

Óbudai Egyetem

**Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki
Kar**

Mechatronikai és Autótechnikai Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**Wankel motor felépítése,
Mazda Renesis bemutatása**

Szerző: Németh Ferenc László
Gépészmérnöki szak V. félév

Konzulens: Kuti János
műszaki ügyintéző

Tartalomjegyzék:

Angol nyelvű összefoglaló.....	2
Bevezetés.....	3
Felix Wankel.....	4
1. A wankel motor felépítése.....	5
• 1.1. Geometriája és működése.....	5
• 1.2. Az égéstér tömítése.....	7
• 1.3. Olajtömítés.....	10
• 1.4. A motor kenése.....	10
• 1.5. Hűtési rendszer.....	11
• 1.6. A gyújtási és égési folyamat, tüzelőanyagfogyasztás.....	12
• 1.7. Szívócsatorna elhelyezése.....	13
• 1.8. Kipufogó csatorna elhelyezése.....	14
• 1.9. Kipufogógázok.....	14
• 1.10. Zaj és rezgésviszonyok.....	15
• 1.11. Előnyök – Hátrányok.....	16
2. A renesis bemutatása.....	18
• 2.1. Kitartó munka a Mazdánál.....	18
• 2.2. Rx8 Renesis erőforrása.....	18
• 2.3. Diagramok.....	21
• 2.4. Szerviz tapasztalatok, egy I. generációs Renesis (13B-MSP S1) üzemeltetése során.....	25
• 2.4.1. Alkatrészek vizsgálata – következtetések levonása.....	25
• 2.4.2. Az excentertengely siklócsapágóinak kopási problémája.....	26
• 2.4.3. Üzemeltetés során mire érdemes figyelni.....	29
• 2.4.4. Képanyag: - Szervizlátogatás.....	30
2.5. Összefoglaló.....	32
3. Kiegészítés - A múlt problémái, és a jövő reményei.....	33
• 3.1. Kezdeti sikerek és problémák.....	34
• 3.2. A wankel motor lehetséges jövője.....	36
Hivatkozások.....	39
Források.....	39
Képek és ábrák jegyzéke.....	40

Structural Build of Rotary Engine.

Presentation of Mazda Renesis

This paper is presenting the structural build of wankel engine and the processes occurring in it. These are by a small margin different, than the ones in it is traditional relative, therefore these engines require a different handling. Some of its rumored disadvantages are nothing, but more legends, or results of not proper operating, although it is unquestionable, that there are still problems yet remain to be solved.

Taking everything into consideration, the engine's many advantages could provide a lot of surprises for the future in the field of alternative fuels, hybrid propulsion or the world of sport cars.

During the preparation Mazda provided the largest source of information, for it was the only Manufacturer to take on the difficulties of development. Other manufacturers - except for a few - gave up their developmental processes.

Therefore this paper is trying to uncover the possibilities hidden in wankel engine by presenting the resources applied in Mazda Rx8. Besides the technological improvements compared to the previous Rx7 13B-REW engine, this paper will detail some problems worth of considering. Problems, that were registered during operation, or service. I provided plenty of diagrams to support and prove these theories.

The main goal beyond providing a general look on the structural build is answering the question on operating an engine such as this. The quality of utilization heavily depends on the construction, also requires a different kind of treatment, than a traditional engine. A mist is shrouding the terms of application or simply the owners lack to provide proper maintenance. It enough if we just take a look the used fuel. Many use gas with 95 octane number, eventhough it is not the right value, not to talk about, that this engine should be twirled constantly, so the soot could properly escape.

Bevezetés

A dolgozat a wankel motor szerkezeti felépítését mutatja be, a benne lejátszódó folyamatokkal, melyek némi eltérése miatt egy ilyen motor teljesen más kezelést igényel, mint löketdugattyús rokona. Sokat emlegetett hátrányainak egy része csupán legenda, vagy a nem megfelelő üzemeltetés következménye, ám sajnos tagadhatatlan, hogy vannak még megoldásra váró problémái. Mindent figyelembe véve, számos előnye miatt tartogathat még meglepetéseket, legyen szó alternatív üzemanyagokról, hibrid hajtásról, vagy a sport autók világáról.



1.kép – Mazda Renesis 13B – MSP

A felkészülés során a legnagyobb rendelkezésre álló információforrást a Mazda szolgáltatta, hiszen egyedül ez a gyártó vállalta magára a fejlesztési nehézségeket. Ezzel szemben más gyártók kevés kivételtől eltekintve, sorra feladták tervezési munkálataikat.

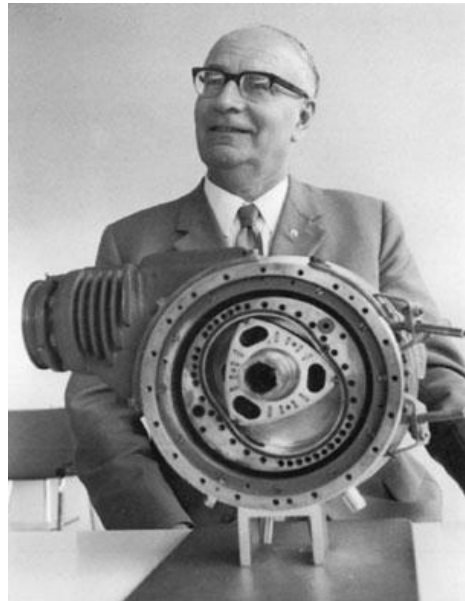
A dolgozat éppen ezért a Mazda Rx8-ban alkalmazott erőforrás bemutatásával igyekszik ismertetni a wankel motorban rejlő lehetőségeket. A korábbi Rx7 13B-REW motorhoz képest alkalmazott technikai újításokon túl itt részletezésre kerül, pár elgondolkodtató probléma, mely az üzemeltetés során jelentkezett, ill. a szervizelés során derült ki.

A fő célkitűzés a szerkezet általános ismertetésén túl, egy ilyen motor üzemeltetésénél felmerülő kérdések tisztázása, hiszen a konstrukció fokozottan érzékeny a felhasználás minőségére, ill. más bánásmódot követel, mint egy hagyományos motor. Felhasználási feltételeit számos tévhit övezi, ill. a tulajdonosok nem mindig fordítanak megfelelő figyelmet a karbantartásra (elég, ha csak a felhasznált benzint nézzük, sokan 95-ös oktánszámú üzemanyaggal használják, holott ez az érték nem megfelelő a számára, arról a az elképzelésről nem is beszélve, hogy állandóan pörgetni kell a motort a korom megfelelő távozása miatt...).

Felix Wankel:

A bolygódugattyús gép működési elvét nagyon hamar, már a XVI. században megalkották. Először csak a szivattyúk működtek ilyen elven. James Watt használt először bolygódugattyús motort primer erőforrásként 1782-ben. Már a XIX. században próbáltak gőzmotorként használni forgódugattyús gépeket, ám az alapvető problémákat nem tudták megoldani a XX. század második feléig.

A ma ismert wankel motor megálmodója Felix Wankel, német feltaláló. Ő maga ugyan nem rendelkezett érettségivel, sőt rövidlátása miatt még jogosítvánnyal sem, ám ezek a körülmények egyáltalán nem zavarták őt tehetsége kamatoztatásában. Az ironikus tény, miszerint motorkonstruktőr létére nem vezethet autót, humoros mondásával csapta el: „Miért, ha vonaton utazom, akkor mozdonyvezetői vizsgát is tennem kell?”.



2.kép - Felix Wankel (1902-1988)

Megrendelésre és hobbiból is tervezett gépeket. Nagy hasznára vált a fejlődő német iparban töltött munkája, főleg a tömítés-technológiai cégeknél szerzett tapasztalatai miatt. Egyik munkájában egy kenőanyag-gyár számára tervezett térfogtáram-jelző készüléket, amelynek két fő része a dugattyúrotor és a gyűrűkamra volt, akkor ötlött fel benne a gondolat, hogy bolygódugattyús elven működő belsőégésű motort építsen. Egy 1700-as évekbeli bolygódugattyús tűzoltószivattyú terveit is tanulmányozta, mielőtt tervezésbe kezdett. Konstrukciójával hosszú utat járt be, a második világháború következményei évekre megakasztották munkáját, ám ismét belekezdett a tervezésbe, és 1954-ben megalkotta a megfelelő geometriájú forgódugattyús motort.

1959-ben került nyilvánosságra a motor, amely 30 éves tervezési munka után felpozícionálta az akkori műszaki életet, meglepő módon nem egy autógyár, hanem a repülőgép motorokat gyártó Curtiss-Wright vette meg először a licencet, az autógyártók részéről az érdeklődők között olyan márkák voltak, mint a Rolls-Royce, Daimler-Benz, Toyota, Suzuki, GM, IFA, vagy a Toyo Kogyo konszern, későbbi nevén a Mazda. Végül több mint 30 autógyár vette meg a szabadalmat.

A közvélemény nagyon bizakodó volt, az elvárások szerint számos területen ki kellett volna, hogy szorítsa a hagyományos dugattyús motorokat, mivel sok előnye van, ám közbeszólt a gyakorlat. Annak ellenére, hogy a jelentkező problémák nagy részét kiküszöbölték, a gyártók sorra vetették el a gyártási tervet, mivel jelentős befektetéseket igényeltek a fejlesztések. Az üzemanyag árak megemelkedtek a kitörő energiaválság miatt, ráadásul az Egyesült Államokban bevezetett szigorúbb emissziós előírások gátat szabtak a wankel motor további térhódításának. A nehezen megoldható konstrukciós problémák beárnyékolták a feltaláló örömeit, ám akadtak, akik kitartottak a szerkezet mellett, és technikai újításokkal, ill. folyamatos befektetésekkel életet lehelték a motorba, amely a mai napig képes megosztani az emberek véleményét...

1. A wankel motor felépítése

1.1. Geometriája és működése:

[1.] „A Wankel-motor az epitrochoid elven működik, matematikai görbék szerint, amelyek több különböző módon is előállíthatók. Epitrochoidális görbe keletkezik, ha egy kör egy másik, kétszer akkora sugarú kör vonalán, a külső oldalon gördül le. A kisebb, legördülő körön egy pontot felvéve, a kör forgásával egyidejűleg e pont egy görbét ír le.”

Ez a görbe definiálja a ház alakját. A kisfogaskerék a d_1 , és a belső fogazású fogaskerék d_2 átmérőjének, ill. fogszámának aránya határozza meg az epitrochoid íveinek számát, így könnyen következtethetünk a ház íveinek és a dugattyú oldalainak számára, mivel a számpár első tagja az ívek, míg a második a dugattyú sarkainak számát adja meg. Wankel motor esetében tehát $d_1/d_2=2/3$. A szerkezet fő jellegzetessége az ívelt háromszög alakú bolygódugattyú, más néven rotor, amely három részre osztja a ház térfogatát. A rotorban rögzített belső fogazású fogaskerék kapcsolódik a külső fogazású álló fogaskerékhez, melyet a házon rögzítenek. A bolygódugattyú középpontja e távolsággal excentrikusan mozog a ház középpontja körül, ezt az excenter tengely, más néven körhagyó tengely teszi lehetővé, amely a hagyományos motorok főtengelyének felel meg. A rotor által leírt görbe nem teljesen egyezik meg a ház ívszakaszaival, előbbi minimálisan kijebb helyezkedik el, ennek köszönhetően a csúcstömítések előnyösebben végzik a feladatukat. Az ívek közötti távolság megegyezik a csúcstömítések legömbölyítési sugarával.

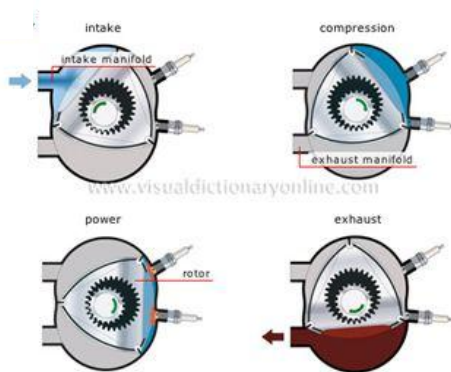
A rotor által végzett összetett mozgás miatt folyton változik a kamrák térfogata, így megvalósítva a szívási, sűrítési, terjeszkedési, ill. kipufogási ütemet. Termodinamikai szempontból működési módja a négyütemű otto motorokéval megegyező elven alapul. A töltetcsere folyamatát maga a rotor vezérli mozgása közben, így számos alkatrész feleslegessé válik, kevesebb a mechanikai veszteség és a zajhatás, ill. tömege és kiterjedése kisebb. Nyomatékleadása úgy történik, hogy a rotor középvonalán ható erő az excenter tengelyt e excentricitással éri, így alakul ki a forgómozgás. Egytárcsás motor esetén minden excenter tengely fordulatra egy munkaütem jut, mivel a rotor egy teljes fordulatára három excenter fordulat, és három munkaütem esik, ami egy kéthengeres négyütemű

motorhoz hasonlítható. A gyakoribb munkaütemek laposabb, az ideálshoz jobban közelítő nyomatéki görbét eredményeznek, mint az alternáló mozgást végző hagyományos motorok esetében.

Szívás – Sűrítés – Terjeszkedés – Kipufogás

A képen látható, ahogy egy adott időpillanatban egyszerre három ütem van folyamatban.

Jól megfigyelhetők a kezdetben a trochoid felületen elhelyezett szívó és kipufogó nyílások, melyeket később az oldalfalon helyeztek el.



1.ábra – Ütemek lejátszódása

Teljesítménye:

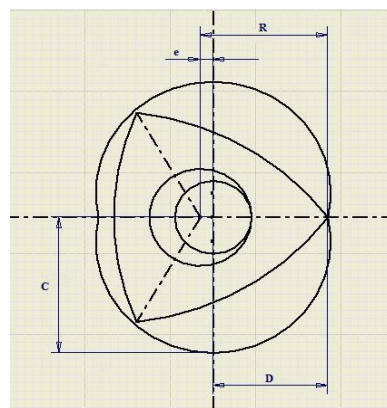
[2], „A bolygódugattyús motor elméletileg számítható teljesítménye egy olyan kétütemű motor teljesítményével egyenlő, amelynek lökettérfogata ugyanakkora, mint a Wankel-féle motor egy kamrájának a térfogata. Főtengelyének fordulatszáma pedig a körhagyótengely fordulatszámaival egyezik meg.”

Egy kamra térfogatának számítása:

$$V_h = V_{\max} - V_{\min}$$

Közelítő képletek:

- $V_h = 5,2 \cdot e \cdot R \cdot b$; ahol e – excentricitás
 R – saroktávolság
 b – rotor vastagság

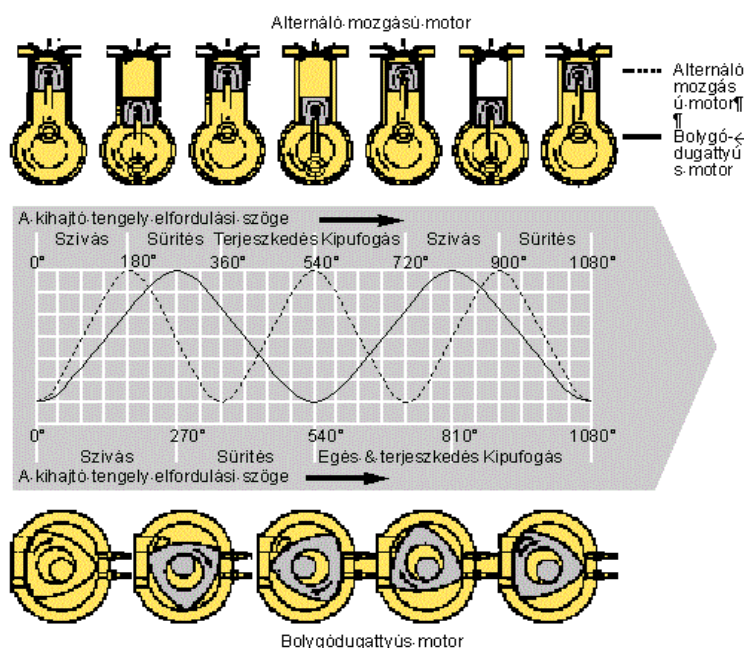


Saját készítésű vázlatrajz

- $V_h = 2,3 \cdot b \cdot (C^2 - D^2)$; ahol $C = R + e$ (a nagytengely fele)
 $D = R - e$ (a kistengely fele)

Egy ütemre jutó főtengely elfordulás a wankel, ill. hagyományos motor esetében:

Az ábrán jól látható a különbség a löket- és a bolygódugattyús motorok között. Mivel a wankel motor esetében a rotor csak egyet fordul, míg az excenter tengely hármát, így azonos fordulatszám esetén több idő áll rendelkezésre egy ütem számára, mint a hagyományos motorokban. Ezt jól szemlélteti az itt látható diagram.



