



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SAMIOSKARI KEKÄLÄINEN
F1-AUTOJEN HYDRAULIJÄRJESTELMÄT

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Petteri Multanen
Palautettu: 30.joulukuuta 2017

TIIVISTELMÄ

SAMIOSKARI KEKÄLÄINEN: F1-autojen hydraulijärjestelmät

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 30 sivua

Joulukuu 2017

Automaatiotekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Automaatiotekniikka

Tarkastaja: Petteri Multanen

Avainsanat: Hydrauliikka, hydraulijärjestelmä, hydraulipiiri, F1-auto, Formula 1 -auto

Formula 1 -autot ovat rata-autoilun korkeimmassa sarjassa käytettyjä kilpa-autoja, joiden tarkoitus on kiertää rataa mahdollisimman nopeasti. Tässä työssä on tutkittu niissä käytössä olevia hydraulisovelluksia eli, millaisia hydraulisia sovelluksia on ollut käytössä, mitä nykyään käytetään ja miten ne toimivat.

Työ on tehty kirjallisuusselvityksenä osana kandidaatintutkintoa ja se on jaettu johdantoon, teoriaosuuteen sekä yhteenvetoon. Teoriaosiossa on käsitelty ensin hydraulijärjestelmää yleisesti sekä sen erityispiirteitä ja sitten sovelluksia yksi kerrallaan laajimmasta lähtien. Lähteinä on käytetty pääasiassa verkkolähteitä, Formula 1 -sääntökirjaa sekä erilaisia lehtiartikkeleja.

Ensimmäinen Formula 1 -kausi ajettiin vuonna 1950 ja hydrauliikka alkoi yleistyä F1-autoissa 1980-luvulla. Hydrauliikkaa käytetään monenlaisiin sovelluksiin ja ilman sitä nykyaikainen F1-auto ei toimi lainkaan. Hydrauliikan keskeisiä vahvuuksia on, että sillä saavutetaan pienestä tilavuudesta suuri teho, mikä on erittäin tärkeää Formula 1 -autoissa, joissa tilaa on käytettävissä erittäin vähän ja järjestelmien pitää toimia nopeasti ja tehokkaasti, jotta autosta saadaan mahdollisimman nopea.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	JÄRJESTELMÄ YLEISESTI.....	3
2.1	Erityispiirteet.....	3
2.2	Hydraulikoneikko.....	5
3.	VOIMANSIIRTO	8
3.1	Vaihteisto	8
3.2	Kytkin.....	9
3.3	Tasauspyörästä	10
4.	JARRUJÄRJESTELMÄ.....	11
5.	MOOTTORI.....	13
5.1	Kaasun ja turbon hukkaportin ohjaus.....	13
5.2	Venttiilien ohjaus	14
6.	JOUSITUS	17
6.1	Aktiivijousitus	17
6.2	FRICS (Front to Rear Inter-Connected Suspension).....	18
6.3	Jousitus nykyään	19
7.	MUUT HYDRAULISOVELLUKSET	21
8.	YHTEENVETO	23
	LÄHTEET.....	24

1. JOHDANTO

Formula 1 -autot ovat teknisen kehityksen kärjessä, sillä lähestulkoon niiden jokainen komponentti on korkeateknologiaa, jollaista ei käytetä muissa sovelluksissa ainakaan sellaisenaan. Nämä innovaatiot diffuusioituvat vähitellen arkipäiväisempiin sovelluksiin, kuten nykyään lähes jokaisessa henkilöautoissa oleviin lukkiutumattomiin jarruihin (ABS, Anti-lock Braking System) [1]. Työ on tehty kirjallisuusselvityksenä osana Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) automaatiotekniikan kandidaatintutkintoa. Lähteinä on käytetty pääasiassa verkkolähteitä, Formula 1 -sääntökirjaa sekä erilaisia lehtiartikkeleja ja niiden hallinnassa Refworks-ohjelmaa.

F1-autojen historia lähtee maailmansotien väliseltä ajalta Euroopan autourheilusta. Pikkuhiljaa syntyi idea lajin kuninkuusluokasta, jossa huippukuskit kilpailevat toisiaan vastaan ja, jonka autojen ja kuljettajien piti täyttää tietyt säännöt. Näistä lajia määrittävistä säännöistä juontuu sana formula ja numero yksi viittaa ylimpään sarjaan. Kun säännöistä oli päästy toisen maailmansodan jälkeen yhteisymmärrykseen, ensimmäinen F1-maailmanmestaruusosakilpailu ajettiin vuonna 1950. Tästä formula-autojen kehitys lähti toden teolla käyntiin. [2]

F1-teknologian kehittyessä alettiin F1-autoissa käyttää hydraulisia järjestelmiä erilaisiin toimintoihin. Tähänastisen kehityksen huippu saavutettiin kaudella 1993, jolloin teknisesti erittäin edistynyt maailmanmestariauto, Williams FW15C, oli varustettu muun muassa hydraulisilla aktiivijousituksella ja lukkiutumattomilla jarruilla sekä elektronisella luistonestolla. Kauden jälkeen Kansainvälinen autourheiluliitto, FIA, päätti kieltää aktiivijousituksen, ABS-jarrut sekä useat elektroniset avustimet, koska pelättiin, että formulaista kehittyä vaarallisen nopeita. [3]

Formula 1 -autoissa käytetään silti edelleen useita hydraulijärjestelmiä, joille ominaista on, että ne ovat teknisesti erittäin kehittynyttä korkeateknologiaa. Hydraulitekniikka-kirja määrittelee hydraulijärjestelmät seuraavasti: ”hydraulijärjestelmät ovat tehonsiirtoketjuja, jotka muuntavat järjestelmälle syötteenä annettavan mekaanisen tehon hydrauliseksi, välittävät sen haluttuun kohteeseen ja muuntavat sen siellä takaisin mekaaniseksi tehoksi kyseessä olevan sovelluksen käyttöön.” Tehoa välittävänä aineena toimii neste. [4, s. 1]

Tämän työn tarkoituksena on tarkastella F1-autojen hydraulijärjestelmiä eli, mitä Formula 1:ssä on toteutettu hydraulisesti, miten järjestelmät ovat muuttuneet vuosien saatossa ja miten ne toimivat. Teksti jakautuu kolmeen osioon: johdantoon, teoriaan sekä

yhteenvetoon. Teoriaosiossa käsitellään F1-autojen hydraulijärjestelmät järjestelmä ker-
rallaan laajimmista alkaen. Ensimmäisessä teorialuvussa käydään läpi Formula 1 -autojen
hydraulijärjestelmiä yleisesti sekä niiden erityispiirteitä yleisimpiin järjestelmiin verrat-
tuna. Seuraavissa luvuissa käsitellään F1-autojen voimansiirtoa, jarruja, moottorin hyd-
raulisovelluksia, jousitusta sekä pienempiä hydraulisia toteutuksia. Työ päättyy yhteen-
vetoon.

2. JÄRJESTELMÄ YLEISESTI

Ilman hydrauliiikkaa nykyaikainen F1-auto ei toimisi, ja hydrauliiikan pettäminen onkin yleinen keskeytyksen syy F1:ssä. Hydrauliiikan pettäessä esimerkiksi vaihteensiirto ei onnistu lainkaan ja ohjaustehostin lakkaa toimimasta, jolloin kilpaileminen käy mahdottomaksi. [5] Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi, mitä erityispiirteitä F1-autojen hydraulijärjestelmissä on verrattuna tavanomaiseen hydraulijärjestelmään sekä millaisia komponentteja F1-auton hydraulikoneikko sisältää.

