hatására való alakváltozását és megakadályozza, hogy a hőtágulás megakadályozásából a rögzített területen feszültség-növekmény jöjjön létre. Az ilyen típusú kényszer viszont nem akadályozza meg a járókerék axiális irányú elmozdulását, így ezt a mozgási szabadságfokot járókerék középtengelyére értelmezett axiális mozgást megakadályozó kényszerrel kötöttem le.



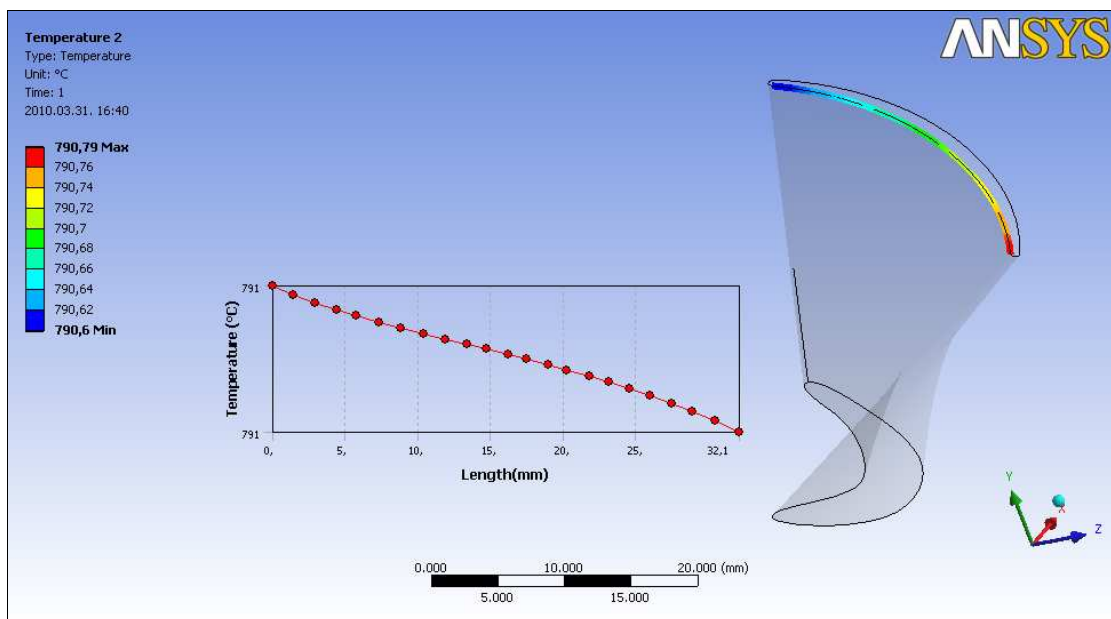
7. ábra - Kényszerek a modellen

Terhelések

Hőmérsékleti igénybevételek

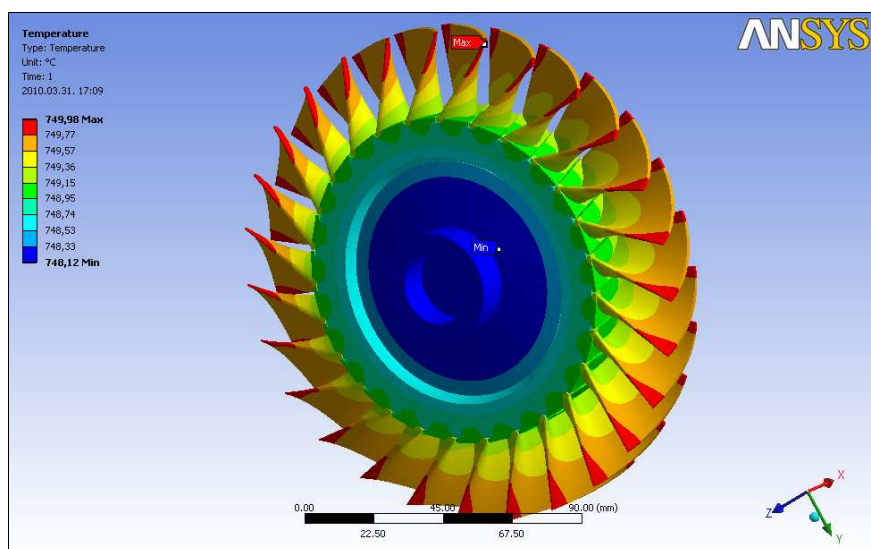
A hőmérsékleti igénybevételek elhelyezésekor több helyen is a valóságos állapottól való eltérés vált szükségessé, a futtatási idő lerövidítése, illetve a későbbi tranziens elemzés terhelés együttesének egyszerűsítése érdekében. Ilyen eltérés például, hogy egy valóságos turbinalapát esetében a palást mentén a hőmérsékletcsökkenés nagy része a húr hossz első negyedében játszódik le, míg az általam alkalmazott esetben a hőmérséklet csökkenése a húr hossz függvényében lineáris. A későbbi tranziens vizsgálatok elvégzésekor ez a hőmérsékleti megoszlás kerül elhelyezésre a többi lapát felületére is valamennyi futtatási időpillanatban.