2.ábra Munkaütemek ismétlődési periódusának eltérése.

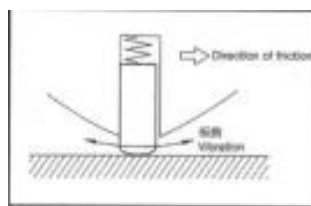
1.2. Az égéstér tömítése:

Az alapötlet, hogy a belsőégésű motorokban is forgómozgással valósítsák meg a volumetrikus működési módot, hasonlóan az elterjedten használt víz - és légszivattyúkhoz. Ez a feladat nem volt egyszerű, hiszen ebben az esetben a tömítéseknek sokkal nagyobb igénybevételeket kell elviselniük, mind nyomás, mind termikus téren. Hosszú ideig ez volt a legsebezhetőbb pontja a wankel motoroknak, ma már gyári adatok szerint (melyek nem teljesen tükrözik a valóságot) helyes üzemeltetés esetén, elérhető a 200 000 –esnél magasabb futásteljesítmény.

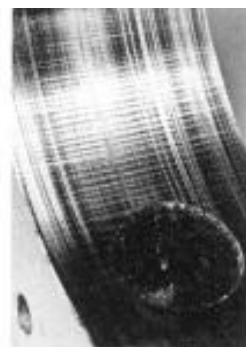
Bolygódugattyúk esetében tömítést igényelnek a rotor oldalai és élei, az oldal irányú tömítésekkel kezdetben sem volt sok gond, ám az éltömítésekkel annál inkább. Az oldaltömítéseket megoldották a hagyományos motorok dugattyúgyűrűinek anyagából készített tömítőszalagokkal, amelyeket rugókkal szorítottak a kamra oldalfalához, hogy megakadályozzák az égéstér gázainak oldalirányban történő távozását. A konstrukcióból adódik egy nehezen megoldható probléma, mégpedig az, hogy a bolygódugattyús motor égésteret szolgáltató részei folyamatos mozgásban vannak, és ez a tény egymással ellentétes követelményeket határoz meg. Először is a kompresszió ütemnél az éltömítéseknek jól kell tömíteni, hogy a tüzelőanyag levegő keverék ne szökjön el, másrészt nem keletkezhet túl nagy sűrűlódás, ami egyrészt növeli a mechanikai veszteséget és a hőterhelést, ill. szétkoptatja a kamra falát. Tömítetlen rész sem maradhat, mivel kiégés következne be, a nagy gázsebességek miatt, melyek nagy hővezetési tényezőt eredményeznek.

Ám a motornak van előnyös tulajdonsága is a tömítések szempontjából. A „gyújtási holtpont” közelében, amikor a ház kistengelye felett lévő térfogat hirtelen kerül a kistengely alá, nagymértékben megnő a gáz terjedési sebessége, többszöröse lesz az égési sebességnek. Ez azt eredményezi, hogy a lángfront csak lefelé fog terjeszkedni, felső része egy helyben marad, és meggyújtja a beáramló keveréket. A gyújtógyertya (gyertyák) előtt a kamra fala hideg, mivel az égéstermékek nem melegítik fel, mint a hagyományos motorokban, emiatt még a szivárgó tömítések sem égnek ki, csupán teljesítmény veszteséget okoznak.

A legtöbb problémát az ún. „chatter marks” kopás (magyarul ördög karmolása) okozta. A jelenségért a tapadási vibráció a felelős, amely koptató hatásával rongálta a jobb tömítettség érdekében kialakított sima kamra felületet. A ház elégtelen kenése, a tömítések rezgési frekvenciája és a különböző tapadási összetevők (statikus és kinetikus) nagymértékben közreműködtek a jelenség kialakulásához.



The vibrations of the apex seal form chatter marks



3.kép - Chatter Marks kopás

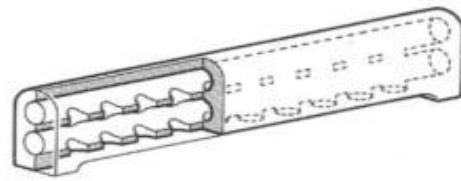
Gyakorlati megoldások az éltömítések terén:

NSU:

- Az éltömítések anyagának, az NSU a kemény szenet választotta, és alkalmazta, több-kevesebb sikerrel.

Mazda:

- A Mazdánál a vibrációs kopás visszaszorítása terén, akkor érték el áttörést, amikor rájöttek, hogy üregeket kell elhelyezni az öntöttvas tömítésekben. A bennük alkalmazott két hosszanti és több függőleges üreg, csökkentette a nagyfrekvenciás rezgéseket, ezzel a trochoid ház csúszófelületének élettartama jelentősen növekedett. Ez a módszer azonban túl költségesnek bizonyult a sorozatgyártáshoz.



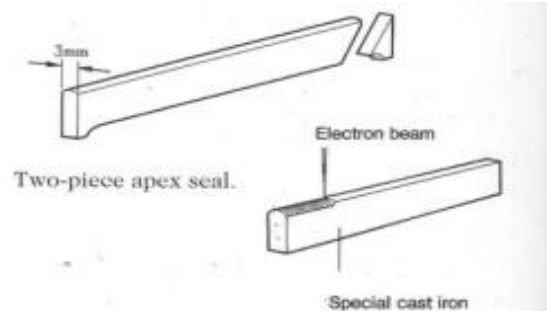
3.ábra Üreges éltömítés.

- Később a sorozatgyártásra is alkalmas alumíniummal impregnált széntömítéseket használtak. Kifejlesztésében a Nihon Carbon cég segédkezett, melynek Pyro-Grafit komponensét felhasználva nagyobb szilárdságot értek el, így előnyösebb kopási és mechanikai tulajdonságú tömítéseket kaptak. Maga a tömítés 6 mm vastag volt. A szén tartalmazó apex tömítések önkenési tulajdonsággal bírnak, így javítanak a krómozott alumínium öntvényház sikló felületeinek kopási hajlandóságán. Ezzel a megoldással az éltömítések mérhető kopása 100 000 km-es futásteljesítményen 0,8 – 1 mm-re csökkent. Ezt a tömítési típust először a sorozatgyártású L10A 0810 motornál alkalmazta a japán cég, és a Mazda Cosmo típusú autókba építették be. Egészen 1988-ig használták ezt a megoldást versenymotorjaikban is.



4.ábra Széntartalmú éltömítés.

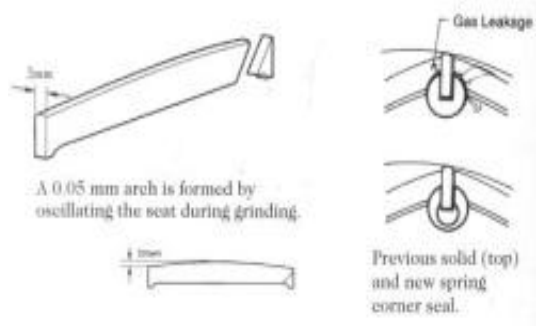
- Az apex tömítések anyagát a '70-es évek második felében megváltoztatták, a szén összetevőt öntöttvasra cserélték, amely összetételben hasonlít a normál motorok dugattyúgyűrűire. Ezt azért tehették meg, mert a kamra falát „tűhegy” lukacsosporózus króm bevonattal látták el. Ez az anyagpárosítás nagymértékben javította a trochoid ház és az éltömítések kenési tulajdonságait, mert a mikroporózus területen könnyebben megtapad a kenőanyag. A fém tömítés geometriáján is változtattak, két darabra osztották, ezzel jobb tömítettséget sikerült elérni. Másik technológiai érdekesség, hogy a tömítések kamra falával érintkező felső szélét karbidosra kristályosították, elektronsugárzásos, fagyasztásos edzéssel, ezzel kerámiához hasonló réteget hoztak létre a tömítések csúszó részén, így hatékonyabb tömítést, ill. fokozottabb hőállóságot és



5.ábra Öntöttvas éltömítés.

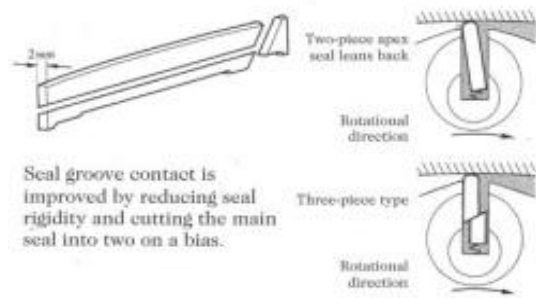
kopásállóságot értek el. A sarok tömítések feladata, a tömítés mellett, hogy helyükön tartsák az éltömítéseket, ezeket flexibilis kivitelűre tervezték, így minimálisra szorították a rotor tömítési hornyai és a tömítések közötti hézagot. 1975-ig használták őket.

- További fejlesztések során kompenzálták némileg a nagy fordulatszámok, és teljes gázadásokból adódó nagy centrifugális erő és hőterheléseket. Ezt egy vékony koronaív (0,05 mm) segítségével érték el, amely kompenzálja a nagy terheléseknél jelentkező enyhe deformációját a házhoz, így jobban odasimul a rotor a kamra falához. Az RX-7 12A motorjában már sokkal kevesebb kompresszió veszteségi rés volt a fő tömítés és a szélén levő, újratervezett háromszög alakú rész között, mint a korábbi motorokban. 1975 és 1980 között alkalmaztak ilyeneket.



6.ábra Koronaív alkalmazása.

- Később a vastagságukat tovább csökkentették 2 mm-re, ill. 3 darabból állították össze őket. A fő tömítés két darabja hegyes szögben áll egymáshoz viszonyítva, így el tud mozdulni kis mértékben a jobb tömítettség érdekében. A tömítés anyagának merevségét is csökkentették a mérnökök, és a rugós sarok számára kialakított üreget epoxival töltötték fel, hogy megelőzzék a legkisebb gázszökést is. Ezek a típusú tömítések 2002-ig voltak használatosak.



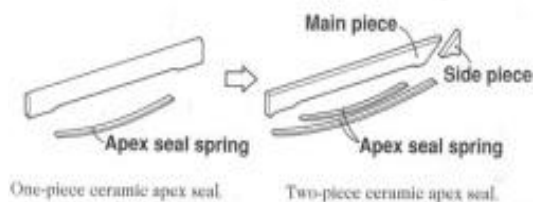
7.ábra Több elemből álló változat.

- 2003-tól minimális karbon tartalmú öntöttvas éltömítéseket alkalmaznak, melyek két darabból állnak, magasságukat 4,5 mm-re csökkentették 4,8 mm-ről. Ezeket a dolgot később részletesebben is taglalja, a Renesis technikai újításainak bemutatásánál.



8.ábra Alacsony karbon tartalmú öntöttvas éltömítés.

- Az előbb említett széria autókba szánt tömítések fejlesztésével párhuzamosan versenymotorokhoz is készültek külön tömítések, ahol kerámia él- és saroktömítéseket alkottak, melyek hőterhelhetősége és kopásállósága messze jobb. Az első ilyen éltömítés egy darabból álló szilikon-nitrit bázisú kerámia volt, majd ezt tovább gondolva szilikon-karbid szálakkal erősítették



9.ábra Kerámia bevonattal ellátott éltömítés.

meg, így a fent említett előnyök miatt már kivitelezhető volt a tömítés két darabra való osztása. Ilyen éltömítés volt abban a nevezetes 787B versenyautó R26B motorjában is, amely elsőhelyezést ért el a Le Mans-i 24 órás versenyen 1991-ben. A keramikus motorok magasabb hőmérsékleten üzemelnek, így az egyéb alkatrészeknek is magasabb hőt kellett elviselniük, ezért az oldaltömítések feszítő rugóinak anyagát is meg kellett változtatni, erre szilikonnal kezelt molibdén ötvözetet használtak. A Mazda kerámia tömítéseit eredetileg a hosszú távú versenyek autóihoz fejlesztette ki. Ezen tömítések használata bár költséges, de már megállják a helyüket a hosszú távú alkalmazásban is.

1.3. Olajtömítés:

Az olajtömítés feladata, hogy a forgódugattyút hűtő olaj ne juthasson az égéstérbe, ezzel növelve a károsanyag emisziót, ill. az olajfogyasztást. A rotor olajtömítése radiális, vagy axiális tömítések útján oldható meg.

Az NSU használt radiális oldaltömítést, ez lényegében kettős olajtömítést jelent. Egyrészt a dugattyú és az excenter tengely között, ill. a röptárcsa és a ház oldalfala között. A lehúzó gyűrűket nyugvó tömítésként alkalmazták a rotor és az oldalfal között, ezek gátolták a kenőanyag égéstérbe való jutását.

Axiális oldaltömítés esetén zárt tömítőgyűrűket használnak, melyeket rugók segítségével szorítanak az oldalsó tárcsáknak a jobb tömítés miatt. A Mazda ilyen típusú oldaltömítést alkalmaz U alakú fémből készült kivitelben. A tömítések hornyaiba fluorizált gumi O-gyűrűket használnak, melyek jól tömítik az olajat és egyben hőállóak. A fémgyűrűk oldalfal felőli részét ferdére munkálták, így érték el, hogy az olajfilm megfelelően felfusson a kenendő felületekre, és a felesleget le is tudja húzni.



10.ábra - Rx8 Renesis motor oldaltömítése

Élükét a fokozott kopás miatt krómozzák. A megfelelő hatás elérésének érdekében legalább kétszeres oldaltömítést kell használni, mivel a ház siklási felületének egyenetlenségei nem elhanyagolhatóak, ill. így jelentősen csökkenthető az égéstérből kiáramló gázok mennyisége.

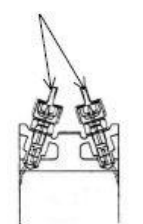
1.4. A motor kenése:

Kenést igénylő alkatrészek az excenter tengely és a dugattyú siklócsapágái, a vezető fogaskerek és a tömítések. A bolygódugattyús motorok sokat emlegetett fokozott olajfogyasztásának oka, hogy a trochoid futópályára került olajat nem lehet visszanyerni, és hogy az oldaltárcsák is igényelnek kenést (így nagyobb felületnek kell kenést kapnia, mint egy hagyományos motorban). Ennél a konstrukciónál különösen fontos a megfelelő kenés és az olaj viszkozitásának megválasztása. A Mazdánál régebben a száraz karteres

kenés használata volt a jellemző, ám az Rx8 motorjának kenésénél szakított ezzel a hagyománnyal, és nedves karteres rendszert alkalmazott.

Régebben, a 12A jelű motornál a karburátorban történt a benzin-motorolaj keverékképzés, míg a korszerűbb turbós motorokban két különálló motorolaj adagoló fűvókát használtak (Rx7). Egyet az elsődleges beömlő csatornába, egyet pedig a trochoid házra szereltek, ezek olajellátására külön adagoló pumpa szolgált. Ez keverék olajozásnak feleltethető meg, hiszen a beömlőn keresztül a nagy sebességű tüzelőanyag töltetbe juttatott olaj keveredve szóródott szét a kamra falán. A turbófeltöltő okozta teljesítménynövekedés a motor hőterhelését körülbelül 30 - %-kal növelte, így kenésének megoldásához fokozott körültekintés szükséges. A megoldást a mikrocsonnákkal összekötött tűhegy porózus felület jelentette, amelyet teflon bevonattal láttak el, így az a porózus felületbe préselődve ellenállt a koptató hatásoknak. Ez arra szolgált, hogy ha átmenetileg nem volt megfelelő a motor kenése, akkor képes volt megvédeni a felület mikro geometriáját.