2.1 Erityispiirteet

Keskeinen ero F1-autojen ja tavanomaisten mobilehydrauliiikkajärjestelmien välillä on nopeus ja koko. F1-auton tavoite on kulkea mahdollisimman nopeasti, ja mobilelaitteelta, kuten harvesterilta, vaaditaan voimaa. F1-säännöt määrittävät autoille mitat sekä minimipainon, jota tallit tavoittelevat [6]. Tästä syystä F1-auton hydraulijärjestelmän on oltava mahdollisimman kompakti, kun taas harvesterit usein ovat isoja laitteita, jotta ne pystyvät käsittelemään suuria kuormia. [7]

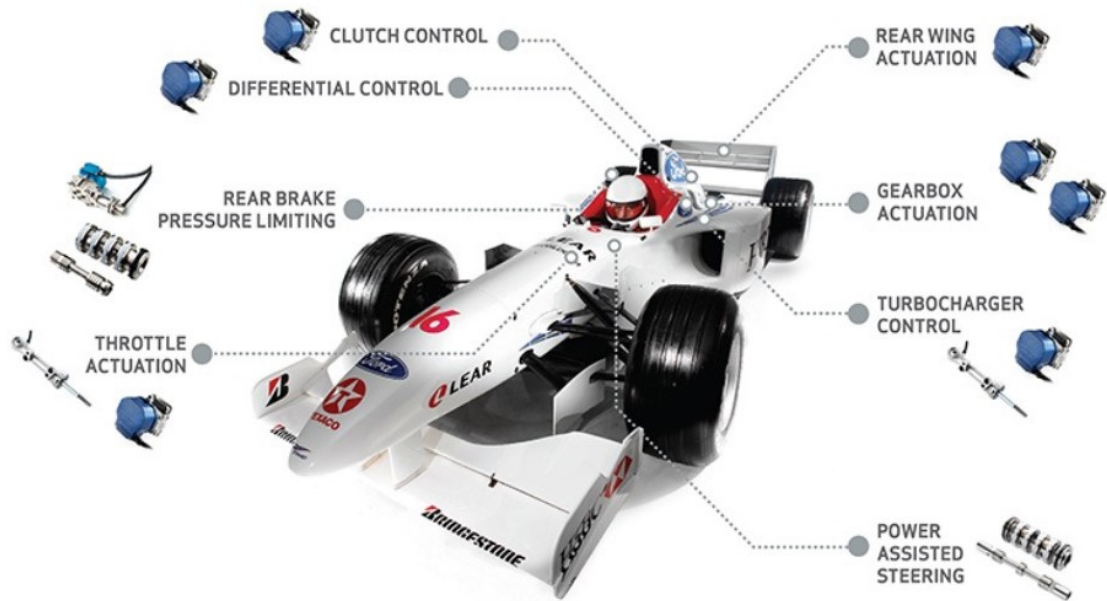
Jotta kevyestä ja pienestä järjestelmästä saadaan tarpeeksi suuri voima nopeasti, on sen painetason oltava korkea. F1-autojen hydraulijärjestelmän painetaso on jopa 23 MPa, mikä on melko tavanomainen painetaso mobilejärjestelmissä [8]. Suhteellisen korkean painetason ja nesteen lähes olemattoman kokoonpuristumisen ansiosta järjestelmä toimii F1-auton edellyttämällä nopeudella ja varmuudella, kun hydraulineste toimii ikään kuin kiinteä tanko kahden pisteen, inputin ja outputin, välillä. [9, 10]

Järjestelmän pienen koon takia myös sen öljytilavuus on erittäin pieni, vain 200–300 cm³ verrattuna harvesterin jopa yli 300 litran öljytilavuuteen [7]. Poikkeuksellisen pieni öljytilavuus asettaa järjestelmälle useita haasteita, joista yksi merkittävimmistä on nopea lämpeneminen. Tätä edistävät myös korkea paine ja venttiilien liike. Lisäksi keveyden tavoittelu ja aerodynaamiset vaatimukset estävät suurten ilmajäähdyttimien käytön. F1-autojen öljynlämmön pitämiseksi järjestelmän sietämissä rajoissa käytetään nesteestä nesteeseen -lämmönvaihtimia, joissa jäähdyttimenä toimii yli 100-asteinen moottorin jäähdytysneste. F1-auton hydraulinesteen normaali käyttölämpötila onkin korkea 100–135 °C verrattuna tavanomaisen teollisuusjärjestelmän 60 °C:n lämpöön. [9, 11]

F1-auton hydraulinesteen korkean käyntilämpötilan vuoksi hydraulioöljyn viskositeetti on todella matala, vain 3–5 cSt 135 °C:ssa. Erittäin pienen viskositeetin takia järjestelmän välilyökset on minimoitava, jotta sisäinen vuoto, energiahäviöt sekä lämpeneminen saadaan pidettyä mahdollisimman pieninä. Radiaalinen välilyökset servoventtiilin karan ja rungon välillä esimerkiksi on ainoastaan 1,25 µm. Tarkkojen sovitusten ja haastavan toimintaym-

päristön takia Formula 1 -auton hydraulijärjestelmän huoltoväli on suhteellisen pieni. Servoventtiilit esimerkiksi huolletaan 4 000 km:n tai 20 h:n välein ja vaihdetaan kokonaan 12 000 km:n välein. [9, 10] Kuvassa 1 on vuoden 2014 F1-auto sekä hydraulijärjestelmiä, joissa käytetään servoventtiilejä. Siitä käy hyvin ilmi, miltä F1-auto näyttää sekä, missä tekstissä käsiteltävät järjestelmät karkeasti sijaitsevat.

FORMULA 1 RACING CAR TYPICAL 2014 SEASON APPLICATIONS

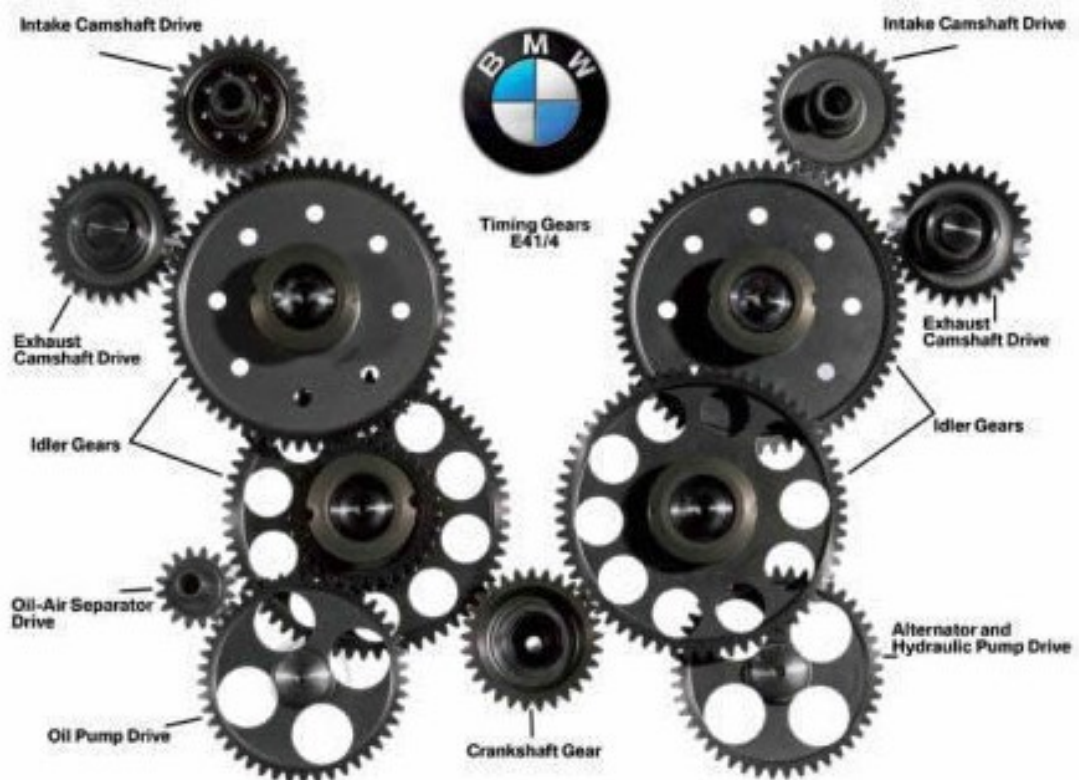


Kuva 1. Yleiskatsaus F1-auton hydraulijärjestelmistä [12]