További egyszerűsítés, hogy a turbinában bekövetkező entalpiacsökkenés nagy része a forgólapáton játszódik le, így az álló lapáton bekövetkező entalpiacsökkenés figyelembevételétől eltekintettem és a forgólapátokra való belépésnél T_3^* égéstér utáni hőmérsékletet tételeztem fel. Ugyancsak eltekintettem a hőmérséklet hosszmenti megoszlásától is és azt a teljes lapáthossz mentén változatlanul tételeztem fel. A paláston a hőmérséklet eloszlását a 8. ábra mutatja.



8. ábra - Hőmérséklet eloszlása a lapátok mentén (eloszlási görbével)

A TKT-1 kísérleti gázturbinás sugárhajtóművön a turbina tárcsája a kompresszortól elvett levegő segítségével hűtést kap, ezt az igénybevételt T_2^* hőmérsékletű levegő hatását imitáló igénybevétel elhelyezésével modelleztem a tárcsa kompresszor felé eső oldalán. Az áramvonalazó kúpon keresztüli hűtés nem került figyelembe vételre. Sajnos jelenleg nincs ismeretünk arról, hogy a kompresszortól a tárcsához juttatott levegő az áramlási térbe jutva az áramló közeggel, hogyan keveredik vagy milyen mértékű hőmérsékletcsökkenést okoz a lapáttő mentén, így ennek hatását, munkám során, figyelmen kívül hagytam. Mind a lapát mind a tárcsa esetében, az előzetes vizsgálatok azt mutatták, hogy a hőmérsékleti viszonyokat a legjobban a hőközlést feltételező peremfeltételek megadása közelíti. Így turbina termikus igénybevételeinek modellezésére a már említett hőközlési kényszert alkalmaztam. A tárcsára felvett termikus igénybevételek a 9. ábrán láthatóak. A bemutatott ábrák a maximális termikus igénybevételek keletkezésének (égéstér begyújtása) állapotát mutatják.



9. ábra - Termikus igénybevételek a tárcsán

Mechanikai illetve nyomásból származó igénybevételek

A TKT-1-en végzett korábbi számítások azt mutatják, hogy a gázerők miatt a lapátokban ébredő feszültségek a centrifugális erőből adódó feszültségekhez képest jóval kisebbek. Korábbi számítások alapján kimutatható, hogy különböző üzemmódokon a nyomásból származó feszültségek 4-5%-a centrifugális erőből származóknak [2]. Ebből kiindulva a vizsgálat során ezeket a terheléseket nem vettem figyelembe. Az igénybevételek felvételekor alkalmazott változások és elhanyagolások többségében hozzájárulnak ahhoz, hogy az elemzés során a ténylegeshez képest nagyobb feszültségek jöjjenek ki eredményül, amely az ekvivalens üzemmódok meghatározásánál a biztonság felé való tévedést eredményez, ugyanis a munka célja, hogy a TKT-1 típusú kísérleti berendezés üzemidő számításának elkészítése.

Anyagmodell

A vizsgálat elvégzéséhez egyszerű lineáris anyagmodell került alkalmazásra. Az anyag tulajdonságok (a terhelés hatására bekövetkező) időbeli változása (kúszás) nem lett figyelembe véve. Mivel a lapát és a járókerék anyagának típusáról nem állt rendelkezésemre bővebb információ, így az analízis egyszerűsítése érdekében mindkét esetben ugyanazt az acél típust választottam. Így a korábbiakban a lapát-tárcsa érintkezési felületeknél megadott **Bonded** kényszer nem visz be járulékos feszültséget a modellbe, amely állapot, ilyen kényszer alkalmazása esetén, hőterhelések vizsgálatánál előfordulhat.

EKVIVALENS ÜZEMMÓDOK MEGHATÁROZÁSÁNAK ELMÉLETE

A cikk készítésének pillanatában a tárcsa végeelem analízisének csak az állandósult üzemmódon futtatott előzetes statikus vizsgálatok eredményei álltak a rendelkezésemre, ezért az ekvivalens üzemmódoknak csak az elméleti háttérét ismertetem. Munkám célja, hogy meghatározzam a berendezés ekvivalens üzemmódjait az elemzés eredményeül kapott $\sigma_{\max}(t)$ függvény alapján. Ahogy a bevezetésben már említettem, a TSz-21-es indító-gázturbina, így az abból kialakított TKT-1 is, eredetileg 40-50 másodpercig üzemelt csak, kísérleti berendezésként viszont legalább 3-5 perces időtartamban működik. A hajtómű üzemképességének megőrzése, valamint a berendezést kezelő hallgatók biztonságának érdekében szükséges azt tudni, hogy az egyes üzemmódokon mennyi ideig üzemeltethető biztonságosan.