Az előbb említett keverékképzéses olajozási rendszer segíti a tömítések kenését és határozottabb szigetelést. Az olaj benzinhez való adagolását a motor belső vezérlő egysége végzi, a hűtővíz hőmérsékletének, a fordulatszámának és a beömlő levegő mennyiségének függvényében. A precízebb kenés miatt, melyet a 13B-MSP (Renesis) motorban már alkalmaztak, mintegy 50 - %-kal csökkent az olajfelhasználás, itt két olaj befecskendezőt használnak, melyek a trochoid felület széleire permetezik az olajat, így a kamra széleinek nagyobb hőterhelése csökken (11. ábra).

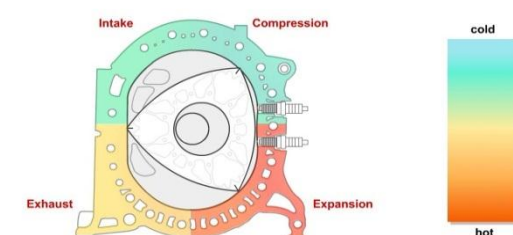


Twin Oil Supply
(RENESIS)
11. ábra Olaj befecskendezés

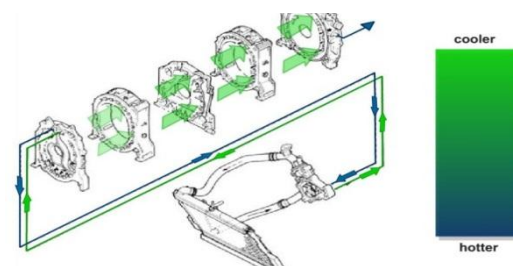
Összefoglalásként elmondható, hogy a rendszer üzemelése folytán az olajfogyasztás szükségszerű, ez 3 dl-t jelent 1000 km-enként egy 13B-MSP (Rx8) motor esetén, ami nagyjából tizede a régi NSU Ro 80 olajfelhasználásának. Az olaj hőmérséklete mennyiségétől jelentősen függ, ezért érdemes szintjét a nívó páca felső jelölésének közelében tartani.

1.5. Hűtési rendszer:

Működési elvéből fakadóan a bolygódugattyús motorok hőterhelése nagy, a probléma ott van, hogy ennek a terhelésnek az eloszlása teljesen aszimmetrikus, ill. egyenetlen. A munkaterek töltete a bolygódugattyúval együtt mozog, ezért a kamratér egyes része csak a hideg keverékkel, másik része csak az égés során képződő forró gázokkal, harmadik része pedig az alacsonyabb hőmérsékletű kitágult égéstermékekkel van kapcsolatban. Az eltérő hőtágulási övezetek miatt a vetemedés veszélye jelentős, ezt a Mazda úgy kezeli, hogy a motorblokkban kialakított vízköpeny egyrészt aszimmetrikus, másrészt az égéstér oldalán vezetik be a hűtővizet és a szívó oldalon vezetik ki, 13. ábra. Régebben a kisebb motoroknál a vízhűtés



12. ábra - Eltérő hőigénybevételi zónák



13. ábra - Hűtővíz útja a Renesis 13B-Msp motornál

mellett léghűtést is alkalmaztak.

A háztól függetlenül a bolygódugattyút olajjal kell hűteni. Az olaj a tengelyen és a körhagyótárcsán keresztül jut a rotor belsejébe, amely felgyorsítja és habosítja azt, ez a jelenség rendkívül káros, mivel növeli az energia veszteséget és a habosított olaj hővezetése is rossz. A kisebb motorok hűtése megoldható levegővel, de a nagyobbak mindenképpen vízhűtést igényelnek.

1.6. A gyújtási és égési folyamat, tüzelőanyagfogyasztás:

Az égésteret meghatározza egyrészt a kamra fala, a rotor oldala, ill. a rotorban kialakított sűrítési mélyedés, mely kezdetben szimmetrikus volt, később változtattak rajta, így növelve a lángfront terjedésének sebességét.

A forgódugattyús motorokba helyezett gyújtógyertyáknak nagyobb igénybevételt kell elviselnie, mint a hagyományos motorokban található társaiknak, ennek oka a nagy fordulatszám, ill. itt minden egyes 360° -os excenter tengely fordulatra jut egy munkaciklus. A gyújtás gyakorisága háromszorosa a rotor fordulatszámának, másrészt folyamatosan forró égéstermékek veszik körül a gyertyát. A kezdeti konstruktőröknek növelni kellett a gyertya hőértékét, ami az első motorokban hidegindítási zavarokat okozott, és részterhelésnél is problémák jelentkeztek. Az NSU részleges megoldást talált erre, amikor erősebb kondenzátorokat épített be, amelyek erős szikrát adnak szennyezett gyertya esetén is. A mai wankel motorok gyertyái minimálisan térnek el az átlag autók gyertyáitól. Az átfűzés elkerülésének érdekében kis, 3 mm átmérőjű csatornán kötötték össze a kamra és a gyertya elektródáit, így a tömítés átfedte ezt a szakaszt és nem keveredhettek össze a szomszédos kamrák töltetei. A nagyobb üzembiztonság és a gyorsabb, jobb hatásfokú égés érdekében két gyújtógyertyát kezdtek el használni, ahol az alsó a vezérgyertya, ami először adja a szikrát. Ilyenkor a nagy sebességű gázok miatt a lángfront csak lefelé terjed, ezért van a felső gyertya, ami ilyenkor képes begyújtani a felső keverék részt, így az égés gyorsabban lejátszódhat, kedvezőbb rotor állás mellett.

Összehasonlításképpen az égési idő hosszabb (előgyújtásra nincs is szükség), mint egy hagyományos motorban, ami egyszerre előnyös és hátrányos tulajdonsága a szerkezetnek. Előnyös, mert az égés lágyabb, rezgésviszonyai sokkal finomabbak, halkabb járású a motor. További előnye, hogy az égéstér alakja miatt kopogásos égésre nem hajlamos a konstrukció. Azonban jelentős problémája, hogy a termikus hatásfoka rosszabb mivel az égés nyújtottabban megy végbe, nem a legjobb ütemben adja át az energiát a rotornak. Ebből az következik, hogy fajlagostüzelőanyag-fogyasztása magasabb lesz, mint vetélytársának. A nagyfelületű kamrafalból adódik egy másik probléma is. A sűrítési ütem végnyomása nem éri el az alternáló dugattyús motorokban mérhető értéket, mivel hosszabb az égés és a nagyobb égéstér felületének nagyobb a hőelvonó képessége is, így a sűrített keverék mechanikai energiája kisebb lesz. Ez a jelenség főleg alacsony fordulatszámokon lép fel, mert magasabb fordulatszámokon kevesebb idő áll rendelkezésre a hőátadásra. A fordulatszám emelkedésével a tüzelőanyagfogyasztás kedvezőbbé válik, mivel a súrlódási és a gázcserevel kapcsolatos veszteségek lassabban emelkednek, mint a normál motorokban. Ezt a tényt az is erősíti, hogy nem kell a szelepek, ill. a vezérmű tengely mozgására teljesítményt áldozni, így a súrlódási viszonyok kedvezőbbek.

A Mazda kísérleteiben kimutatta, hogy szívó wankelek esetében a kompresszió nagyságától nem függ jelentősen a teljesítmény (9,0:1 – 11,0:1 intervallumban), ennek

látszólag ellentmond a Renesis 10:1-es kompresszió aránya, amely a korábbi 9,7:1-es értékről növekedett. Ennek oka, hogy a kipufogás során így kevesebb károsanyag kerül a környezetbe, ill. a töltetcsere folyamata stabilabb lesz.

Visszatérve a gyújtásnál említett problémákra, némi megoldást jelenthet a japán mérnökök által kifejlesztett sokkalta pontosabb lézeres gyújtás, ami egyenletesebb járást és kevesebb károsanyag emissziót eredményez, hiszen a nagyobb teljesítményű lézerrel szegényebb keveréket is be lehet gyújtani, így csökken a fogyasztás. Hatalmas előny, hogy nem közvetlenül a kamra falánál, ill. hagyományos motorok esetében a hengerfejnél, hanem annak közelében is lehetséges a gyújtás, így az inhomogén keverék eloszlás sem jelenthet problémát.

[3.] „A lézeres gyújtás nem csak egyetlen pontból tudja megindítani a benzin-levegő keverék égését, hiszen a lézersugár egy lencserendszer segítségével könnyen és gyorsan módosítható, fókuszálható. Tehát nagyon precízen szabályozható a lézergyertya által létrehozott „szikrák” kiterjedése, száma, energiája, sőt még esetleg az alakja is. Így javítható a gyújtás minősége, ami azt jelenti, hogy elvileg szegényebb keverékkel, kisebb fogyasztás mellett is üzemeltethető lesz ugyanaz a motor, ha azt lézeres gyújtógyertyákkal szereljük fel. Mint minden motorfejlesztés természetesen itt is cél a károsanyag-kibocsátás csökkentése. A kutatók 50%-os CH, CO és NOx kibocsátás csökkenést remélnék az új technológiától.”

Takunori Taira, a kutatást végző mérnökcsoport vezetőjének szavaival élve „Az időzítés – a gyors égés – nagyon fontos. Minél precízebb az időzítés, annál hatékonyabb az égés és alacsonyabb a fogyasztás.”

Sikerült megoldaniuk a nagy méretből eredő problémákat is, hiszen kerámiák felhasználásával 9 mm átmérőjű és 11 mm hosszúságú nagy teljesítményű gyertyákat készítettek.

Az európai kutatások a lézeres gyújtás alkalmazására a Bécsi Műszaki Egyetemnek, a Villach-ban lévő CTR mérnökeinek, és a grazi AVL List GmbH-nak köszönhető. Kísérleti motoruk, mely lézergyújtással büszkélkedhet már működőképes. Pár év múlva ez a technológia fölénybe kerülhet a nagyfeszültségű szikragyújtással szemben.

Ez az újítás lehetőséget jelenthetne a konstrukció további finomítására, az Euro 6-os környezetvédelmi normák teljesíthetőségére.

1.7. Szívócsatorna elhelyezése:

Alapvetően kétféle elrendezési lehetőség van a szívócsatorna számára, mégpedig a ház palástján, ill. az oldalán.

Egyszerűbb megoldás a kerületi szívás, melynek előnyei, hogy a szívócsatorna ellenállása kisebb, mivel nincs benne annyi kanyarulat, ez jobb töltési fokot és effektív középnyomást eredményez nagyobb fordulatszámok esetén is, tehát nagyobb teljesítmény leadásra képes a motor. Hátránya a kipufogó és a szívó csatorna nagy egybenyitása, ami miatt alacsony fordulatszámokon kipufogógáz visszaszívást okoz, így ebben az üzem tartományban romlik a töltési fok. További jelentős probléma a magas tüzelőanyag fogyasztás, és az

egybenyitásból adódó nagyobb HC kibocsátás. Ezt a módszert leginkább az NSU használta.

A másik lehetőség az oldalfalon elhelyezni a szívócsatornát, ilyenkor beszélünk oldalszívásról. Ekkor a szívórés nyitása folyamatos, ennek köszönhetően egyenletesebben zajlik le a folyamat, ill. homogénebb keverék eloszlás jön létre. További előny, hogy a sokkal kisebb egybenyitás miatt (az egybenyitást a Mazdának sikerült kiküszöbölnie) kisebb fordulatszám tartományokban is kedvező nyomatékot ad, tüzelőanyag fogyasztása és HC emissziója kedvezőbb. Fő hátránya, hogy a szívócsatorna áramlási veszteségei nagyobbak a kanyarulatok miatt, így csökken a töltési fok, az effektív középnyomás, és természetesen a leadott teljesítmény.

Kezdetben a Mazda is periférikus (trochoid kamrafelületen elhelyezett) szívónyílást alkalmazott, ám később áttért ez utóbbi módszerre. Régebbi motorjainál az alacsony fordulatszámokon jelentkező instabil töltést dúsabb benzin/levegő aránnyal igyekezett orvosolni, ez a probléma az egybenyitás miatt jelentkezett, amit a Renesis motortípusnál már teljesen sikerült kiküszöbölni, így csökkenhetett a fogyasztás.

1.8. Kipufogó csatorna elhelyezése:

Nagyon sokáig ragaszkodtak ahhoz, hogy a kipufogó csatorna a ház palástján helyezkedjen el, ám több előnnyel is jár az oldalfali elhelyezés. Ezt először a Mazda Renesis motorjában használták, ezzel sikerült kiküszöbölni, a szívó és kipufogó csatornák egybenyitását. Így javult a fogyasztás, és a károsanyag kibocsátás is (erről bővebben később).

1.9. Kipufogógázok:

A szigorú környezetvédelmi normáknak a wankel motorok nehezebben feleltethetők meg, mint hagyományos társaik, mivel az égéstér alakja kedvezőtlen.

A CO kibocsátásuk, ugyanúgy a légviszonytól függ, mit a normál motoroknak, tehát, hogy mekkora mennyiségű levegővel égetjük el a tüzelőanyagot az elméletileg szükségeshez képest.

Viszonylag több HC-t bocsát ki, mint a megszokott motorok, ez egyrészt a régi konstrukciók szívó és kipufogó csatorna egybenyitásában keresendő, ill. az égéstér kialakítása és maga az égési folyamat máshogy játszódik le. Itt az égéstér felületének és térfogatának aránya jóval nagyobb.

Előnye a NO_x – ok kibocsátásának terén nyilvánul meg. Az égéstér alakjából és nagy felületéből eredően, a láng útja viszonylag hosszú, így az égési csúcshőmérséklet kisebb. Az égés lefolyásának hosszabb idő áll rendelkezésre. Ezek a feltételek kevésbé kedvezőek a nitrogén-oxidok kialakulásának.

Kezelésükre termikus utánégetőt (termoreaktor) használtak, ami összefoglalva egy kiváló szigetelésű kettősfalú cső, melyben a CO és a HC komponensek tovább égnek, ehhez 1000 °C hőmérsékletre van szükség, ill. levegő befúvásra az égéshez. A wankel motorok kipufogógázainak hőmérséklete magasabb, mint a löketdugattyús motoroké, megközelítik a szükséges hőmérsékletet, így már részterheléskor is működhetett a dolog. Ezt főleg az NSU használta.

A mai a Mazda Renesis-ekben nem használnak ilyet, valójában nem sok eltérés van a katalizátorok terén, a legszembetűnőbb különbség, hogy távolabb van a katalizátor a leömlőtől, mivel a kiáramló gázok lökésszerűen távoznak, így kevésbé hűlnek le. A leömlőknél levegő befűvőt helyeztek el, így segítik a káros anyagok tovább bomlását.

1.10. Zaj és rezgésviszonyok:

Mint már említésre került, a nyújtott, sarló alakú égéstérből adódóan az égés sokkal lassabban megy végbe, mint a hagyományos motorokban, ennek negatív hatása, a rosszabb termikus hatásfok és az ebből adódó magasabb tüzelőanyagfogyasztás. Az égéstér alakjának, ill. az égés időtartamának hosszabb mivoltából némi pozitív hatás is adódik, mégpedig a csendesebb, egyenletesebb járás. Másik szerkezeti jellegzetesség, ami elősegíti ezt a tulajdonságot a szelepek, szelepemelő alkatrészek és a vezérműtengely teljes hiánya, ill. a legfontosabb, hogy nincsenek olyan nagymértékű alternáló mozgások a működés során. Esetünkben a rotor középpontja és a körhagyótengely csapja bolygómozgást végez, így a keletkező tömegek könnyedén kiegyenlíthetők.

Ezeknek a tényeknek köszönhetően a zajhatás sokkal kisebb, ami többletárcsás kivitel esetén még kedvezőbbé válik. Két rotoros motor építése esetén, az említett előnyök csak fokozódnak, ilyenkor a két excentrikus tengelycsap 180° -al van elforgatva egymástól.