F1-autoissa käytettävän hydrauliohjain on oltava äärimmäisen puhdasta, jotta korkeateknologinen järjestelmä toimii mahdollisimman suorituskykyisesti eivätkä öljyn epäpuhtaudet pääse rikkomaan sitä esimerkiksi tukkimalla venttiilin. Ferrarin F1-talli käytti 2000-luvun puolivälissä Shellin varta vasten Ferrarin F1-autoon kehittämää äärimmäisen suorituskykyistä Shell Donax S-L0864 -hydrauliohjain. Arkielämässä lähimpänä sen ominaisuuksia on Shellin syntetttinen öljy Spirax S4 ATF HDX (entinen Shell Donax TX), jota käytetään muun muassa F1-tekniikkaan perustuvassa Ferrari La Ferrari -urheiluautossa [13, 14]. Spiraxin tärkeimmistä ominaisuuksista erinomainen toimivuus sekä korkeilla että matalilla lämpötiloilla, leikkauskestävyys sekä korkean lämpötilan hapettumisenkesto ovat kaikki erittäin tärkeitä ominaisuuksia myös F1-autojen hydraulijärjestelmissä [15]. [10]

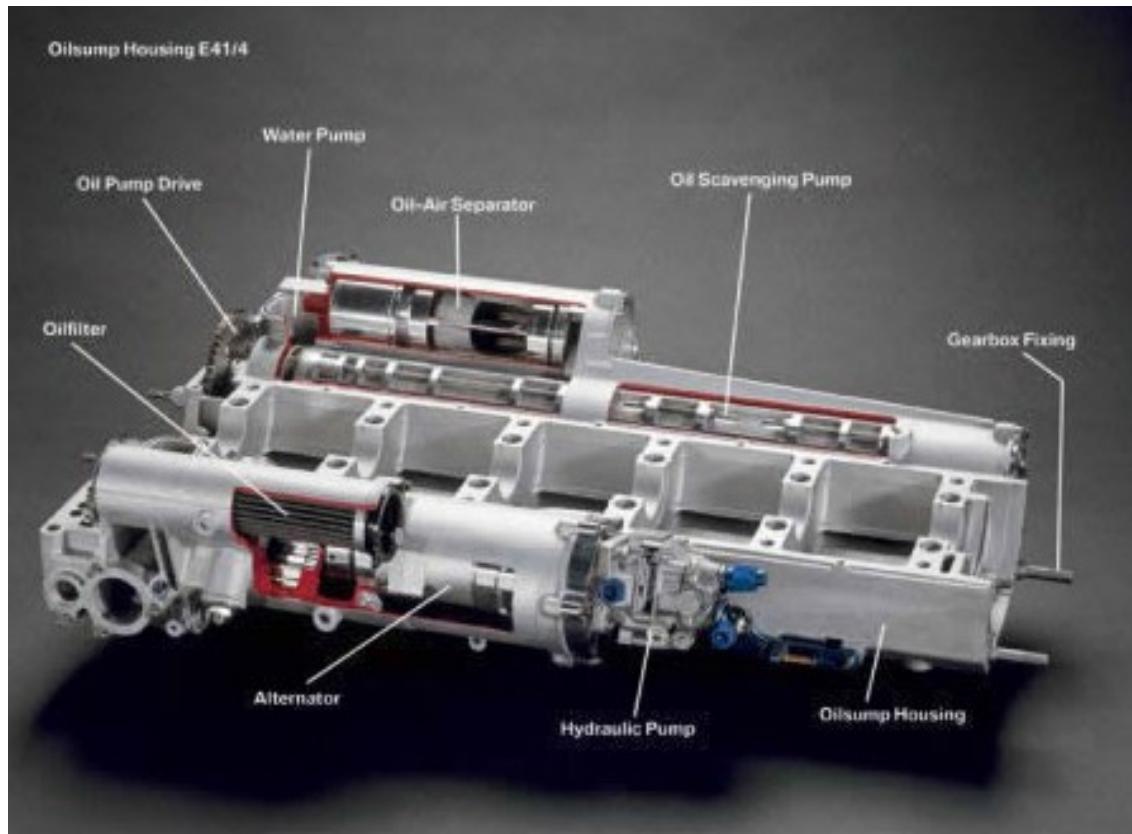
2.2 Hydraulikoneikko

Nykyaikaisen F1-auton polttomoottori on sääntöjen mukaan sylinteritilavuudeltaan 1,6-litrainen turboahdettu ottomoottori, jonka käyntinopeus on rajoitettu 15 000 kierrokseen minuutissa [6]. Tämä ottomoottori tuottaa voimaa hydraulijärjestelmälle pyörittämällä hydraulipumppua, josta hydraulineste lähtee toimilaitteille ohuita putkia pitkin. [16] BMW F1 -moottorin jakopyörät on esitetty kuvassa 2, josta käy ilmi, miten hydraulipumppu saa voimansa.



Kuva 2. BMW F1 -moottorin jakopyörät ja niiden tehtävät [16]

Tiiviisti moottori-vaihdelaatikkopaketin alle moottorin öljypohjaan integroitu hydraulipumppu on varta vasten F1-autoon suunniteltu eli mahdollisimman kompakti ja tarkoitukseen sopiva. Hydraulipumpun yhteyteen samalle akselille on kiinnitetty vaihtovirtalaturi. Kuvassa 2 tätä akselia pyörittävä ratas on alimmaisena oikealla. Öljypohjan toisella puolella sijaitsevat vesi- ja moottoriöljypumppu sekä sen oheislaitteet. [16] Kuvassa 3 on esitetty F1-auton öljypohja oheislaitteineen.



Kuva 3. F1-auton öljypohjan kotelo oheislaitteineen. Kuvassa alhaalla keskellä hydraulipumppu [16]

Kuvassa 3 näkyvä hydraulioöljysuodatin on kiinnitetty aivan hydraulipumpun viereen, jotta turhien putkien määrä saadaan minimoitua ja järjestelmästä mahdollisimman tiivis. Suodattimen tehtävä on suodattaa järjestelmään päässeet tai sen kuluessa sinne kertyneet epäpuhtaudet pois öljystä, ennen kuin ne pääsevät pumpulta pidemmälle venttiileille ja toimilaitteille mahdollisesti rikkoen ne. Laitevalmistajien mukaan hydraulijärjestelmissä jopa 70 % kaikista vioista johtuu öljyn epäpuhtauksista [17]. Vuonna 2017 kaikki suurimmat F1-tallit käyttävät autoissaan UFI Filters -suodattimia, jotka on suunniteltu erikseen jokaista tallia varten. Tällä tavoin saadaan varmistettua, että suodatin sopii muuhun järjestelmään täydellisesti ja saavutetaan paras mahdollinen suorituskyky. [16, 18]