Károsodási elméletek

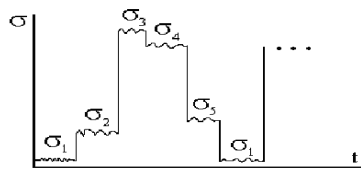
Az ekvivalens üzemmódok meghatározásának legjobb módja a károsodási paraméter alapján való üzemmód számítás. A károsodási paraméterek vizsgálata a modern üzemeltetés-elmélet központi témája. Lényege, hogy egy relatív károsodási paramétert számítsanak ki, amely az üzemeltetés tárgya elhasználódását, károsodását jellemző komplex károsodási paraméter és a meghibásodási határ elérését jellemző érték viszonyszáma:

$$\bar{d} = \frac{d}{d_{\max}} \quad (1)$$

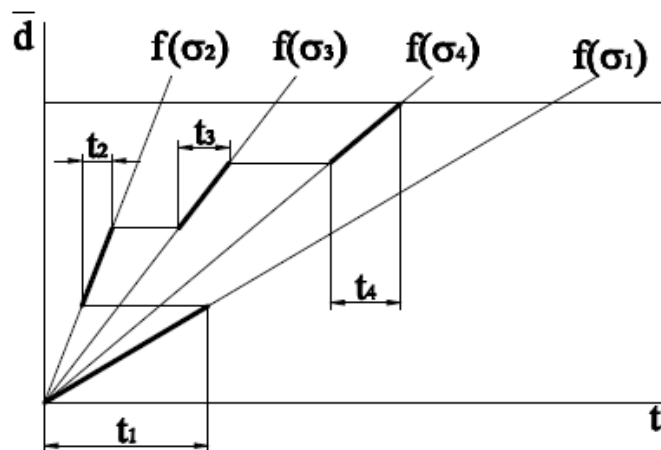
ahol

- d : a károsodást jelző komplex károsodási paraméter
- $d_{\max}$: a meghibásodási határt jellemző érték

Az üzemeltetés-elmélet több határállapot típust is megkülönböztet egymástól, ilyenek például az üzemeltetési, elkülönítési, károsodási, kiselejtezési [5]. Munkám során az ekvivalens üzemmódokat a korábban már említett, a TKT-1-es 40 másodperces indítási folyamatára kiszámított, feszültség időfüggvény alapján fogom meghatározni. Ehhez a szakirodalmakban rendelkezésre álló károsodási elméletek által kínált összefüggéseket fogom alkalmazni. Valamennyi károsodási elmélet kiindulópontja, hogy meghatározza, hogy a berendezés az egyes üzemmódokon mennyi időt üzemel (10. ábra), és ez alapján felvázolja az egyes terhelési szinteket jellemző károsodási folyamatot. [5] (11. ábra)

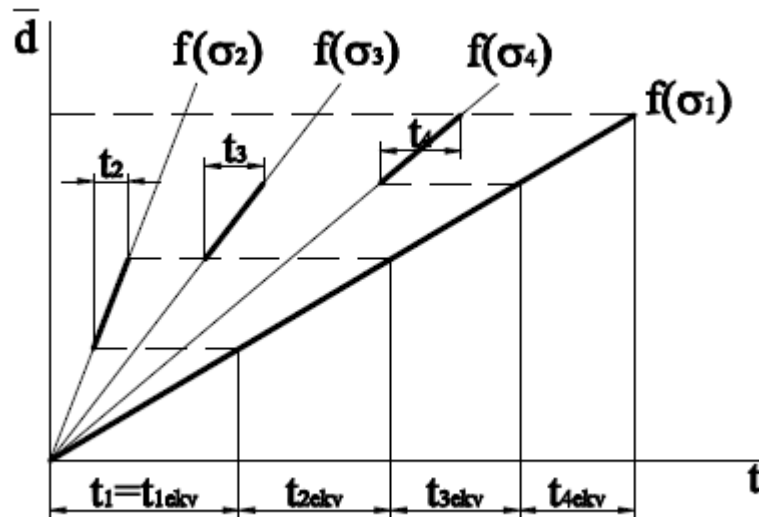


10. ábra - Üzemelési tartományok



11. ábra – Az egyes terhelési szinteket jellemző károsodási folyamatok

Ezek alapján az ekvivalens üzemmód számítás segítségével egyes üzemmódok átszámíthatóak egymásra. Így megállapítható, hogy az egyes terhelési szinteken eltöltött idő milyen nagyságú üzemidőnek felel meg a többi terhelési szinten. Az átszámítás módját a 12. ábra mutatja.