1.11. Előnyök – Hátrányok:

Hátrányai:

- Termikus hatásfoka az égéstér alakjából és nagy felületéből kifolyólag rosszabb.
- Az égés mindig ugyanott történik ezért a hőterhelése aszimmetrikus, így nem megfelelő hűtés esetén a jelentkező feszültségek hatására fennáll a vetemedés veszélye.
- A bolygódugattyú élei extrém kopásnak vannak kitéve, mára ezen sokat sikerült javítani, ám szakszerűtlen üzem esetén hamar elkopnak, így tönkreteszik a ház falát, ami nem felújítható.
- A kenés minősége itt fokozott odafigyelést igényel, megoldása nehézkes egyes fordulatszám tartományokban.
- Nagy olaj és tüzelőanyag fogyasztás jellemzi, melyen nehéz javítani, ill. üzemelési időszakában az idő előrehaladtával ez az érték növekszik a kopások miatt.
- A ház erőteljes kopása esetén felújítása nem megoldható, cserére van szükség.
- A bejáratásra érzékenyebb, élettartamát nagymértékben befolyásolja.
- Nagy odafigyelést igényel. Tartósságának erős támpontja a lehető legtökéletesebb égés biztosítása a megfelelő kompresszió beállításával, ill. a gyújtáskimaradások megelőzésével, így megelőzhetőek a tökéletlen égésből fakadó káros lerakódások.
- Hidegen leállítva hajlamos „megszívni” magát, és így nem indul. Ez a jelenség a nagy kamra felület miatt van (falhatás), ilyenkor a benzin kicsapódik a ház felületén, majd összegyűlik a kamra alján, amikor újra akarjuk indítani a motort az injektorok újabb befecskendezése miatt olyan dús, oxigénben szegény keverék keletkezik, amely képtelen begyulladni. Ilyenkor egy másik probléma is jelentkezik, a kicsapódó benzin lemossa a kamrafalról az olajat, így nem lesz megfelelő a kenés minősége és nem jön létre megfelelő kompresszió, hiszen a tömítéseknek szükségük van a kenőanyagra. Ezekre a problémákra akad megoldás, leállítás előtt leállíthatjuk az injektorokat, így amikor elszegényedik a keverék leállíthatjuk a motort. Ha már megtörtént a baj, még akkor is van kiút, ilyenkor lenyomott gázpedállal kell indítózni, így a kamra kitisztul, mivel ekkor nem működnek az injektorok. Ezekre a kényszer megoldásokra csak akkor van szükség, ha a motort hidegen, kb. 1-2 perc után akarjuk leállítani.

Előnyei:

- Alternáló mozgás ugyan ebben a motorban is van, ám ez nem éri el a hagyományos motorok alternáló mozgásának nagyságát, ennek köszönhetően kiegyenlítése könnyen megoldható, járása sokkal nyugodtabb.
- Résvezérlésű, tehát szelepek, és ezek mozgatására szánt alkatrészek nem szükségesek, ebből kifolyólag súrlódási, tömeg, ill. méretbeli előnyök jellemzik.
- Nyomaték leadása egyenletesebb, görbéje hirtelen emelkedik, szélesebb fordulatszám tartományban szolgáltat megfelelő nyomatékot, így jobban megközelíti az ideális diagramot, hiszen minden excenter fordulatra jut munkavégző ütem.
- Fajlagos teljesítménye sokkal előnyösebb, azonos űrtartalom mellett nagyobb teljesítmény leadására képes.
- Üzemelés közben nyugodtabb, rezgés mentesebb járású, magasabb fordulatszámokat is elvisel.
- Turbó beszerelésénél a lökésszerű kipufogógázok előnyösek, különösen periférikus kipufogó csatorna használata esetén.
- Kipufogógázaiban lényegesen kevesebb NO_x van.
- Az excenter tengely az olajteknő felett helyezkedik el, így nem érinti a forgattyús tengelyeknél tapasztalható nagyobb súrlódási veszteség.
- A hidrogén, mint tüzelőanyag használata esetén nem áll fenn a löketdugattyús motoroknál tapasztalható nagy öngyulladás veszély.
- Kis befoglaló méretei miatt a konstruktőröknek nagyobb szabadsága van a beépíthetőség terén, így előnyösebb súlyelosztás lehetséges.
- Sorozatgyártásra jobban alkalmas, mivel több egység építhető egymás után különösebb nehézségek nélkül.

2. Renesis bemutatása:

2.1. Kitartó munka a Mazdánál:

Számos autógyár próbálkozott a fejlesztéssel, sorozatgyártással legyen szó a Daimler – Benz-ről (befecskendezéses rendszer), a Rolls – Royce-ról (wankel diesel kifejlesztése), vagy akár az orosz (Zsiguli) szériákról a gyártók látva a problémákat sorra feladták a gyártási terveiket, sőt az NSU bele is bukott a munkába.

Ezzel szemben a Mazda kitartott a wankel mellett, a sok probléma ellenére is folyamatosan próbálta fejleszteni, javítani a szerkezet működését, munkájukat a leleményesség és a kitartás jellemezte. Minden konstrukción változtatásokat, javításokat eszközöltek, habár a megoldatlan problémák áradata a mai napig kitart a fejlesztések ma is zajlanak.

Kezdetben csak a más cégekkel történő egybeolvasztás ellen küzdöttek, ebben a küzdelemben nagy fegyvernek számított a különleges wankel motor, melynek első változatát már 1961-ben elkészítették, mely 40A jelzése, egytárcsás kísérleti erőforrást takart. Hatalmas átalakuláson ment át kezükben a motor, akár a tömítéseket, akár töltetcserét, akár magát a gyújtást nézve.

2.2. Rx8 Renesis (13B-MSP) erőforrása:

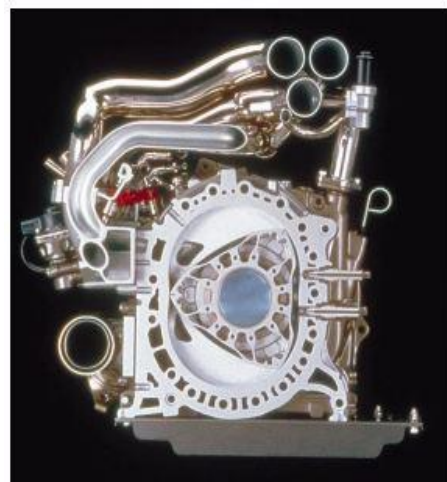
Maga az elnevezés a rotary engine és a genesis (teremtés) szóból származik. A tervezés során kitűzött célok között szerepelt az Euro 4 környezetvédelmi normának való megfelelés, közel ugyanakkora teljesítmény elérése szívómotorral, mint a turbós Rx7 13B-REW változatnál, ill. kisebb tüzelő-és kenőanyag felhasználás.



4.kép - Mazda Rx8

A Renesis egy kéttárcsás szívómotor, vízhűtéssel, egy kamrájának térfogata 645 cm^3 . Két kamrájának térfogata egy 2616 cm^3 ürtartalmú hagyományos motorral egyenértékű. A nagy teljesítményű változat névleges teljesítményét, 170 kW-ot, 8500 1/min fordulatszámon, míg nyomatékának maximumát, 220 Nm-t, 5500 1/min-en éri el.

Számos apró változtatással éltek a tervezők, elég ha csak a rotor formáját nézzük, mely kevésbé lekerekített, vagy a tömítéseken végzett módosítások, amik akadályozzák a karbon lerakódásokat a gyűrűfészekben. A tömítési hézagokat szintén csökkenthették, így a forró kipufogógázok jobban tömíthetők, ez a jobb csapágyazásnak és kiegyensúlyozásnak, ill. a könnyebb excenter tengelynek köszönhető. A legszembetűnőbb és leghasznosabb módosítás a kipufogónyílások oldalt



5.kép - [4.] „Sok műszaki részlet mellett, a képen jól megfigyelhető a gyújtógyertyák elhelyezése és a felső gyertyakamra is. Az oldalfalon felül a beömlő, alul a kipufogórés.”

való elhelyezése a korábban használt periférikus helyett, ezzel teljes mértékben megszűnt a szívó és kipufogó nyílások összenyitása. Az elképzelés még az NSU mérnökeinek fejéből pattant ki, de akkor ez még technológiai okokból nem került szériagyártásba. A régebbi változatokban alacsonyabb fordulatszámokon az összenyitás instabil töltést okozott, amit dúsabb keverékkel lehetett kompenzálni, így természetesen magasabb volt a tüzelőanyag felhasználás. Ez a hatás megszűnt az oldalt való elhelyezéssel, így a fogyasztás csökkent, továbbá növekedett a termikus hatásfok és csökkent a HC kibocsátás. Az elhelyezést érheti az a vád, hogy nagyobbak az áramlási veszteségek, ami igaz, hiszen a gázoknak irányt kell váltaniuk távozáskor, ám ezt a hatást felülmúlja a nyílás méretbeli különbsége, ill. kevesebb a termikus veszteség. Az égéstermékek kiáramlása kevésbé pulzáló jellegű, sokkal egyenletesebb, ezáltal kevesebb kipufogó gáz ragad a kamrában. A változtatás eredő hatása tehát pozitív.



6.kép - Renesis működése közben

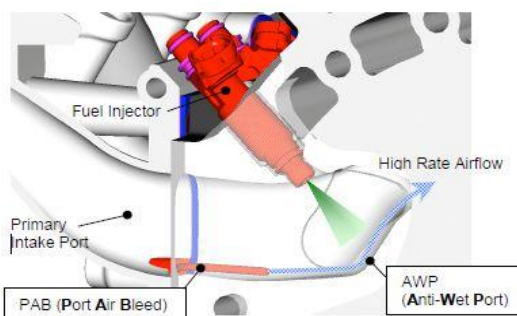
Szívórészekből hármat, míg a kipufogórészekből kettőt helyeztek el. A szívónyílások előbb nyílnak, ill. 30%-al nagyobbak, míg a kipufogónyílások 47% lettek nagyobbak (kisebb áramlási ellenállás), melyek később és rövidebb ideig vannak nyitva. Ez utóbbi megoldásnak

köszönhetően hosszabb lehet a munkaütem és kisebbek a termikus veszteségek, ezáltal a termikus hatásfok javulhat, ill. növekszik a teljesítmény. Érdekes még megemlíteni, hogy az oldalt elhelyezett kipufogónyílás akusztikailag is előnyösebb, mivel sportosabb hangot kölcsönöz a motornak. A trochoid ház falán a töltetcserét lebonyolító réseken kívül több kisebb nyílás is található, melyekből kettőn a tömítések kenésére és tömítőképességük fokozására szolgáló olaj jut be, a másik kettő pedig a gyújtógyertyák számára van kialakítva.

A tüzelőanyag fogyasztás terén sikerült elérni 8-15% -os csökkenést a régebbi Rx7-hez képest, ám ez sajnos egyből nem olyan szembetűnő, mivel a jármű össztömege nagyobb, ill. végáttétele rövidebb (Rx8- 4,44:1; Rx7- 4,10:1) azaz az excenter tengely többet fordul a kerékhez viszonyítva, mint az Rx7 motorjánál. E körülmények miatt a jármű fogyasztása minimálisan változott.

Szívórendszere üzemállapottól függően változó, Standard Power esetén kettő, ill. High Power üzemmódban három szívónyílás működik (lásd a diagramoknál). A benzin befecskendezés a szívótorokba történik, így igazából nem közvetlen befecskendezésű.

Kompressziója 10,0:1, míg kompresszió végnyomása 830 kPa. A kompresszió növelésével, ill. kettős falú kipufogó leömlők használatával csökkent a károsanyag emisszió, mivel hidegindítás esetén így hamarabb felmelegszik a katalizátor, ez által csökken az üzemi hőmérsékletig eltelt idő. Jet Air üzemanyag keverési rendszere is figyelemre méltó, melynek célja a károsanyag emisszió és az alapjárat tüzelőanyag fogyasztás csökkentése. Lényege, hogy kis vákuumcsöveket alkalmaznak, melyek



14.ábra - Keverék előállítása

megkerülőágként működnek, így a szívóöntvényből bemennek a motorblokkba. Ezekben a csövekben gyorsabb a levegő áramlása, mivel nagyobb a depresszió értéke, ennek segítségével turbulenciát hoznak létre, így a befecskendezés során sokkal jobb a porlasztás mértéke. Az eredmény 30 % HC kibocsátás csökkenés, ill. 7 %-kal csökkent az alapjáratú fogyasztás. Az ilyen rendszereket anti-wet azaz száraz beömlőknek nevezik.

A kenésre felhasznált, így már vissza nem nyerhető olaj mennyisége a felére csökkent az eddigi motorok szükségletéhez képest. A korábbi szárazkarteres kenésre tett próbálkozásokat felfüggesztve nedves karteres kenést valósítottak meg, melynek olajteknője 40 mm mély, így a hajtáslánc mélyebbre kerülhetett, ezzel a jármű súlypontja alacsonyabbra került. Az olajteknő úgy lett kialakítva, hogy nagy oldalgyorsulások esetén se gyűljön össze egy oldalra az olaj.

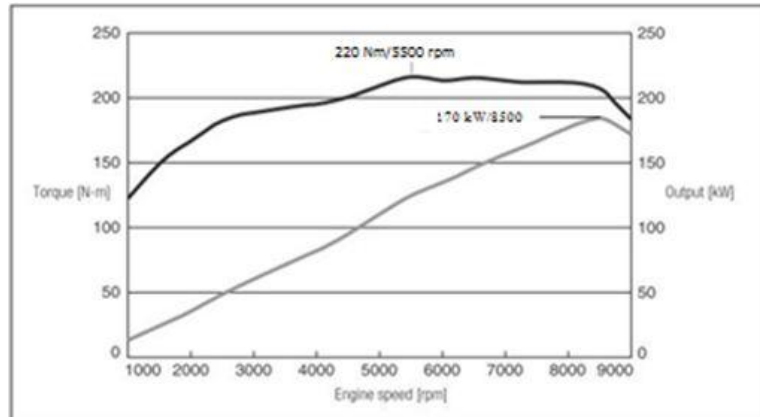
Az éltömítések terén is sok újítást alkalmaztak a mérnökök. A digitálisan szabályozott edzésnek köszönhetően, mélyebb és egyenletesebb felületi réteget kaptak, jobb siklási tulajdonságokkal. A rugós saroktömítés krómozott felületét, pedig gyémánt szerű szénnel (DLC) vonták be. A tömítések tömegét csökkentették, így az őket feszítő rugóerő mértéke kisebb lehet, ezáltal csökken a kopás mértéke, ill. nő a kenés határfoka. További előny, hogy ez által a kenésre felhasznált olaj mennyisége is csökkenhetett, hátrány viszont a nagyobb hajlandóság a keverék túldúsulása miatt bekövetkező indítási problémákra. A gyár szerint a tömítések élettartama, rendeltetésszerű használat, azaz rendszeres olajcsere, magasabb oktánszámú (98) benzin és a gyakori magas fordulatszám tartományok kerülése 240 000 km futásteljesítményre elég. A gyakorlatban azonban a szervizekbe 100 000-es, sőt 80 000 km-es autók is bekerültek szétkopott kamratérrel. Ennek okai mindkét oldalon keresendők, egyrészt a vásárlók nagy része nincs tisztában vele, hogy egy ilyen autónak más felhasználási feltételei vannak, nem bírja a felesleges túlpörgetést, kifejezetten érzékeny a hidegindításra, stb., másrészt a gyártó tesztelései ideális körülményekre vonatkoznak, nem kalkulálják bele az emberi tényezőket, így a valós értéket a számok között kell keresni.

Tömege az Rx7 13B-REW biturbós erőforráshoz képest 30%-al csökkent, hiszen csak a rotor tömege 14%-al kisebb, mint az elődé, így tehetetlenségi nyomatéka szintén kisebb, ennek köszönhetően gyorsabban reagál a gázadásokra, rugalmasabb a szerkezet. Befoglaló méretei kisebbek, a blokk magassága csupán 338 mm. A motor közelebb helyezkedik el a vezetőhöz és alacsonyabban van, ennek köszönhetően az első és a hátsó tengely terhelésének aránya közel 50:50%, így rendkívül jó a jármű tömegeloszlása, ill. irányíthatósága.

Felhasznált anyagokat tekintve a trochoid ház alumínium öntvény, króm-molibdén belső burkolattal, míg a rotor és az oldalfal acélöntvényből készülnek.