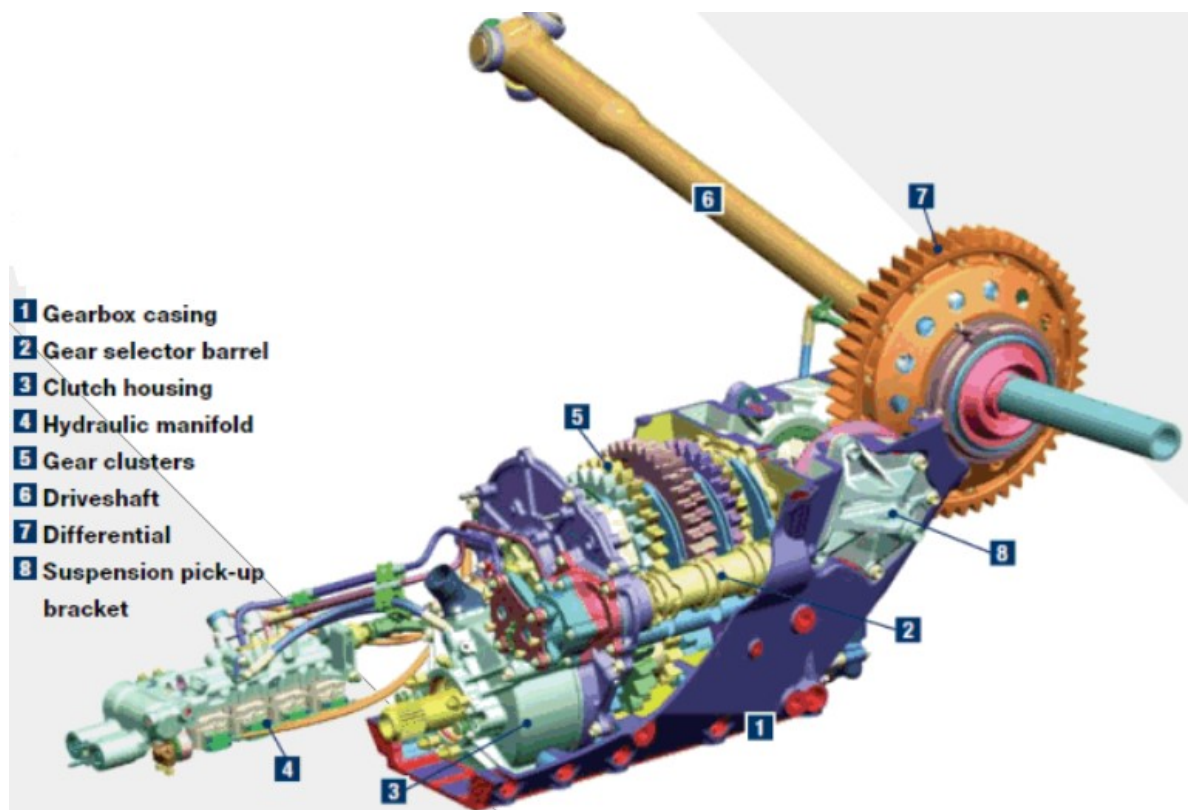
F1-auton hydraulioöljytilavuus on erittäin pieni, vain 200–300 cm³, josta hiilikuituinen mahdollisimman kevyt säiliö sisältää suurimman osan eli noin 140–200 cm³. Sen ensisijaisena tehtävänä on varmistaa, että hydraulipumppu saa riittävän määrän öljyä, jotta järjestelmä voi toimia, mutta lisäksi se poistaa järjestelmästä ilmaa sekä jäähdyttää öljyä [19]. F1-auton sivuponttoonin muotoon suunniteltu hydraulioöljysäiliö sijaitsee hydraulipumpun välittömässä läheisyydessä kiinnitettynä sivuponttoonin sisäpuolelle. [20]

Hydraulijärjestelmän osat yhdistyvät toisiinsa ohuilla hydrauliputkilla ja letkuilla, joiden on kestävä järjestelmään kohdistuvia vaihtelevaa painetta ja korkeita lämpötiloja sekä

oltava mahdollisimman häviöttömiä ja kevyitä. Luotettavuuden ja tehokkuuden optimoimiseksi putkiliitosten sovitukset ovat reikien sisäpuolella yhteen niitattuina ja ne on tiivistetty ohuilla O-tiivisterenkailla. [20] Materiaalina F1-auton hydrauliputkissa käytetään tavallisesti todella kevyttä ja vahvaa titaania [21].

3. VOIMANSIIRTO

F1-auton voimansiirto on erittäin kompleksi järjestelmä, jossa käytetään paljon hydrauliiikkaa. Se koostuu kolmesta kokonaisuudesta: puoliautomaattisesta vaihteistosta, kytkimestä sekä tasauspyörästä, jotka kaikki vaativat hydrauliiikkaa toimiakseen. Moottorilta voima siirtyy kytkimen välityksellä vaihteistoon ja siitä tasauspyörästä kautta vetävälle taka-akselille ja takapyörille. [22, 23] Kuvassa 4 on havainnollistettuna RedBull RB6 -auton voimansiirto.



Kuva 4. F1-auton voimansiirto ja sen komponenttien sijainnit [24]

Kuvassa 4 numero 3 on kytkimen kotelo, 4 voimansiirron hydrauliiikan jakotukki, 5 vaihderyhmä ja 7 tasauspyörästä. Lisäksi kuvassa näkyvät vaihdelaatikon kotelo (1), vaihteenvalitsin (2), vetoakseli (6) sekä kannattimet, joihin F1-auton jousitus kiinnittyy (8).

3.1 Vaihteisto

Voimansiirron kolmesta kokonaisuudesta suurin on puoliautomaattinen vaihteisto, jonka tarkoituksena on välittää tehoa sekä muuttaa momentin ja pyörimisnopeuden suhdetta vaihtamalla vaihdetta. Vaihteita voimassa olevien Formula 1 -teknisten säädösten mukaan autossa täytyy olla kahdeksan eteen- ja yksi taaksepäin sekä vaihdekaavion on oltava

sekventiaalinen [6, 25]. Vaihteiston ohjaus toteutetaan sähköisesti ja itse vaihteiden päällekytkentä tapahtuu hydraulisesti. F1-auton vaihteiston erityispiirteitä ovat kompaktius, keveys ja ennen kaikkea äärimmäinen nopeus, sillä vaihteen vaihto kestää vain noin 20 ms, mikä tekee tapahtumasta äärimmäisen rajun. Tämä asettaa järjestelmälle haasteita, koska vaihteiston pitää kestää suuria voimia sekä toimia nopeasti ja luotettavasti. [22, 26]

Vaihteen vaihto käynnistyy ajajan antaessa järjestelmälle vaihteen vaihto -käskyn, jolloin sähköinen ohjaussysteemi tarkistaa kytkimen asennon sekä moottorin ja renkaiden pyörimisnopeudet. Jos kaikki on kunnossa, systeemi lähettää servoventtiilin avaussignaalin sähköhydrauliselle järjestelmälle, jolloin kytkin aukeaa. Seuraavaksi tapahtuu itse vaihteen vaihto, kun elektrohydraulinen järjestelmä käyttää servomagneettiventtiiliä, joka käyttää vaihteensiirtäjää. Siirtäjä irrottaa vanhan vaihteen ja liikuttaa halutun vaihteen paikoilleen. Taas järjestelmä tarkistaa pyörimisnopeudet sekä vaihderattaan sijainnin. Kaiken ollessa kunnossa, kytkin sulkeutuu ja vaihteenvaihto on suoritettu. Jos kaikki ei täsmää, sähköinen ohjausjärjestelmä yrittää vaihtaa sopivan vaihteen päälle tai palata edelliselle vaihteelle. Kaikki tämä tapahtuu ainoastaan 20 ms:n aikana. [24]