12. ábra - Üzemidők átszámításának módja

Az ilyen károsodások ilyen típusú összegzését nevezik Miner-féle károsodás-elméletnek [5]. Képletszerűen a következőképpen fejezhető ki:

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n \bar{d}_i = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{\tau(\sigma_i)} \quad (2)$$

A maradék üzemidő pontosabb meghatározása érdekében, célszerű megnevezni egy kitüntetett üzemmódot, amelyre átszámítunk minden más üzemmódon értelmezett károsodást. Ebben az esetben a (2) egyenlet a következőképpen alakul:

$$\frac{t_i}{\tau_i(\sigma_i)} = \frac{t_{ekv}}{\tau_{ekv}(\sigma_{ekv})} \quad (3)$$

Az ilyen módon végzett átszámítás után az átszámított károsodási paraméterek összege 1 lesz. Az előbbieken ismertetett módszeren kívül léteznek még nem lineáris károsodáselméletek is. Ilyen például a **Szerenszen-féle** károsodási elmélet, mely a következő összefüggés szerint számolja egy berendezés ekvivalens üzemidőit:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{d_{imax}} \right)^m = c \quad (4)$$

ahol

- m és c az anyagra és az üzemeltetési körülményekre jellemző érték

Lehetséges üzemidők a TKT-1 esetében

Ahogy korábban írtam a kérdéses üzemidők meghatározásának alapjául a TKT-1 negyven másodperces indítása során felvett hőmérséklet és fordulatszám adatok szolgálják számításaim alapját.

A berendezés egyenértékű üzemmódjait 3 fordulatszám értékre fogom meghatározni. A hajtómű működése szempontjából érdemes tudni, hogy maximális fordulatszámon mennyi ideig üzemeltethető biztonságosan. A hajtómű hosszabb idejű járatása érdekében két alacsonyabb üzemmódon való futási időt is meghatározok majd, az ezeknek megfelelő két fordulatszám a maximális érték 90 illetve 50%-a lesz.

Mivel a berendezés elsősorban hallgatói használatra készült, így az üzemidő számítás elkészítésénél a biztonság mellett fontos a hajtómű hosszú ideig való járathatósága. Ennek a követelménynek az alacsonyabb fordulatszám tartományok tesznek eleget. Korábbi üzemeltetési tapasztalatok alapján, maximális üzemmódon a TKT-1 2-3 percig is üzemelhetett, így biztonsággal állítható, hogy a teljes fordulatszám 90%-ban a hajtómű 3-4 percig is üzemelhet, az 50%-os teljesítmény pedig további 2-3 perc üzemelési időt jelenthet.

ELÉRT EREDMÉNYEK

A tárcsa és a lapátok szilárdsági vizsgálatával kapcsolatban, e cikk készülése pillanatában, a megfelelő számítógépi kapacitás elérhetőségének hiányában még nem állt rendelkezésre értékelhető eredmény a végelem analízis tekintetében. Ugyanakkor a kezdeti kiindulási paraméterekhez képest, számos helyen volt szükség a modell finomítására (például az alkalmazott kényszerek esetében), annak érdekében, hogy az esetlegesen a modellbe vitt plusz feszültségek keletkezését kiküszöböljem. Az eddig elért eredmények, a program futása szempontjából optimális háló elkészítése, és az igénybevételek finomítása az előzetes futtatások alapján.

TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Az általam megkezdett munka számos továbbfejlesztési lehetőséget hordoz magában, amely lehetővé teszi, hogy még több hallgató kapcsolódjon be a TKT-1-geyek kapcsolatos munkálatokba. Ilyen például a kompresszortól nyert hűtőlevegő áramlási viszonyainak vizsgálata a turbina járókerekenél, illetve az áramlási paraméterek és ezzel együtt lapátokra ható igénybevételek pontosabb meghatározása CFD felhasználásával. További célkitűzés lehet, az említett vizsgálatok peremfeltételeiből kiindulva, az általam végzett szilárdsági analízis frissítése és összevetése a mostani futtatások eredményeivel.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1.] BENEDA Károly Tamás: A TKT-1 sugárhajtómű fejlesztése és alkalmazása a BME repülőgépes képzésében, Repüléstudományi konferencia 2010, Szolnok
- [2.] BENEDA Károly Tamás: Épülő gázturbinás sugárhajtómű üzemi jellemzőinek vizsgálata matematikai modell segítségével, Diplomamunka, 2006, Budapest
- [3.] S. S. RAO: The finite element method in engineering, Pergamon press, 1989
- [4.] PÁCZELT I., SZABÓ T., BAKSA A.: A végelem módszer alapjai, 2007
- [5.] ROHÁCS József, Simon István: Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve, Budapest, 1989