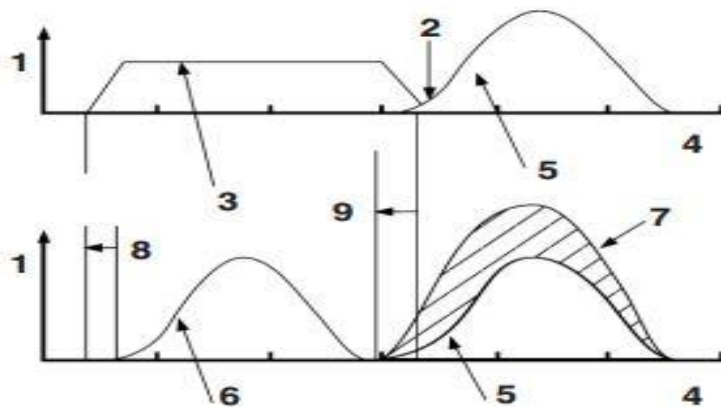
2.3. Diagramok:

Az alábbi diagram a Renesis High Power változatának nyomaték és teljesítmény leadását mutatja a fordulatszám függvényében. Megfigyelhető a wankel motorokra jellemző laposabb nyomatéki görbe, ebben az esetben a nyomaték maximumának 90%-a széles fordulatszám tartományban áll rendelkezésre, így a vezetőnek nem kell felpörgetni a motort egy biztonságos előzéshez.



15.ábra Nyomaték és teljesítmény

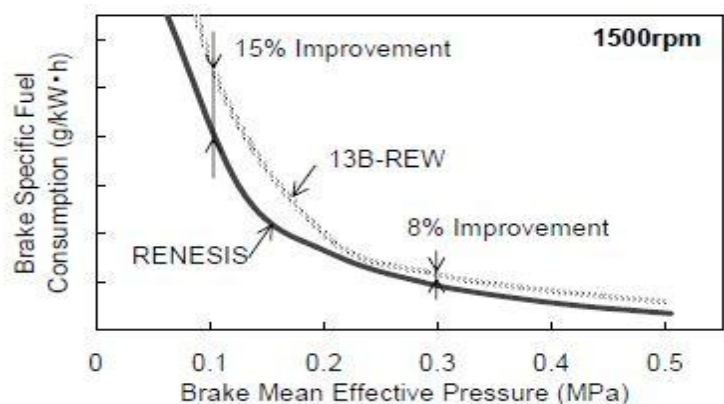
A 15. ábrán jól láthatók a Rensis oldalfali kipufogó csatorna elhelyezéséből fakadó előnyei a régebbi Rx7 13B REW motorral szemben, így megszűnt az összenyítás. Ezen kívül jól látszanak a megnövelt csatornák keresztmetszeteinek különbségei.



A töltetcsere nyílások átömlési keresztmetszeteinek változása a motor fő tengely-elfordulásának a függvényében. 1 – átöntési keresztmetszet, 2 – összenyítás, 3 – kipufogórés-nyitás (palástoldali), 4 – excenter tengely elfordulás, 5 – szívórésnyitás (oldalfali), 6 – kipufogórés-nyitás (oldalfali), 7 – növelt keresztmetszetű palástoldali szívórés, 8 – késleltetett nyitás, 9 – összenyítás nélküli vezérlés

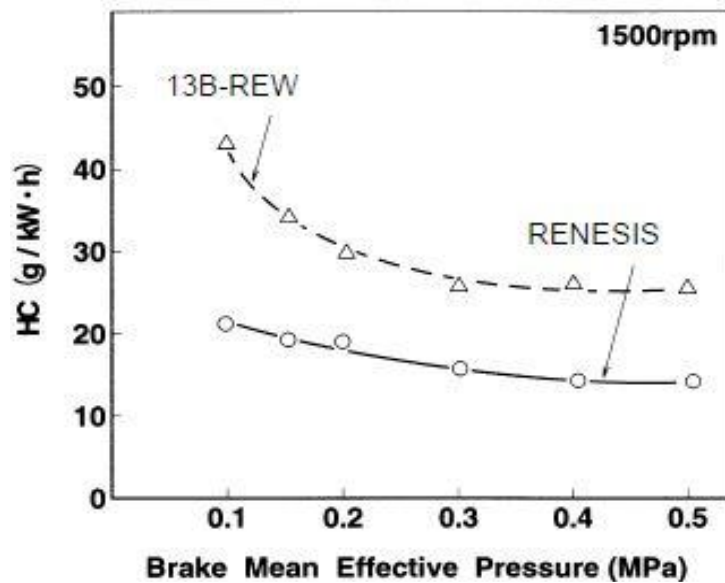
16.ábra

Az alábbi diagram az állandó fordulatszámon mért fajlagos tüzelőanyag fogyasztást hasonlítja össze az Rx8 Renesis és az Rx7 13B-REW motor esetében, a változó terhelés függvényében. Így láthatóvá válik a fogyasztás csökkenése, ami a változott végáttétel miatt nem olyan szembetűnő a használat során.



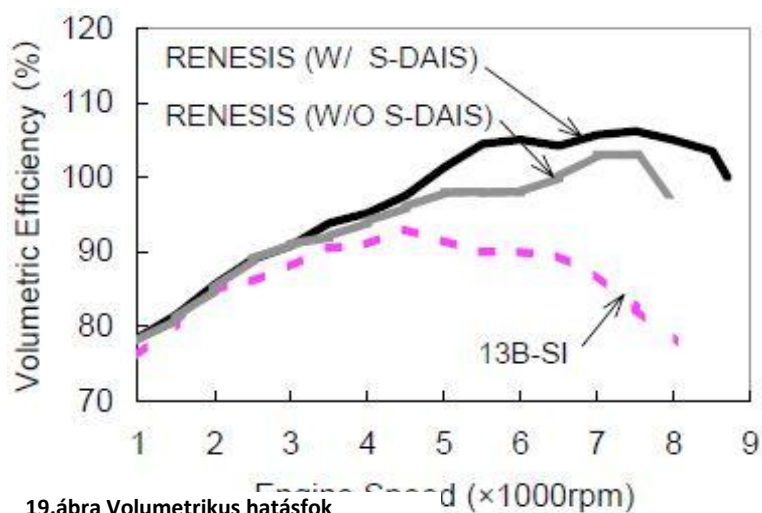
17.ábra Fajlagos tüzelőanyag fogyasztás.

Jól látható a HC emisszió terén elért fejlődés, ami igazából a kipufogó portok elhelyezését hasonlítja össze, periférikus kontra oldal elhelyezés.



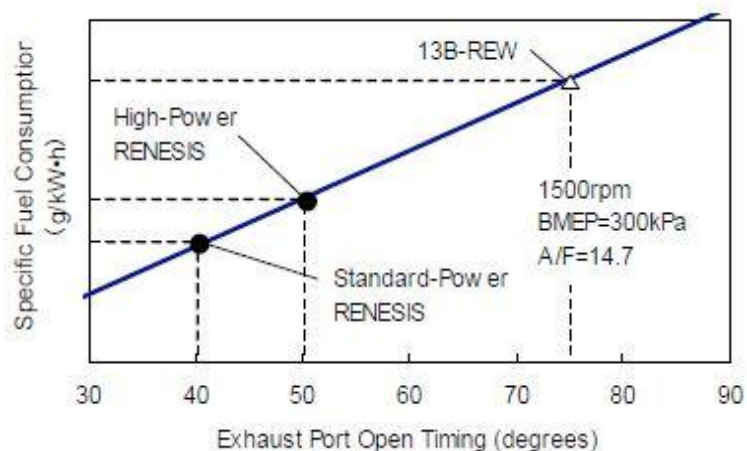
18.ábra HC emisszió

Volumetrikus hatásfok változása a Renesis változó rendszerű töltésénél, ill. a 13B motornál. A volumetrikus hatásfok megmutatja, hogy milyen a töltés a külső atmoszférikus nyomáshoz viszonyítva.



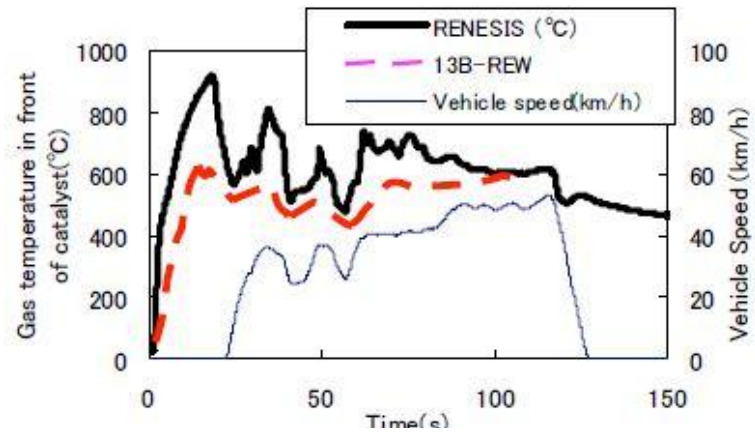
19.ábra Volumetrikus hatásfok

A diagram jól szemlélteti a kipufogórészek nyitvatartási idejének változását, melyek jelentősen lerövidülhettek méretbeli változtatásaiknak köszönhetően, így hosszabb lehet a munkaütem, tehát javul a termikus hatásfok.



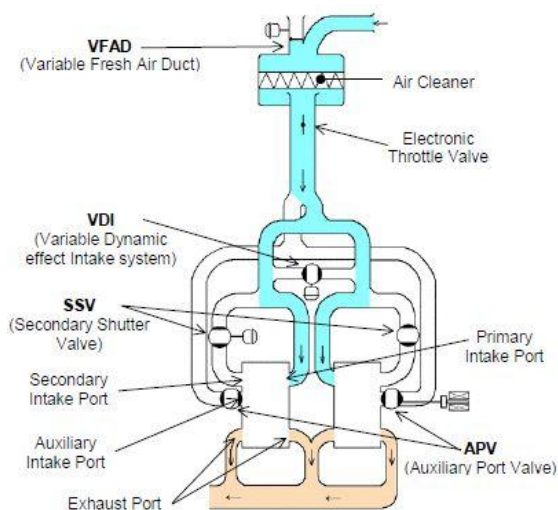
20.ábra Kipufogórészek nyitva tartása az excenter tengely szögelfordulásának függvényében.

Kipufogógázok hőmérsékletének alakulása:

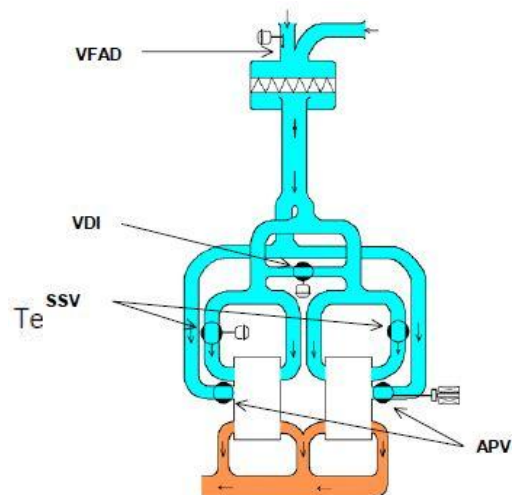


21.ábra Kipufogógázok hőmérséklete

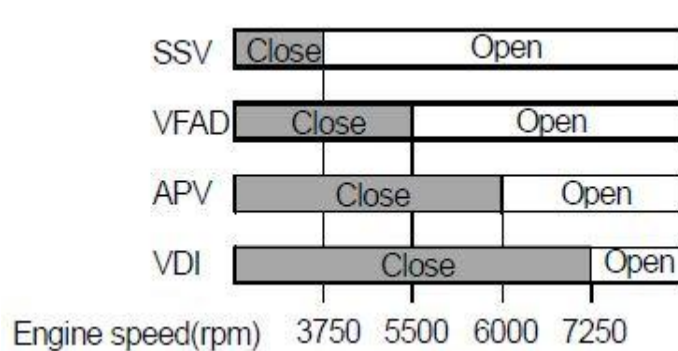
A következő ábrák a változó szívásvezérlést mutatják, melyek miatt a tüzelőanyag fogyasztás és a HC emisszió kedvezőbb.



22.ábra Létfcsatornán működő, alacsony terhelés mellett.



23.ábra Hat csatornán működő, magasabb terhelés mellett.



Látható, hogy a portok nyitása, ill. zárása fordulatszám változáshoz köthető. A motor elektronikus fojtószeleppel van ellátva.

24. ábra Portok nyitása és a fordulatszám viszonya.

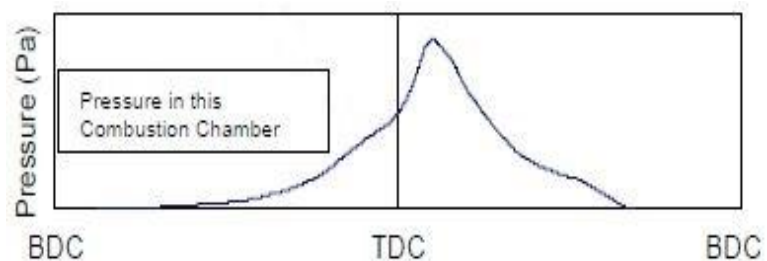
Töltetcsere - szívó, ill. kipufogónyílások nyitva tartása, a rotor szögelfordulásában, I, ill. II generációs Renesis esetében.

Item				Specification			
				2009MY		2008MY	
				13B-MSP (Standard Power)	13B-MSP (High Power)	13B-MSP (Standard Power)	13B-MSP (High Power)
Port timing	IN	Open	ATDC	3°			
				12°			
		Close	ABDC	38°	-		38°
				65°	60°		65°
	EX	Open	BBDC	36°	45°		36°
				80°	-		80°
		Close	BTDC	50°	40°		50°
				3°			

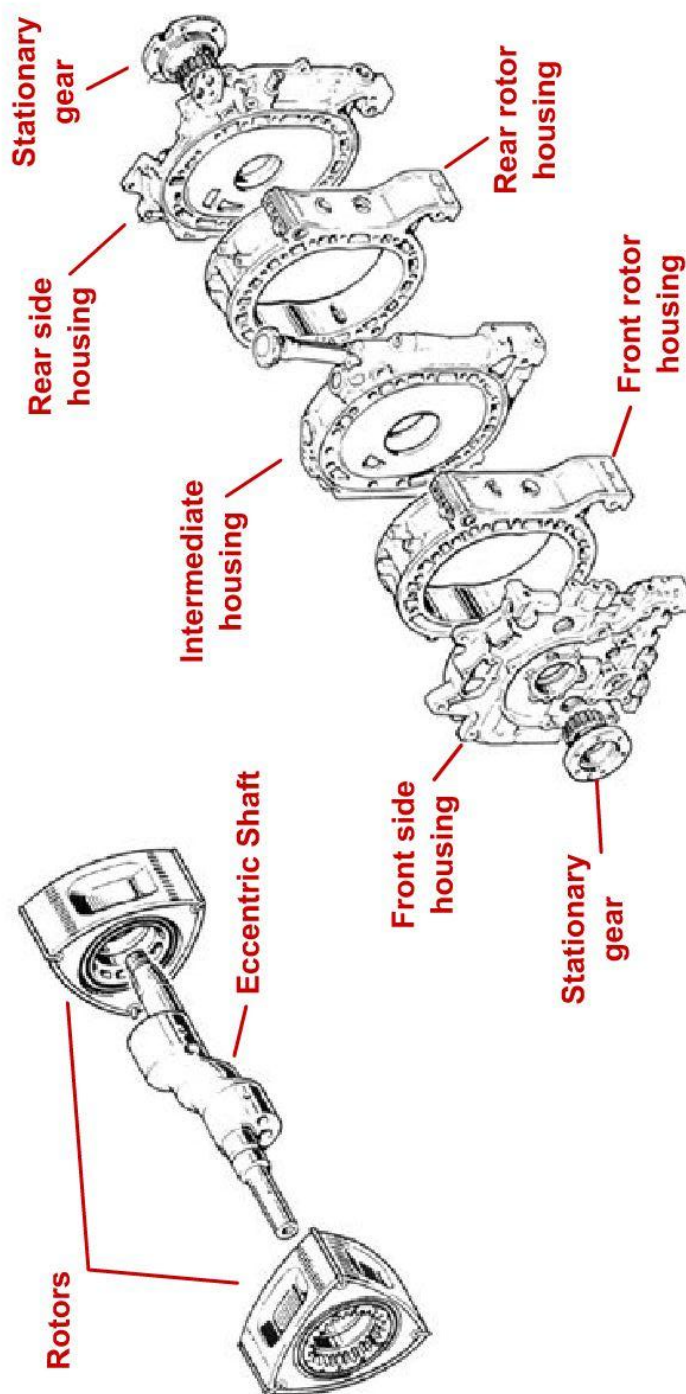
A táblázat egy Mazda márká szervizből kapott információkat ismerteti.