Peruutusvaihteen kytkentä sen sijaan tapahtuu hieman eri tavalla. Sillä on oma hydraulinen linjansa, jossa on ON-OFF -periaatteella toimiva hydraulinen magneettiventtiili. Kun se aukeaa, peruutusvaihte kytkeytyy hydraulisesti päälle ja voima siirtyy sille. Kun magneettiventtiili suljetaan, peruutusvaihte kytkeytyy irti ja voimansiirto palautuu normaaliin toimintaan. [11]

F1-auton puoliautomaattinen vaihteisto on myös erittäin tärkeä tekijä formuloiden luotettavuudessa. Aikana ennen sähköavusteista vaihteistoa 95 % moottoririkoista aiheutui liian aikaisesta alaspäin vaihdosta, mikä johti moottorin kierrosten nousuun liian korkeaksi ja moottorin hajoamiseen. Sähköhydraulinen vaihteisto estää vaihteen alas vaihtamisen liian aikaisin, jolloin moottoreita ja rahaa säästyy. [25] Lisäksi F1-auton vaihteistoöljyjä tutkitaan erittäin tarkasti ottamalla siitä useita näytteitä kilpailuviikonlopun aikana. Vertailemalla sen metallipitoisuuksia aiempiin ajosessioihin tai jopa aiempien vuosien vastaaviin öljyihin voidaan päätellä melko tarkasti, kuinka kulunut vaihteisto on, jolloin pystytään helposti ehkäisemään vaihteiston rikkoutumisesta johtuvia keskeytyksiä. [26]

3.2 Kytkin

Kytkimen tehtävä on välittää voima moottorilta vaihteistolle ja ennen kaikkea katkaista voimansyöttö tarvittaessa. F1-autoissa käytetään kahden valmistajan, AP Racingin ja Sachs'n, hiilikuituisia monilevykytkimiä, jotka on tehty F1-autojen vaatimusten mukaan, eli ne kestävät erittäin korkeita jopa 1000 °C -lämpötiloja ja painavat alle 1,5 kg kestäen silti äärimmäisen suuria voimia. [27]

Kuljettaja käyttää kytkintä manuaalisesti ainoastaan paikaltaan lähdössä. Muuten sähköhydraulinen järjestelmä käyttää sitä automaattisesti osana puoliautomaattisen vaihteiston toimintaa. Vaihteen vaihdossa kytkin aukeaa eli kytkinlevyt irtoavat vaihteistosta, kun sähköhydraulinen järjestelmä avaa servomagneettiventtiilin. Venttiilin auettua korkeapaineinen öljy pääsee painamaan hydraulisylinteriä, joka painaa kytkinlevyt auki. Kytkin sulkeutuu ja sen levyt painautuvat takaisin kiinni vaihteistoon, kun sähköinen järjestelmä antaa sulkusignaalin elektrohydrauliselle systeemille, joka sulkee magneettiventtiilin, vapauttaa hydraulioöljyn sylinteriltä ja siten sulkee kytkimen. Aikaa kytkimen toimintaan kuluu ainoastaan 0,005 s. [24, 27]

Formula 1 -teknisten sääntöjen mukaan hätätilanteissa F1-auton kytkin pitää pystyä vapauttamaan, vaikka auton päähydraulijärjestelmä olisi pois toiminnasta [6]. Tämä tarkoittaa sitä, että kytkimen hätävapautusta varten F1-autoissa on hätähydraulipiiri, jota käytetään vain vikatilanteissa eli onnettomuuksissa tai rikkoutumisissa. Piiri aktivoituu, kun kojelaudassa olevaa, punaisella N-kirjaimella runkoon merkittyä, punaista nappia painetaan. Tällöin paineakkuun säilötty hydraulioöljy vapautuu kytkimen hydraulisylinteriin ja painaa kytkimen auki, jolloin hajonnut auto voidaan työntää pois radalta. [11]

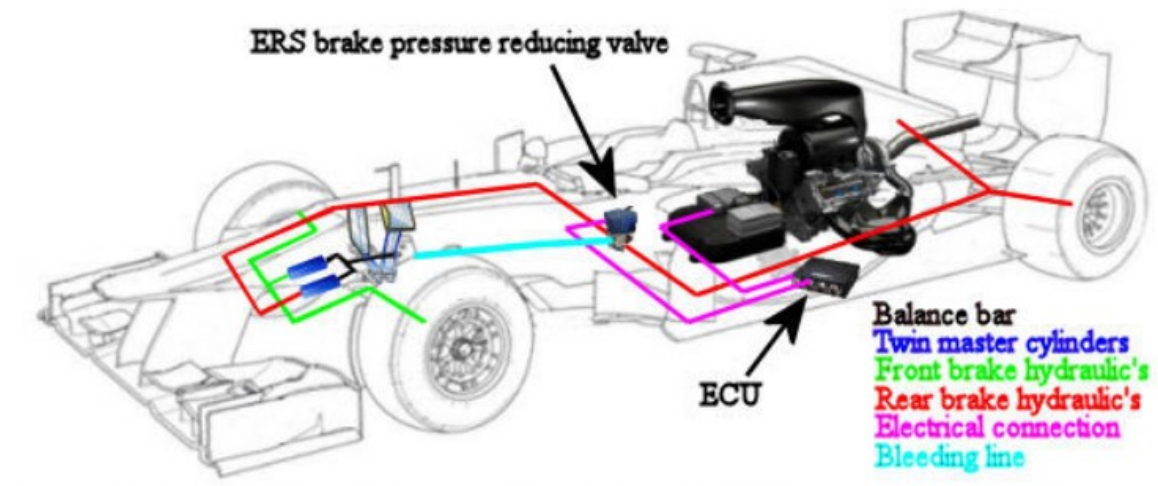
3.3 Tasauspyörästä

Tasauspyörästä tehtävänä on jakaa yhtä paljon vääntöä molemmille vetäville pyörille, vaikka niiden pyörimisnopeudet eroaisivatkin toisistaan, kuten ne mutkissa tekevät. F1-autoissa käytetään taka-akselilla tasauspyörästä lukkoa, jotta pito saadaan maksimoitua mutkista kiihdytettäessä, sillä lukkoperän ansiosta vääntöä ohjataan enemmän pitävämälle pyörälle. Pidon optimoinnista tasauspyörästä avulla tuli erityisen tärkeää, kun luistoneston käyttö Formula 1 -autoissa kiellettiin 1993-kauden jälkeen [3]. [28]

F1-autoissa tasauspyörästä hallintaan käytetään sähköhydraulista järjestelmää, joka säätelee läpi mutkan eri vaiheiden vääntöjakaamaa vetävien pyörien välillä siten, että auto kulkee mutkan mahdollisimman nopeasti ja pääsee kiihdyttämään siitä ulos tehokkaasti. Tasauspyörästä lukon ominaisuudet valitaan radan vaatimusten perusteella painottaen joko auton kulkua mutkassa tai kiihdytystä ulos mutkasta. Tasauspyörästä väännönjakoa kahden akselin välillä ohjataan näihin ennalta valittuihin säätöihin perustuen, eikä aktiivisesti mutka mutkalta tai rataolosuhteiden mukaan, kuten luistoneston aikoina. Käytännössä väännönjako toimii siten, että tietokoneen ohjaama Moogin valmistama sähköhydraulinen venttiili säätelee hydraulioöljyn tilavuusvirtaa hydraulitoimilaitteelle, joka säätelee tasauspyörästä [29]. [28]

4. JARRUJÄRJESTELMÄ

Nykyaikaisen Formula 1 -auton jarrut ovat kohtalaisen yksinkertaiset. Ne koostuvat hiilikuitukeraamisista jarrulevyistä, jotka pyörivät renkaiden mukana, sekä jarrusatuloista, joita hydraulisyylinterit painavat kiinni jarrulevyihin. Nykyään F1-autossa jarrulevyjä ja -satuloita on yhdet rengasta kohti ja jarrusylintereitä 6 per jarrusatula. [30] F1-tekniisissä säännöissä määritellään, että jarrusysteemiä saa olla vain yksi, mutta sen hydraulijärjestelmän on oltava kaksipiirinen ja -säiliöinen siten, että etu- ja takajarruilla on omansa. Tämä siksi, että jos toisessa piirissä ilmenee vika, jarrupoljin käyttää silti yhä toista piiriä ja auto pysähtyy. [6] F1-auton molempien piirien jarrupääsylinderien säiliöiden tilavuus on 100–250 cm³ riippuen jarrujen kuluneisuudesta [31]. Molemmat jarrupiirit sekä niiden oheislaitteet näkyvät kuvassa 5.

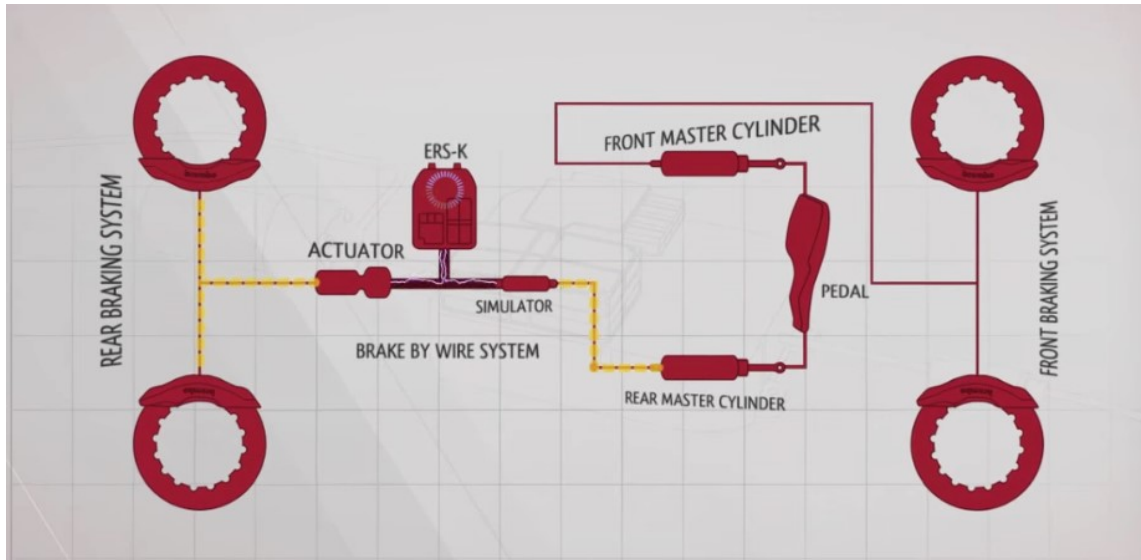


Kuva 5. F1-auton jarrujen hydraulipiirit [32]

Etujarrujen hydraulipiiri on merkitty kuvaan 5 vihreällä, takajarrujen hydraulipiiri punaisella sekä jarrupolkimelta lähtevä linja mustalla. Lisäksi kuvassa näkyy takajarrujen hydraulipiirissä oleva venttiili, joka rajoittaa energian talteenottojärjestelmä ERS:lle (Energy Recovery System) menevää painetta, sekä voimayksikölle johtavat sähkölinjat.

F1-auton jarrut toimivat samoin kuin lähes mitkä tahansa muutkin levyjarrut. Kuljettajan jarrupolkimen painallus aiheuttaa painetta jarrupääsylinderille, josta tilavuusvirta lähtee liikkeelle kohti jarrusatuloiden hydraulisyylinteriä ja kohdistaa niille painetta. Paine saa jarrusatuloihin kiinnitettyt jarrupalat painumaan jarrulevyyn kiinni, mikä luo kitkaa ja hidastaa autoa. Poikkeuksen tähän tekevät kaudelle 2014 ja siitä eteenpäin kehitettyjen formula 1 -autojen takajarrut, joissa on käytössä Brake by wire -järjestelmä (BBW) eli itse asiassa takajarruille ei kulje yhtenäistä hydraulipiiriä vaan sen katkaisee energian talteenottojärjestelmä, joka näkyy hyvin kuvassa 6. Takajarrupiirin pääsylinderiltä lähtevä paine

kulkeutuu sähköisesti ohjatulle jarrupääsylinterille, joka kerää ylimääräisen liike-energian ERS-järjestelmän akkuun (Kuvassa 6 ERS-K, Energy Recovery System Kinetic). Akku määrittää lopulta takajarruille kohdistettavan paineen suuruuden ja toimittaa sen kuvassa 6 näkyvällä hydraulisella toimilaitteella takajarrujen sylintereille. Kun akun kapasiteetti eli 2 MJ on täyttynyt tai ERS-järjestelmän pettäessä, takajarrut ohittavat energian talteenottojärjestelmän ja toimivat perinteisesti eli samoin kuin etujarrut. [31]



Kuva 6. F1-auton BBW-järjestelmä [31]

Lukkiutumattomien jarrujen ideana on, että liian kovaa jarrutettaessa, jarrutuspainetta lasjetaan paineenalennusventtiilien avulla siten, että rengas pääsee jatkamaan pyörimistä. Ilman ABS-jarruja rengas jää liukumaan pyörimättömään tilaan eli lukkoon, mutta lukkiutumattomat jarrut antavat sen hidastua mahdollisimman nopeasti. Renkaiden lukkiutumista tarkkaillaan joka renkaassa olevilla pyörimisnopeussensoreilla. Kun jarrutettaessa renkaan pyöriminen lakkaa, tietokone antaa käskyn hydraulijärjestelmälle avata paineenalennusventtiilit. Nykyään käytännössä jokaisessa uudessa autossa on ABS-jarrut, mutta alun perin teknologia kehitettiin Formula 1 -autoihin, joissa ne kuitenkin kiellettiin vuonna 1993 samalla usean muun järjestelmän kanssa, koska niiden katsottiin vähentävän kuljettajan ajotaitojen merkitystä [1]. [30, 33]

5. MOOTTORI

F1-autojen moottorit ovat muuttuneet historian saatossa moneen otteeseen 1950-luvun alun alle 2-litraisista remmiahdetuista 1990-luvun lopun vapaasti hengittävien ja korkealle kiertävien V10-moottoreiden kautta nykyään käytössä oleviin iskuilavuudeltaan 1,6-litraisiin V6-turbomoottoreihin [34]. Hydrauliiikkaa ja pneumatiikkaa alettiin hyödyntää Formula 1 -autojen moottoreissa 1980- ja 1990-luvun taitteessa, kun Renault alkoi käyttää pneumatiikkaa venttiilien ohjauksessa ja tallit alkoivat hyödyntää hydrauliiikkaa kaasun ohjauksessa. Nykyään Formula 1 -auton moottorissa hydrauliiikkaa käytetään pääasiassa ohjamaan erilaisia virtauksia, kuten turbon hukkaporttia. [35, 36]

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään F1-auton moottorin hydrauliiikka- ja pneumatiikka-sovelluksia hieman tarkemmin. Pneumatiikka ei varsinaisesti sisälly työotsikon alle, mutta koska käsiteltävät sovellukset ovat mielenkiintoisia ja pneumatiikka on hydrauliiikan kaltainen teknologian haara, käsittelen myös moottorin pneumatiikkasovellukset lyhyesti. Pneumatiikassa nesteiden sijasta käytetään kaasuja, joten se myös sivuaa aihetta varsin läheltä.