A rotor különböző helyzeteiben mérhető nyomás alakulása az égéstérben.

TDC a normál motorokban a felső holtpontnak felel meg, míg a BDC az alsónak.



25. ábra Munkaközeg nyomásának alakulása.



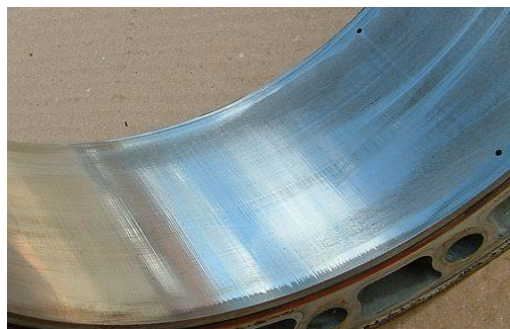
26.ábra - Robbantott ábra a Renesis-ről.

2.4. Szerviz tapasztalatok, egy I. generációs Renesis (13B-MSP S1) üzemeltetése során:

2.4.1. Alkatrészek vizsgálata – következtetések levonása:

Adott egy 100 000 km-t futott motor, melyben az olaj cseréket elhanyagolták, mivel 20 000 km-enként került sor cserére. Jellegzetes módon tömitései közel ugyan ennyi távot tettek meg eddig, hiszen átlagosan 50 km/h-ás sebességgel és 3000 1/min-es fordulatszámmal számolva az excenter tengely 360 millió fordulatot tett meg, a rotor pedig ennek egyharmadát. A kapott értéket a trochid ív hosszával beszorozva hasonló értéket kapunk. Összehasonlításként egy Mazda 6 hagyományos motorjában a dugattyúgyűrűk ennél jóval kevesebb, mindössze 72 000 km-t tesznek meg.

Az első kamra trochoid felületének kopása megfelel az elvárásoknak az oldalfallal együtt. Jól megfigyelhető, hogy a trochoid csúszófelület széle jobban kopott, mint a belső részei, ennek a széleken jelentkező nagyobb termikus igénybevétel a fő okozója, ami az oldalt elhelyezett kipufogó résznek tudható be. Ez a jelenség annak ellenére így történik, hogy a befecskendezett olaj itt nagyobb mennyiségben van jelen.



6.kép - Kopottabb oldalélek

Kopás szempontjából nagy jelentőséggel bír, hogy magasabb oktánszámú benzinnel kell üzemeltetni a motort, mivel a lerakódások mennyisége így csökkenthető. Ezáltal az élettartam jelentősen növelhető, ehhez legalább 98-as oktánszámú benzin szükséges. Annak az elképzelésnek, miszerint a kenéshez befecskendezett kevés motorolaj égése jelentősen növelné a lerakódásokat, ellentmond a szétszedett motor állapota. A kipufogóníylás különleges csúcsos alakja azért van, hogy megtisztítsa a káros lerakódásoktól az oldalsó éltömítéseket. Mivel az olajat elég ritkán cserélték, így ott több lerakódásnak kellene lennie, ám ez nem így van, tehát az oldalt lévő, kemény szén lerakódások főleg a benzin égése során keletkeztek. Utóbbi képen jól látható az olajmegtapadást segítő porózus felület.



7.kép - A kipufogóníylás lerakódásai

A leírtaknak nem teljesen felel meg a második rotorház állapota, ez utóbbinak valószínűleg nagyobb termikus igénybevételeket kellett elviselnie, melyet gyújtáskimaradás okozhatott nem megfelelő hidegindítással kísérve. Ezt bizonyítja a második kamra trochoid ívéen található apró repedés. Ezen kívül erősebb kopás figyelhető meg az oldalfalon, amit a siklócsapágyak kopása is elősegíthetett, hiszen a rotor ütése ettől is függ. A nagyobb kopás miatt,



8.kép - Trochoid ház

pedig erőteljesebb karmolások is láthatók.

Maguk a rotorok, melyek egyenként 4 kg-os acélöntvények, kopás szempontjából kevésbé veszélyeztetett helyzetben vannak, mivel közvetlenül nem érintkeznek a csúszófelülettel, hiszen vezetésüket az excenter tengelyen található „sonka” végzi. Ehhez jó csapágyazásra és a pozicionáló fogaskerék megfelelő helyzetére van szükség. A tömítések mozgása folytán egyedül a nekik kialakított fészkek tudnak kopni, ám ez a kopás 100 ezer km után sem számottevő, túrően belüli értéken marad. Az éltömítések kopása megfelelőnek mondható (0,5 mm, az 1mm-es megengedett értékből). Az oldalsó kompresszió tömítések kopása minimális, az olajtömítések hőálló gumigyűrűi szintén megfelelő állapotban maradtak, nem váltak merevvé, ill. nem ragadtak meg a lerakódások miatt.



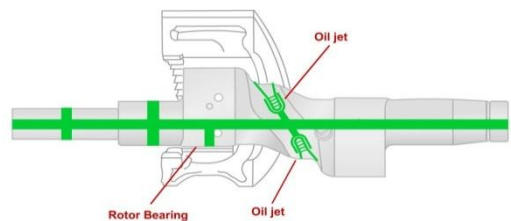
9.kép - Jó állapotú gumigyűrű

A tömítések kenéséért felelős olajadagoló fűvókák tiszták, nem szennyeződtek el, a szerkezetből adódóan nem is hajlamosak rá, hiszen a szívó oldalon helyezkednek el, ahol a vákuum miatt nem jellemzőek a lerakódások.



10.kép - Excenter tengely

Az excentrikus tengely állapotával nincs probléma, a mozgás továbbításán túl, fő feladata az olajszállítás a siklócsapágyak kenésére és a rotorok hűtésére. A tengely kopásáról nincs értelme beszélni, hiszen itt a csapágyfém kopik, mivel az jóval puhább. A 27. ábrán megfigyelhetők a csapágyak kenését szolgáló furatok és a rotor hűtésére szolgáló fűvókák.



27.ábra – Az olaj útja.

2.4.2. Az excentertengely siklócsapágyainak kopási problémája:

A legjelentősebb probléma, amely nem is mondható wankel specifikusnak a siklócsapágyak túlzott kopása, ami összefüggésbe hozható sok káros jelenséggel. Erre a problémára részben a hidegindítás utáni kíméletlen üzem is magyarázatot adhatna, ám ez a gond több motor esetében is jelentkezik, tehát nem feltétlenül felhasználói hiba. Az I generációs 13B-MSP motoroknál olajnyomást kimutató mérések alapján bizonyítható, hogy a Mazda által kiadott gyári referencia nyomás értékei, melyek meghatározott fordulatszámra, hőmérsékletre és olajra vonatkoznak, a valóságban nem mindig állnak fenn. Konkrétan gyári adatok alapján 100 °C-on, 3000 1/min fordulatszámon az olaj nyomásának 3,57 bar-nak kellene lennie, ám a valóságban a tapasztalatok szerint ez 2,5 bar körüli értéken van. Ez azt jelenti, hogy egyes fordulatszámokon a tengely több olajat présel ki, mint amennyi



11.kép – Álló fogaskerék, az oldalfalon.

érkezik, hiszen annak ellenére, hogy nyugodtabb járású a motor, pumpáló hatás itt is van. Ennek következménye a nem megfelelő kenés, ill. hűtés, amely a wankel motor esetében kulcsfontosságú lenne. Az olajadagoló fűvókák az excenter tengelyen és a trochoid házon nyomás hatására oldódnak, így alacsonyabb nyomás mellett csak részben nyílnak ki, ezáltal a rotor hűtése, és a siklócsapágyak kenése nem lesz megfelelő. Ez a probléma főleg hidegindításnál jelentkezik, ill. amikor a gyorsítás okozta kezdeti nyomásugrást követően huzamos ideig állandó fordulatszámokon működik a motor. Ezt a problémát a II. generációs renesis motor változtatásai is alátámasztják, mivel az olajnyomást jelentősen megnövelték minimális egyéb változtatások mellett.

Item		Specification			
		2009MY		2008MY	
		13B-MSP (Standard Power)	13B-MSP (High Power)	13B-MSP (Standard Power)	13B-MSP (High Power)
Oil pressure (reference value) [oil temperature: 100°C; 3000 1/min]		5,1 bar		3,57 bar	
Oil pump	Relief valve opening pressure (reference value)	11,01 bar		4,5 – 5 bar	

A táblázat adatai Mazda márkaszervizből származnak.

A táblázat jól mutatja, hogy az I generációs 13B-MSP motor olajnyomását 5,0 bar-ról 11,01 bar-ra növelték, ami bőségesen elegendő a jó kenéshez, így a II. generációs 13B-MSP motorokkal ilyen téren nincs probléma.

Az I generációs motorok olajnyomása is növelhető némi átalakítással, így nő a siklócsapágyak élettartama, hiszen a kenés javul, és nem utolsó sorban jobb lesz a hűtés. Ezzel az egész motor élettartama hosszabbodhat. Magának az olajszivattyúnak megfelelő a szállítási teljesítménye, mivel a korábbi wankel motorokban is megfelelően működtek azonos felépítésű szerkezetek. A probléma az olajkör nagy áramlási ellenállásában, ill. az Európában alkalmazott fél-szintetikus olaj tulajdonságainak változásában keresendő. A megoldás tehát adott, csökkenteni kell az olaj áramlási ellenállását, ill. érdemes szintetikus olajat választani, az Európában alkalmazott 5w-30 jelzésű dexelia olaj helyett. Ez egy ásványi alapú, különböző adalékokkal szintetizált olaj (Japánban nem ilyenekkel üzemeltetik az autókat). Az itt ismertetett megoldást egy márkaszerviz dolgozta ki.

Fontos megjegyezni, hogy az olajnyomás nem növelhető egyszerűen nagyobb meleg oldali viszkozitással rendelkező olaj választásával, mivel a nagyobb viszkozitású olaj lassabban áramlik, így a hűtés nem lenne megfelelő. Ez magasabb csapágyhőmérsékletet okozna, ami még jobban elvékonyítaná az olaj vastagságát, ill. a nagyobb viszkozitás miatt lassabban érkezne az utánpótlás.

A nagy áramlási ellenállás elsősorban a két olajhűtőnek és a közöttük lévő vezeték veszteségének köszönhető. Az olaj először a bal, majd a jobb hűtőhöz áramlik, ezután megy a szűrőhöz és végül vissza a motorba, így mire visszaér a nyomása jelentősen lecsökken. A leírt út több métert jelent, több áramlást vezérlő termosztáttal, hosszú, kis keresztmetszetű csőhálózattal, ill. 90°-os irányváltókkal. Így hamar kialakul az a nyomás, ami nyitja a túlnyomás szabályozó szelepet, ezáltal az olaj egy része visszaáramlik az olajteknőbe, tehát az olajpumpa tudna még olajat szállítani, de teljesítménye nincs kihasználva. A nyomásesés csökkentése elérhető a csőhálózat rövidítésével, ill. egy nagyobb keresztmetszetű termosztát, és egy nagyobb olajhűtő

alkalmazásával, a két kisebb helyett. Az olajhűtő a vízhűtő elé kerül, ez azért is előnyösebb, mert a hűtőventillátor így képes rásegíteni a hűtésre, nem csak a menetszél végzi azt.

Az újonnan beépített termosztát működése a lehető legegyszerűbb, a hűtő irányába mindig nyitva van, míg a visszavezetőág (vissza közvetlenül a motorba) a hőmérséklettől függően nyit vagy zár, teljesen 80 °C-on zár. Azért lehet mindig nyitva az olaj útja a hűtő irányába, mert az ott lévő hidegebb, így magasabb viszkozitású olaj áramlása nehezebb, tehát a motorból érkező olaj csak abban az esetben áramlik ebbe az irányba, amely több veszteséget jelent a számára, ha a visszavezetőág zárva van. A gyári rendszer is így működne, csak hogy ott a termosztát a hűtőbe van beépítve, így az olaj mindig rá van kényszerítve, hogy nyomásvesztés árán végigáramoljon a hűtőkön. A csőrendszer 90 °-os törései szintén kiküszöbölhetők, így a nyomás tovább javulhat.

A rendszer telepítésével az olaj hőmérséklete normál terhelés mellett, nyáron sem haladja meg jelentősen a 80 °C-ot, de sportosabb vezetés mellett a 100 °C-os olajhőmérséklet sem okozhat problémát. Említésre méltó tény még, hogy az átalakítással nem nő a rendszer olajfogyasztása sem.

Az új, nagyobb olajhűtő beépítése miatt az akkumulátort a csomagtérben kell elhelyezni, ami további előnnyel jár, hiszen így legalább 10 kg-nyi tömeg kerül hátra, ezzel javul a jármű súlyelosztása.

A szerkezeti átalakítások után a következő lépés a motorolaj cseréje az ásványi alapú, fél-szintetikus 5w-30 -asról a szintetikus 0w-30 -as olajra (Japánban ezt alkalmazzák). Az 5w-30 jelzésű olaj jellemzője, hogy ásványolaj eredetű, tehát heterogén felépítésű, ahány molekulája van annyiféle, így kevésbé kiszámítható, de kémiaiilag szintetizált molekulákat tartalmaz, melyek javítanak tulajdonságain (a hőmérséklet hatására bekövetkező viszkozitás változást akadályozzák), ám az idő függvényében ezek az adalékok veszítenek kezdeti tulajdonságaikból, szétesnek. Minősége a felhasználás kezdetén megközelíti a szintetikus olajokét, majd ez egyre romlik.

A 0w-30 jelzésű olaj teljesen szintetikus, amelynek molekulái tervezettek, így sokkal kiszámíthatóbbak a tulajdonságaik. Nincs szükség hosszú láncú adalékokra, amik a használat folyamán csak elnyíródnának, mert az alapolaj tulajdonságai megfelelőek, így nem változik jelentősen az olaj minősége a használat közben. Molekula szerkezete állandó, így áramlása stabil, tehát a hőelvezetést kiszámítható módon végzi. Hő terhelhetősége sokkal jobb, így leállításkor a felmelegedő motorolaj kevésbé hajlamos a kokszosodásra, ez wankel motor esetében a lerakódások megelőzése miatt különösen fontos. Hidegen ez a típusú olaj rendelkezik a legjobb folyási tulajdonságokkal, így a hidegindításkor tapasztalható kopás mérséklődik, mivel rövidebb ideig marad kenés nélkül a motor. A csereperiódus végére sokkal jobb állapotban marad egy ilyen típusú olaj, mint egy fél-szintetikus.