5.1 Kaasun ja turbon hukkaportin ohjaus

F1-auton kaasu on hydraulikäyttöinen mekanismi, joka ohjaa moottorin sylintereihin ilmanotosta virtaavan ilman määrää ja sitä kautta moottorissa poltettavan polttoaineen määrää. Ajajan painaessa kaasupoljinta moottorinohjausjärjestelmä ECU:lle (Engine Control Unit) lähtee viesti, paljonko tehoa halutaan eli kuinka paljonko kaasuventtiiliä avataan. Sitten ECU ohjaa moottorinohjauskarttojen ja kaasupolkimen liikkeen perusteella hydraulitoimilaitetta, joka avaa ja sulkee kaasuventtiilejä. Toiminto on erittäin nopea, sillä venttiilin aukeaminen täysin suljetusta täysin avoimeksi kestää vain 10–15 ms. Jotta kaasun vasteaika saadaan noin lyhyeksi, on kaasun ohjaus välttämätöntä toteuttaa hydraulisesti. Kaasuventtiilejä Formula 1 -auton moottorissa on yksi per sylinteri eli nykyään kuusi kappaletta. [35] Venttiilejä ohjaava hydraulitoimilaite on esitetty kuvassa 7.



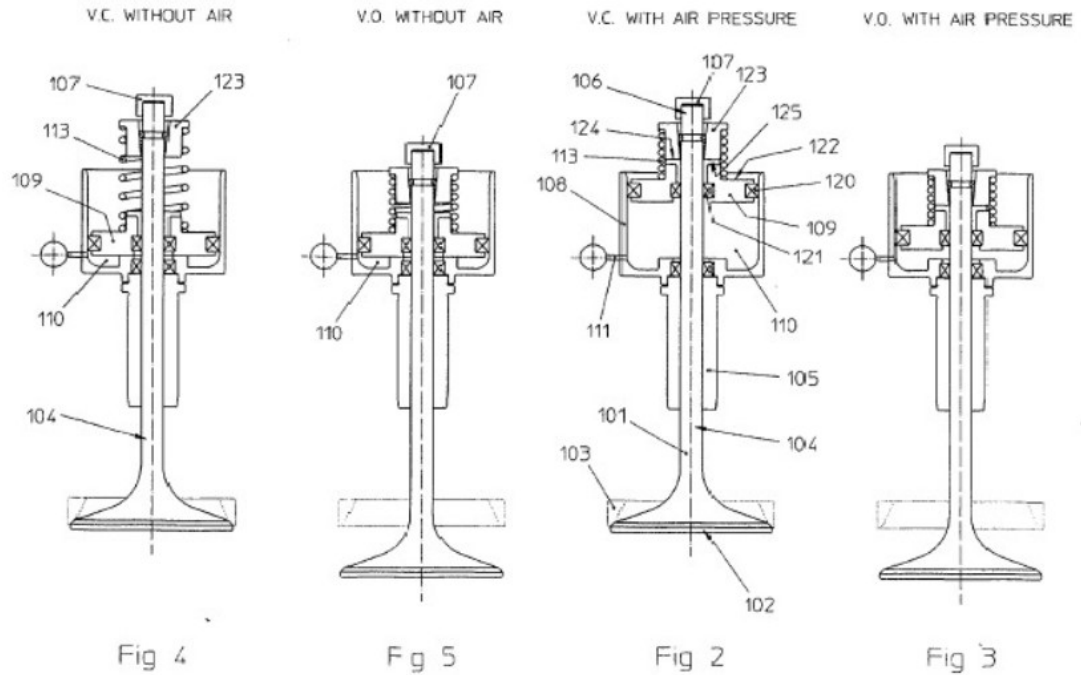
Kuva 7. Kaasun ja turbon hukkaportin venttiilien ohjauksessa käytettävä hydraulitoimilaite [12]

Turbon hukkaportin ohjauksessa käytetään täysin samanlaista erittäin kevyttä hydraulitoimilaitetta kuin kaasuventtiilien ohjauksessa. Koska hukkaportin avautumisen pitää myös tapahtua erittäin nopeasti, F1-autoissa se on toteutettu kaasun ohjauksen kanssa samaan tapaan. [12] Turbon eli pakokaasuahtimen hukkaportti on paineenalennusventtiili, jota ECU ohjaa hydraulisesti. Sen tarkoituksena on estää pakokaasuja pyörittämästä turboahdinta liian suurella nopeudella. Kun ahtopaine nousee kriittisen korkeaksi, ECU havaitsee sen ja lähettää signaalin hydraulijärjestelmälle. Hydraulitoimilaite avaa hukkaportin ja päästää pakokaasut virtaamaan turbon ohi alentaen ahtimessa olevaa painetta ja siten sen pyörimisnopeutta. [37]

5.2 Venttiilien ohjaus

Tavanomaisissa polttomoottoreissa venttiilien nosto tapahtuu nokka-akseleiden avulla ja sulkeutuminen jousilla. F1-auton moottori sen sijaan kiertää jopa 15 000 kierrosta minuutissa, joka on niin nopea tahti, että venttiilit eivät sulkeudu riittävän nopeasti metallisten jousien avulla. Tästä syystä modernin Formula 1 -auton venttiilien sulku toteutetaan pneumaattisesti. [36]

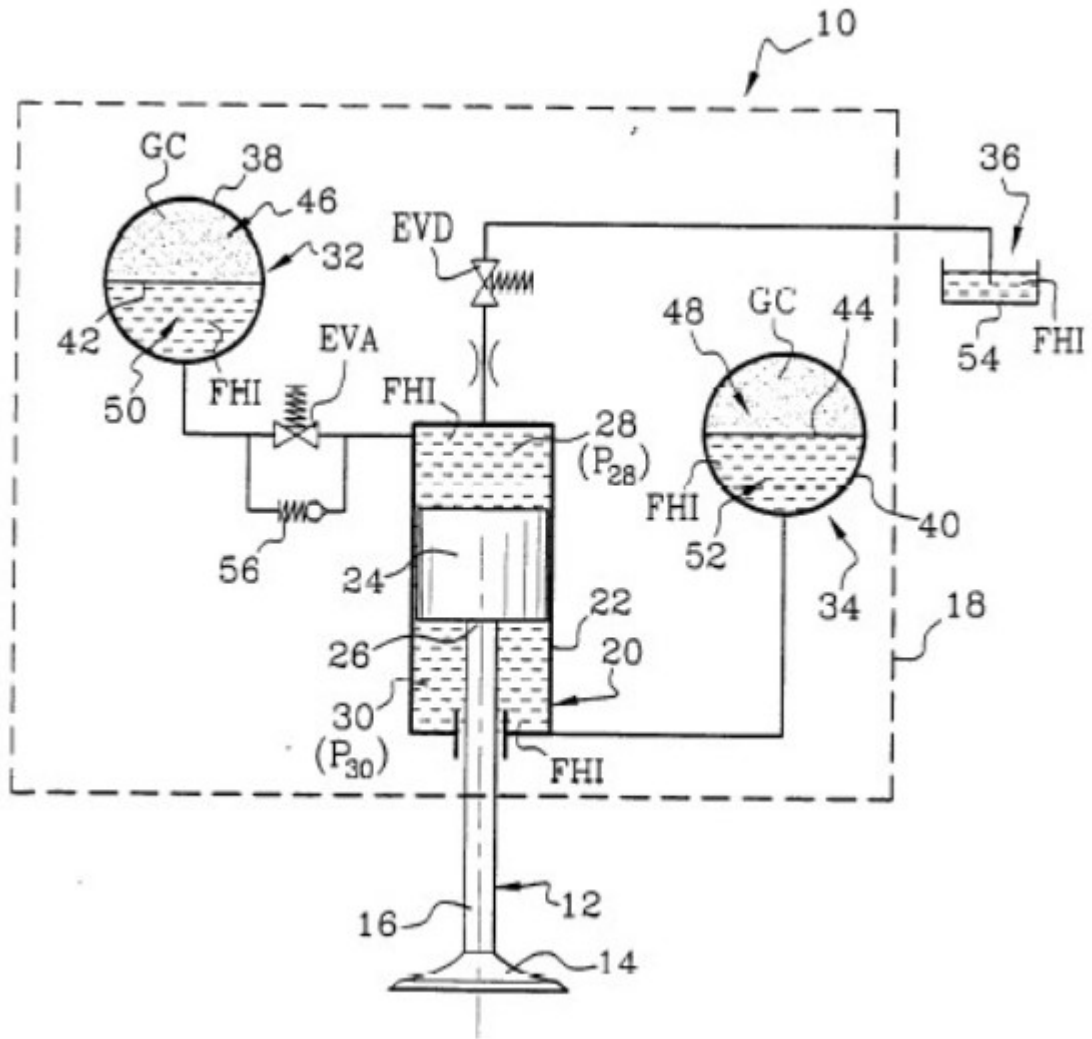
F1-moottorin venttiilikoneistossa venttiilien jouset on korvattu tyypellä paineistetulla kammioilla, joissa venttiilit liikkuvat kiinni paineen avulla. Moottorin pyöriessä venttiilit avataan normaaliin tapaan nokka-akseleilla ja suljetaan 0,7–0,8 MPa:han paineistetulla typpikaasulla [38]. Järjestelmän vuodottomaksi saaminen on suuri haaste F1-autoissa ja paineiden katoaminen pneumatiikkapiiristä onkin melko yleinen syy keskeytyksille. [36] Kuvassa 8 on kierrejousi- ja pneumatiikkaventtiilien rakennevertailu.