12.kép – 0w-30 -as olaj

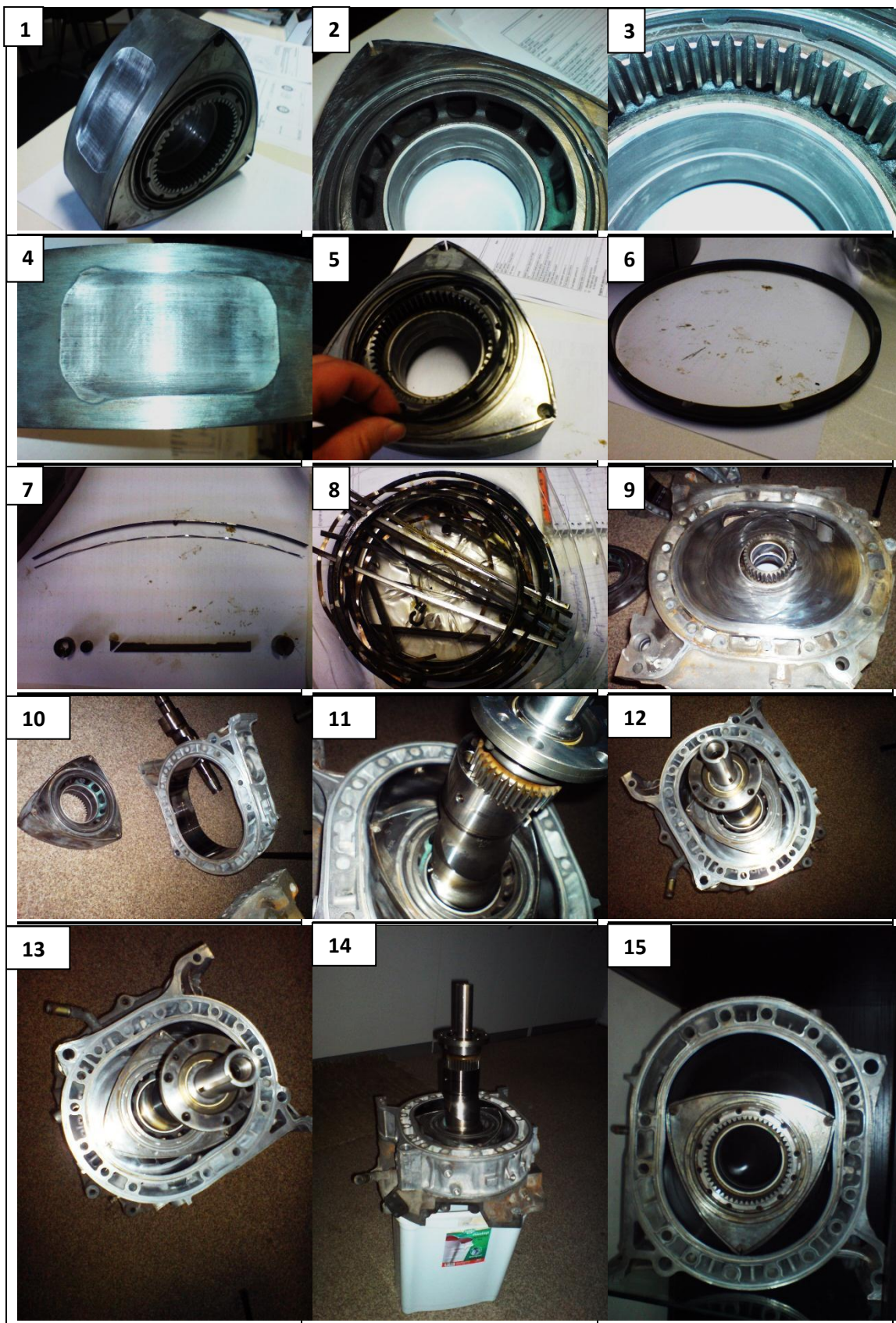
Végeredményben a kenési és a hűtési probléma egyértelműen megoldódhat, műszaki értelemben vett hátrányok jelentkezése nélkül. A motor élettartama jelentősen növekedhet ezekkel az átalakításokkal, hiszen 3000 1/min fordulatszámon a maximális olajnyomás 6,7-7 bar-ra nőtt az eredeti olajjal, míg a viszonylag híg 0w-30-as olajjal is több mint 4 bar, akár 100 °C-os olajjal is.

2.4.3. Üzemeltetés során érdemes odafigyelni:

- A bejáratási időszakban különösen óvatosan kell bánni a motorral, 750 km megtételéig 3500 –as fordulát fölé, ill. 1000 km-ig 4000 –es fordulatszám fölé nem szabad pörgetni a motort. Ez az első, tesztautóként megtett km-ek miatt, amikor a leendő tulajdonosok próbálgatják a motort sajnos nem mindig így történik.
- Tüzelőanyagként legalább 98-as oktánszámú benzint kell használni, így kevesebb lerakódás keletkezik, javulnak a kopási tulajdonságok.
- Az olajsintet gyakrabban kell figyelni a szükségszerű olajfogyasztás miatt, értékét érdemes a maximális szint körül tartani a jobb hűtés miatt. Az olaj fogyásának mértéke 0,3-0,7 dl 1000 km-enként. Összehasonlításként az 1967-es NSU Ro 80 1,3 –1,8 l olajat evett 1000 km-en.
- Olajcsere periódusa nem haladhatja meg a 10 000 km-t, és szintetikus olajjal kell üzemeltetni, ami tovább megőrzi kezdeti tulajdonságait.
- Hidegen nem szabad leállítani, mivel megszívja magát a kamra (ez a hátrányoknál ismertetésre került, megoldásával együtt).
- Ha régebben volt beindítva a motor, indítás előtt érdemes lenyomott gázpedállal indítani, így nincs benzin befecskendezés, tehát nem indul be, de olajjal átforgathatjuk a rotorokat, így jobb lesz a kezdeti kenés, mivel pótoljuk a lefolyt olajat a kamra felületéről. Ez után már rendesen indíthatjuk a motort.
- Tévhit, hogy a tisztább kamrák miatt mindig pörgetni kell az ilyen motorokat, ezt a műveletet elég ritkábban elvégezni, így is tud távozni az összegyűlt korom, ezzel nő az élettartam.
- Indítás után azonnal nem érdemes túlpörgetni, mivel túl nagy termikus igénybevételnek tehetjük ki, az amúgy is érzékeny motort.
- Téli üzem esetén, amíg az olaj eléri az 50 °C-os hőmérsékletet az legalább 10 perc, így ebben, a kenés szempontjából kritikus intervallumban nem érdemes terhelni a motort.
- Használt Rx8 vásárlása esetén az alvázszámot mindenképp ellenőriztetni kell egy márká szervizben, így ellenőrizhető, hogy az előző tulaj mennyire figyelt oda a járművére.

Odafigyeléssel jelentősen növekedhet a motor élettartama, az elhanyagolt motorok hamar megbosszulják a nemtörődömséget, ez wankeleknél fokozottan így van.

2.4.4. Képanyag: - Szervizlátogatás





A képeken egy 100 000 km-t futott, szétszedett Renesis motor, ill. egy másik Rx8-as látható, amely átesett az ismertetett átalakításokon, további érdekesség, hogy a felhasználást segítő olajnyomást és hőmérsékletet mérő műszert is be lehet szereltetni, így a tulajdonos, láthatja, ha valami baj van, így a motor károsodása számos esetben elkerülhetővé válik. Hidegindításnál szintén elkerülhető az üzemi hőmérséklet elérése előtti kíméletlen hajtás.

Táblázatban szereplő képek:

- 1.Kép: Rotor
- 2.Kép: A rotor belső oldalán jól látható az excenter tengelyen keresztül érkező hűtőolaj befecskendezés számára kialakított öntvény üreg.
- 3.Kép: Belső fogazású fogaskerék és a siklócsapágy állapota.
- 4.Kép: Aszimmetrikus égéstér kialakítás a rotoron.
- 5.Kép: Olajtömítő gyűrű, és elhelyezése a rotor oldalán.
- 6.Kép:Hőálló, fluorizált gumitömítést tartalmazó olajtömítőgyűrű.
- 7.Kép: Él, sarok és oldaltömítések-
- 8.Kép: Két rotorhoz tartozó tömítések sokasága.
- 9.Kép: Trochoid ház oldalfala.

10.Kép: Rotor, excenter tengely, trochoid ház.

11.Kép: Jól megfigyelhető a ház külsején rögzítendő külső fogaskerék koszorú.

12-14Kép: Félig összeszerelt állapot.

15.Kép: Rotor a trochoid házzal.

16-23.Kép: Mazda Rx8 szemléltetése.

2.5. Összefoglaló:

Az ismertetett probléma érzékelteti, hogy mennyire is komplex egységként kell kezelni ezt a motortípust, amelyben akár egy tényező hibája is rengeteget jelenthet futásteljesítményt tekintve. Hiszen a motor legnagyobb ellensége a kopás, ill. a lerakódások, melyek az éltömítések élettartamát nagymértékben befolyásolják. Hiába rendelkezünk jól megtervezett motorral, ha az üzemeltetés nem megfelelő a számára, a wankel motor helyes használatához nagy körültekintés szükséges.

A felhasznált anyagok fejlődését nézve a jövőben számos probléma megoldódhat, így előnyei fölénybe kerülhetnek. Szerkezete, nyomatékleadása kedvezőbb a hibridhajtású járművek számára, ill. hidrogén elégetése esetén nem merülnek fel a löketdugattyús motoroknál megszokott problémák.

A technológiája még ma sem mondható kiforrottnak, de persze egy ilyen autó nem bevásárló körútra termett, elég, ha csak az 1991-es Le Mans-i 24 órás megbízhatósági verseny 700 Le-ös, 4 rotoros győztesét nézzük, a 787 B Mazda versenyautót, ekkor vett részt utoljára wankel motor ilyen versenyen.



13.kép – Mazda 787 B

Összefoglalásként nyugodtan leszögezhetjük, hogy a konstrukció számos hátrányos tulajdonsága mellett, legalább ugyanennyi hasznos jellemzővel rendelkezik. Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a löketdugattyús motorokra szánt pénz és idő mellett eltörpülnek a wankel motorokra szánt befektetések. Sok autógyár bukott bele a fejlesztésébe, egyedül a Mazda tudta sokáig életben tartani. A kezdeti tömítési, fogyasztási, élettartami problémák rányomták bélyegüket a motorra, ám számos hátrányos tulajdonsága mellett jelentős megosztó erővel bír.

Sajnos jelenleg gazdasági okok miatt nem gyártanak ilyen motorral autót, ám ez a tény változni fog, mivel a Mazda nem rég jelentette be, hogy 2017-ben érkezik az új wankel motoros Rx7 16X nevű növelt kamratérfogatú motorjával, lézeres gyújtásával, ami már megfelel az Euro 6-os követelményeknek is. Sportossága és különlegessége miatt nagy népszerűségnek örvendhet majd a jármű.

3. Kiegészítés - A múlt problémái, és a jövő reményei:

A most következő rész nem tartozik szorosan a dolgozatomhoz, a történet kerekése miatt csatolom csupán, hogy átfogóbb kép alakulhasson ki a wankel motor megítéléséről és lehetőségeiről a jövőjéről.

14.kép

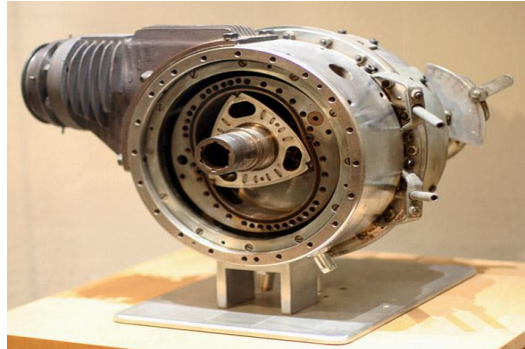


3.1. Kezdeti sikerek és problémák:

Az NSU kitörési kísérlete:

Az első használható tervek az NSU-nál készültek el, 1954-ben. Az első konstrukciónál nem csak forgódugattyú, hanem a külső rész, vagyis a motorház is forgott. 1957-ben már próbapadon mérhető volt a szerkezet, jelentős tömítési és hűtési problémákkal küzdött, ám figyelemre méltó teljesítményre volt képes. A prototípus rövid életű volt, ám rengeteg hasznos tapasztalattal szolgált a mérnököknek.

Maga a motor egy rotoros, 125 cm^3 hengerűrtartalmú volt, amely egy 250 cm^3 -es alternáló mozgást végző motorral volt egyenértékű. Teljesítménye 17000 1/min fordulatszámon 21 kW, azaz 29 lóerő volt (egy rövid időre 22 000 1/min fordulatszámot is mértek), 100 órás üzemidejéhez 313 g/kWh fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás párosult.. Ez jelentős eredménynek számított a maga korában.



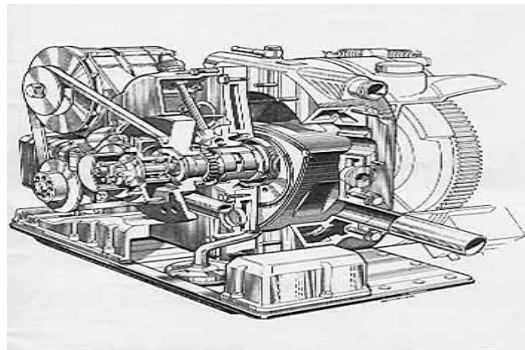
15.kép - DKM54, a megmaradt példány

A kezdetek - NSU Spider:

Az első szériaként gyártott autó, amit wankel motorral gyártottak az NSU Spider. Kis szériás modell volt, kabrió kivitelben vászontetővel. A tulajdonosok nem használták őket gyakran, ezért a konstrukció kezdeti hiányosságai nem derültek ki ebben a szériában.

Jellemzői:

- Maximális teljesítmény: 37 kW / 50 Le; 5500 1/min fordulatszámnál
- Maximális nyomaték: 74 Nm; 3000 1/min fordulatszámnál
- Rotorok száma: 1
- Kamratér: 497 cm^3
- Gyorsulás 0-100-ra: 14,5 s
- Max sebesség: 150 km/h
- Motor elhelyezése: farmotoros
- Hajtás: Hátsókerék
- Üzemanyag: benzin
- Súly: 735 kg
- Teljesítmény / súly arány: 0,0680 Le/kg



28.ábra NSU Spider wankel motorja



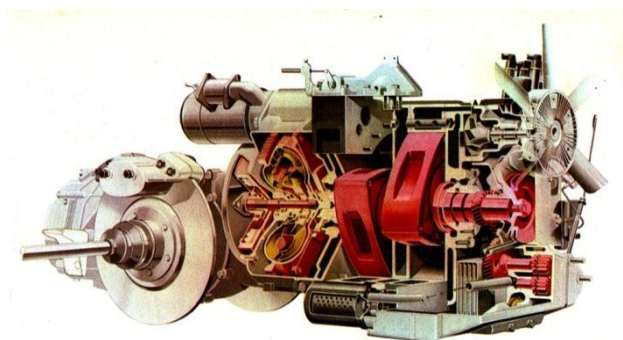
16.kép - NSU Spider

A tragédia - RO 80:

Az igazi nagy lépés az NSU részéről a hatalmas pénzekből kifejlesztett orrmotoros elsőkerék-hajtású RO-80-as volt, 1967-ben. A két rotoros benzin üzemű wankel motor $2 \times 497 \text{ cm}^3$ kamratérfogatú volt, teljesítménye elérte a 115 Le-t 5500 1/min-es fordulatszámon. Legnagyobb nyomatéka 159 Nm, míg legnagyobb effektív középnyomása 10,0 bar volt. A járműben használt technika hozzávetőlegesen másfél évtizeddel előzte meg korát, épp ezért a nagyközönség fenntartásokkal fogadta az új, ismeretlen technikai megoldások miatt. Formatervezése is egyedi volt, hatalmas előrelépést jelentett, légellenállási tényezője rendkívül előnyösre sikerült. Az autóba hidraulikus kuplungot, és 3 fokozatú nyomatékváltót szereltek. Vákuum-rásegítő első és hátsó tárcsafékeket, hidraulikus szervókormányt, elől pedig Mc Pherson felfüggesztéseket alkalmaztak. Végsebessége elérte a 180 km/h-t, 14,2 s alatt gyorsult 0-ról 100 km/h-ra, kombinált fogyasztása pedig 11,2 l/100km volt, ami persze gyári adat. A jármű összsúlya 1750 kg, úttartása kimondottan jó volt. 1968-ban az év autójának választották.

Az akkoriban, igényes, csúcsmodellnek számító autó eladása elindult, aztán ahogy elröppent az első 25 000 km, kezdődtek az első szériás problémák. Indítási nehézségek, előgyújtási zavarok miatti túlmelegedés, és fokozott olajfogyasztás lépett fel, a tömítések és a blokkok kopása miatt. Füstgáz kibocsájtása sem volt megfelelő. Az 50 000 km meghaladtával pedig az első széria, túl hamar piacra dobott motorjai megadták magukat. Elsősorban a toroid háromszög alakú dugattyú csúcsaiban levő éltömítéseinek szembefordulása okozta a problémát. A következő probléma az volt, hogy a különleges égéstér miatt, a wankel motort nem lehet felfűrni, mint a hagyományos motorok hengereit, ezért teljes blokk cserére volt szükség. A tulajdonosok körében hatalmas volt a felháborodás, a wankel motor megbecsülése hatalmasat esett. Az éltömítéseken ugyan 1970-re sokat javítottak, de a közvélemény wankel motor iránti bizalma jóvátehetetlenül megingott. Az emberek már egyáltalán nem bíztak a konstrukcióban. Az NSU felélte tartalékait, és teljesen eladósodott, a gyors ütemű utófejlesztések, a reklamációs gondok orvoslása és a vásárlók bizalmatlansága miatt. 1969-ben az Audi felvásárolta az NSU-t, így jött létre az Audi NSU Auto Union AG.

Összesen 37 406 db RO 80-ast gyártottak, közülük 3000 db ma is létezik, melyek egy része üzemképes állapotban van. A megmaradt példányok értéke elérheti a 18 000 Eurót is.



29.ábra – Két rotoros változat



17.kép - Ro 80

3.2. A wankel motor lehetséges jövője:

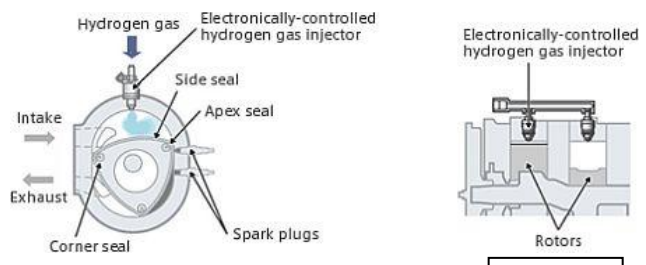
Mazda- hidrogén, mint tüzelőanyag:

A Mazda 1991-ben kezdte fejleszteni a hidrogén hajtású motorját, ami egészen 2006-ig nem is került bemutatásra. Először az Rx8 Hydrogen RE, majd Premacy Hydrogen RE Hybrid autót mutatták be, melyek RE jelölése jelenti a wankel motort, ami hidrogénnel is képes üzemelni. Ezeknek az autóknak a teljes csomagtartóját elfoglalja a hidrogéntartály, aminek űrtartalma csupán 100 liter, közelítőleg 35 Mpa-os nyomáson. A biztonság érdekében szivárgás érzékelőket helyeztek el a tartálynál. További érdekesség, hogy soros hibrid autók esetén a wankel motor tartósabb lehet, mivel mindig közel azonos fordulatszámon és terhelésen üzemelhet, ezt a megoldást alkalmazza a Premacy.



18.kép - Rx8 és Premacy hidrogén

Annak érdekében, hogy mindig el lehessen jutni velük a következő kútig benzintartály is beépítésre került. A motor szerkezete teljesen megegyezik a benzin üzemű járművek motorjaival, csupán egy kapcsolásra van szükség a két üzem felcserélésére.

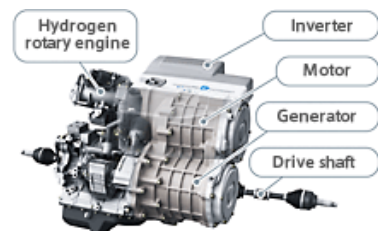


30.ábra Hidrogén befecskendezés elve

Mazda 5 Hydrogen RE Hybrid : (Ez a név Európában használatos a Premacy helyett)

➤ Belsőégésű motor:Renesis, benzin/hidrogén üzemmóddal

- Legnagyobb teljesítmény:
 - Hidrogén üzem: 80/109 kW
 - Benzines üzem: 154/210 kW
- Legnagyobb nyomaték:
 - Hidrogén üzem: 140 Nm
 - Benzines üzem: 222 Nm
- Üzemanyag: Hidrogén és benzin



31.ábra A Mazda 5 erőforrása

➤ Villanymotor típus: AC szinkron

- Teljesítmény: 30/40 kW

➤ Akkumulátor típus: Nikkel-hibrid



19.kép Mazda 5 Hydrogen RE Hybrid

A wankel motor előnyei hidrogén égetése esetén:

- A hidrogén a hagyományos, dugattyús motorban nehezen kezelhető, mert a forró kipufogószelepeken, a felhevült égéstérben magától is begyullad. Ezzel szemben a Wankel motor munkakütemei egymástól elválasztva, külön kamrákban zajlanak, így a szívónyílás hőmérséklete miatt nem fenyegeti a keveréket az öngyulladás veszélye.
- Az alacsonyabb üzemi hőmérséklet miatt használható gumitömítés a hidrogén befecskendezőknél, így megoldható a közvetlen befecskendezés is, ennek köszönhetően sikerülhet javítani a hidrogén nagyobb fajtérfogatából adódó keverési problémán.
- A hidrogén fűvókához elegendő hely áll rendelkezésre, ez a hagyományos motorokban nehezen megoldható, a közvetlen befecskendezésre azért van szükség, mert a hidrogén nagyobb térfogatot igényel az égéstérből, mint a benzin.
- A hidrogén viszonylag lassan keveredik a levegővel, mely problémát jól orvosolja, hogy a wankel motorokban lassabb a töltetcsere-folyamat, ill. erőteljesebb szívóhatással rendelkezik, mint az alternáló dugattyús motorok.

A belsőégésű motorokban alkalmazott hidrogénnel való hajtás a tüzelőanyag cella hatásfokát nem éri el, ám gyártása sokkal olcsóbb, károsanyag kibocsátása pedig CO₂ terén nulla, NO_x-ból pedig minimális mennyiséget juttat a környezetbe.

Sajnos egyelőre csak olyan országokban van értelme ilyen járművekkel foglalkozni, ahol az áramellátás olcsóbban elérhető, mint például Norvégiában, ahol szél, árapály és geotermikus erőművekkel termelnek áramot. Itt a fenntartási költségek nagyjából megegyeznek a benzin üzemű járművek költségeivel. Nálunk és a legtöbb országban, ahol a villamos áram előállítása főként hő- és atomerőművel történik, a vízbontáshoz szükséges energia mennyisége miatt csak rendkívül gazdaságtalan üzemeltetés valósulhatna meg.

Meglepő húzás az Audi- tól:

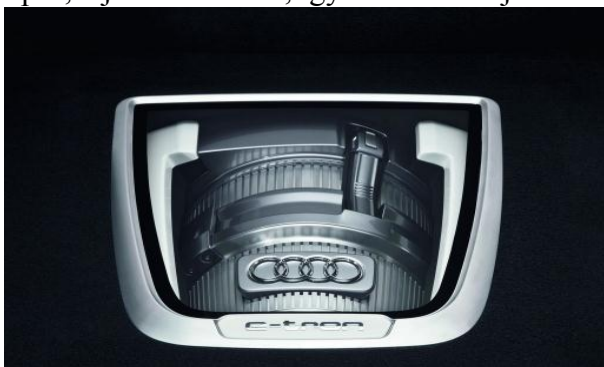
A wankel motor lehetőségei egy környezettudatos hibridben:

Az autó neve A1 e-tron, egy olyan hibridjárműről beszélünk melynek hajtásláncába egy 254 cm³-es, egytárcsás wankel motort építettek, hatótáv növelés céljából. Hasonló motort alkalmazott régen az NSU, melyet az Audi vásárolt fel. A legvalószínűbb tényező, ami miatt beépíthették, a kis méret és súly melletti nagyobb teljesítmény, ill. a magasabb fordulatszámokon is csendes nyugodt járás.



20.kép - A1 e-tron

A 15 kW-os belsőégésű motort a hátsó tengely fölött helyezték el, szigorúan csak az akkumulátorok utántöltésének feladatára, míg a 75 kW-os csúcsteljesítményre képes villanymotort, ami akár 240 Nm leadására képes, a jármű orrában, így elsőkerékhajtású lett a jármű. A fékezésre szánt energia visszatöltésére (rekuperáció) természetesen van lehetőség az autóban. Hatótávolsága 250 km, melyből 50 km-t tisztán elektromos üzemben tehet meg, majd a belsőégésű motor elkezd utántölteni az akkumulátorokat. Csúcssebessége 130 km/h. Alacsony tüzelőanyag fogyasztása figyelemre méltó, hiszen 1,9 l-t fogyaszt 100 km-en, ill. CO₂ kibocsátása 45 g/100 km.



21.kép – A jármű wankel motorja

Az alárendeltebb szerepben lévő wankel motor állandó, 5000 1/min-es fordulatszámon pörög, ami hatásfoka szempontjából a legkedvezőbbnek mondható. Tüzelőanyag ellátásáról egy 12 l-es benzintartály gondoskodik. Jellegéből adódóan rendkívül halk és vibrációmentes járású a motor.

Hivatkozások:

1- <http://www.szakalmetal.eu/hu/dokumentumok/fogalomtar/auto/337-wankel-forgodugattyus-motor>

(2012. 10.1.)

2- Hörömpöly Imre; Kurutz Károly - Különleges Autómotorok (15. o.) - Műszaki Könyvkiadó 1981.; ISBN:963 10 3874 2

3- <http://gepeszmernok.hu/cikk/jarmutechnika/81-az-isteni-szikra>

(2012.10.03.)

4- <http://autotechnika.hu/uploads/files/archiv/2002/11/14-16.pdf>

(2012.10.15.)

Források:

Az alábbi linkek mindegyike megtalálható volt 2012. 11. 07-én

- Hörömpöly Imre; Kurutz Károly - Különleges Autómotorok - Műszaki Könyvkiadó 1981.; ISBN:963 10 3874 2
- Czeslaw Kordzinski – Kis Úrtartalmú Belsőégésű Motorok – Műszaki Könyvkiadó 1980.; ISBN:963 10 3302 3
- Gion János – Korszerű Gépjárműszerkezetek – Közlekedési Minisztérium Oktatási Osztálya 2. kiadás, 1988.
- Pattantyús Á. Géza -A gépek üzemtana,-Műszaki Könyvkiadó, 1983.; ISBN:963-10-4808-X,
- Masaki Ohkubo - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS) - Mazda Motor Corporation; 2004
- http://www.auto-katalogus.hu/modellek/1964/nsu_wankel_spider.html
- <http://autotechnika.hu/uploads/files/archiv/2002/11/14-16.pdf>
- http://www.veteranpark.hu/oldtimer/NSU_Ro_80
- <http://www.mazda-auto.hu/mazda-rx-2-rx-3-cosmo-sport-12a-13b-wankel.html>
- <http://www.mazda-auto.hu/mazda-rx-8-wankel-szerelés-100000-km-tartóteszt-auto-expanzio.html>
- <http://www.mazda-auto.hu/mazda-rx-8-wankel-renesis-megbízhatóság-olajzás-szervíz-auto-expanzio.html>
- <http://totalcar.hu/tesztek/rx8bem/2/#szoveg>
- <http://www.mazda-auto.hu/mazda-wankel-prototípus-auto-expanzio.html>
- <http://www.mazda-auto.hu/mazda-apex-eltömítések-wankel-bolygodugattyú.html>
- <http://www.mazda-auto.hu/mazda-wankel-prototípus-auto-expanzio.html>
- <http://www.mazda-auto.hu/mazda-renesis-wankel-technikai-reszletek-eltömítések.html>
- <http://www.mazda-auto.hu/mazda-rx-8-fejlesztés-renesis-wankel-rx-7.html>
- <http://www.mazda-auto.hu/mazda-rx-8-olajhűtő-single-oil-cooler-auto-expanzio-renesis.html>
- <http://www.mazda-auto.hu/mazda-rx-8-olajnyomás-olajhőmérő-műszer-beépítés.html>
- <http://www.mazda-auto.hu/motorolaj-oil-viszkozitás-mazda-0w-5w-10w.html>
- <http://totalcar.hu/tesztek/mrx8hpremi/2/>
- <http://www.azauto.hu/Audi-A1-e-tron.html>

- <http://autopult.hu/index.php/hirek/ujdontasok/1351-elektromos-es-wankel-forradalom-az-audinal-a1-e-tron-gyartasban>
- http://www.autoblog.hu/zold_auto/audi_a1_etron_wankelmotorral_is/
- http://hvg.hu/cegauto/20110106_audi_a1_e_tron_wankel
- <http://www.olajinfo.hu/index.php/motorolajok/6-asvanyi-felszintetikus-vagy-szintetikus-motorolajat-hasznaljunk>

Képek és ábrák jegyzéke:

1. ábra - <http://visual.merriam-webster.com/transport-machinery/road-transport/types-engines/rotary-engine-cycle.php>
2. ábra - <http://www.99-04.azauto.hu/a2-web03-10/wankel/menett.htm>
3. ábra - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-apex-eltomites-wankel-bolygodugattyu.html>
4. ábra - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-apex-eltomites-wankel-bolygodugattyu.html>
5. ábra - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-apex-eltomites-wankel-bolygodugattyu.html>
6. ábra - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-apex-eltomites-wankel-bolygodugattyu.html>
7. ábra - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-apex-eltomites-wankel-bolygodugattyu.html>
8. ábra - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-apex-eltomites-wankel-bolygodugattyu.html>
9. ábra - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-apex-eltomites-wankel-bolygodugattyu.html>
10. ábra - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-renesis-wankel-technikai-reszletek-eltomites.html>
11. ábra - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS)
12. ábra - http://kahren.net/Manuals-Diagrams-Articles-etc/rotary%20papers/renesis%20module/renesis/media/other_files/module02_0280.swf
13. ábra - http://kahren.net/Manuals-Diagrams-Articles-etc/rotary%20papers/renesis%20module/renesis/media/other_files/module02_0290.swf
14. ábra - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS)
15. ábra - <http://www.rx7club.com/2nd-generation-specific-1986-1992-17/fc-renesis-hypotheticals-temporary-interim-ems-935907/>
16. ábra - <http://autotechnika.hu/uploads/files/archiv/2002/11/14-16.pdf>
17. ábra - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS)
18. ábra - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS)
19. ábra - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS)
20. ábra - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS)
21. ábra - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS)
22. ábra - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS)
23. ábra - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS)
24. ábra - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS)
25. ábra - Developed Technologies of the New Rotary Engine (RENESIS)
26. ábra - http://kahren.net/Manuals-Diagrams-Articles-etc/rotary%20papers/renesis%20module/renesis/media/other_files/module02_0030.swf
27. ábra - http://kahren.net/Manuals-Diagrams-Articles-etc/rotary%20papers/renesis%20module/renesis/media/other_files/module02_0150.swf
28. ábra - <http://www.philseed.com/nsu-spider.html>
29. ábra - http://www.carstyling.ru/en/car/1967_nsu_ro_80/
30. ábra - <http://www.mazda-auto.hu/europai-dij-mazda-hidrogen-rx-8-hibrid.html>
31. ábra - http://www.mazda.com/mazdaspirit/env/hybrid/premacy_hre.html

1. kép - <http://www.mazda.at/aboutmazda/AllAboutMazda/diesel2/kreiskolbenmotor/>
2. kép - <http://www.ridelust.com/happy-birthday-felix-how-does-the-wankel-rotary-engine-work/>
3. kép - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-apex-eltomites-wankel-bolygodugattyu.html>
4. kép - <http://tager.seesaa.net/article/191763339.html>
5. kép - <http://autotechnika.hu/uploads/files/archiv/2002/11/14-16.pdf>
6. kép - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-rx-8-wankel-szereles-100000-km-tartosteszt-auto-expanzio.html>
7. kép - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-rx-8-wankel-szereles-100000-km-tartosteszt-auto-expanzio.html>
8. kép - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-rx-8-wankel-szereles-100000-km-tartosteszt-auto-expanzio.html>
9. kép – Saját készítésű
10. kép - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-rx-8-wankel-szereles-100000-km-tartosteszt-auto-expanzio.html>
11. kép - <http://www.mazda-auto.hu/mazda-rx-8-wankel-szereles-100000-km-tartosteszt-auto-expanzio.html>
12. kép - <http://www.mazda-auto.hu/szintetikus-mazda-olaj-renesis-hez-rx-8-ba.html>
13. kép - <http://rumors.automobilemag.com/happy-birthday-felix-the-eleven-coolest-wankel-powered-vehicles-built-162677.html/mazda-787b-rear-view/>
14. kép - http://www.woelfle-engineering.com/Information/information_en.html
15. kép - <http://www.rhdquebec.com/g%C3%A9n%C3%A9ral/les-rotary-cest-de-la-bombe-10928/>
16. kép - http://www.flickr.com/photos/geralds_1311/5735619567/
17. kép - http://www.autostadt.de/no_cache/de/autostadt-erkunden-alt/zeithaus/meilensteine/anzeige/article/nsu-ro-80/
18. kép - <http://www.mazda-auto.hu/mazda5-hibrid-a--kozutakon.html>
19. kép - <http://www.mazda-auto.hu/mazda5-hibrid-a--kozutakon.html>
20. kép - http://www.autoblog.hu/zold_auto/audi_a1_etron_wankelmotorral_is/
21. kép - http://www.autoblog.hu/zold_auto/audi_a1_etron_wankelmotorral_is/