Kuva 8. Kierrejousi- ja pneumaattikaventiilien rakenteet [36]

Kuvassa 8 ensimmäisessä kuvassa vasemmalta on tavanomainen kierrejousella toteutettu venttiili suljettuna. Siinä näkyy hyvin, kuinka jousi (113) painaa venttiiliä kiinni eli kuvassa ylöspäin. Seuraavassa kuvassa jousiventtiili on auki ja jousi on painunut kasaan. Kahdessa oikean puoleisessa kuvassa on F1-moottoreissa käytetty venttiili ratkaisu, eli niissä kierrejousi on korvattu kaasukammioilla (110). Kolmannessa kuvassa kammio on paineistettu tyypellä, joka painaa venttiilin kiinni. Viimeisessä venttiilikuvassa kammio on paineeton sekä kokoon puristunut ja venttiili on auki.

Formula 1:ssä on myös tutkittu nokka-akseleiden korvaamista kokonaan sähköhydraulisella järjestelmällä. Siinä venttiilien sulkeminen on edelleen toteutettu pneumaattisesti, mutta venttiilien avaamiseen käytetään nokka-akseleiden sijasta sähköventtiilillä ohjattua hydraulipiiriä. Ratkaisu on sinällään looginen, että siinä voidaan hyödyntää F1-autossa jo valmiiksi olevaa korkeapaineista hydraulijärjestelmää, jolla saavutetaan helposti vaadittu nopeus. Lisäksi sillä saadaan kevennettyä moottoria, kun nokka-akseleiden ja sen rattaiden painot saadaan karsittua, ja venttiilin ajoituksesta saadaan joustavampi. Nokka-akselitonta moottoria ei ole kuitenkaan ainakaan vielä koskaan testattu käytännössä F1-autoissa, mutta innovaation kehittäjä Renault on kokeillut sitä muissa sovelluksissaan. [36] Kuvassa 9 on esitetty nokka-akselittoman moottorin venttiilien toiminta.



Kuva 9. Nokka-akselittoman moottorin venttiili [36]

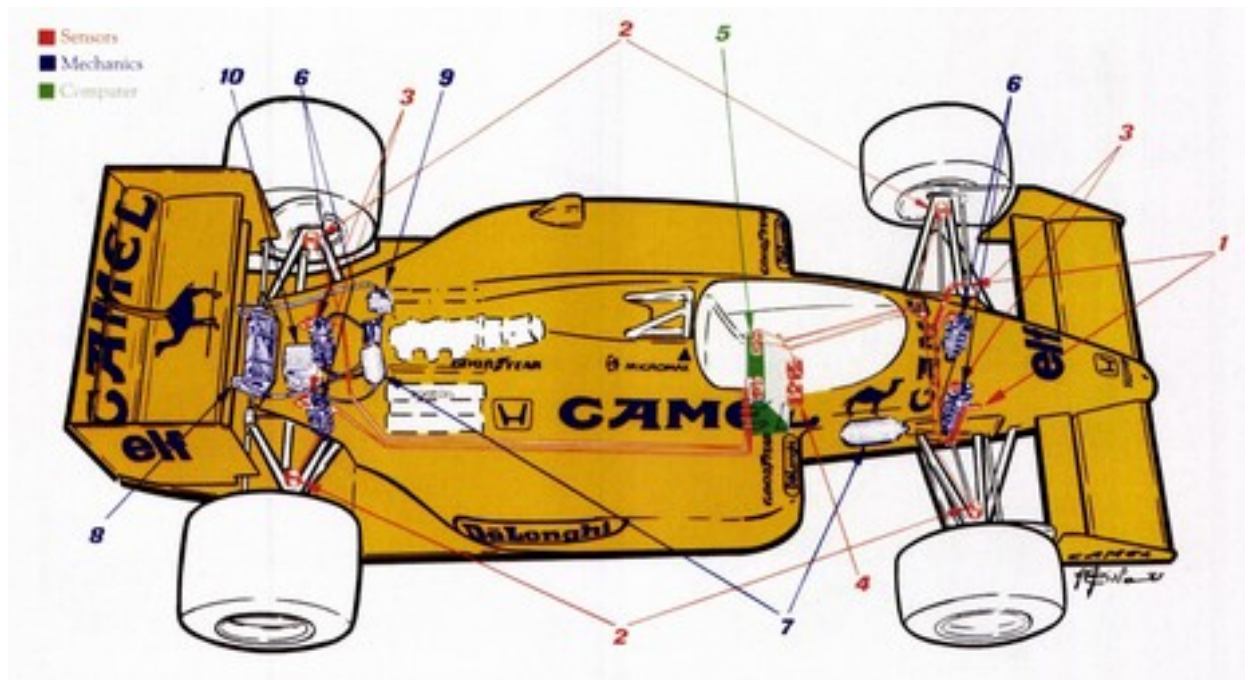
Yhdeksännessä kuvassa venttiilin (16) yläpuolella on tavanomainen hydraulijärjestelmä, jolla venttiiliä avataan, ja alapuolella pneumaattikapiiri (52), jota käytetään venttiilin sulkemiseen. Moottorinventtiili on kiinnitetty hydraulisylinteriin (20) sijoitettuun mäntään (24), jota ohjataan sylinterissä hydraulioöljyn tilavuusvirralla kuvassa alas ja pneumaattisesti paineistetulla tyypellä kuvassa ylös. Kun sähköventtiili (EVA) avataan, hydraulioöljy virtaa sylinteriin, painaa männän alas ja avaa venttiilin. Kun ohjaus sulkee sähköventtiilin, hydraulinen paine männän yläpuolelta katoaa. Tällöin alemman piirin männän alapuolelle kohdistuva pneumaattinen paine riittää nostamaan männän ja venttiili sulkeutuu. Järjestelmän on toimittava erittäin nopeasti, jotta F1-auton moottori yltää sääntöjen sallimaan maksimi kierrosnopeuteen 15 000 kierr./min [6].

6. JOUSITUS

F1-auton perimmäinen tarkoitus on kiertää rata niin nopeasti kuin mahdollista. Jotta siihen päästään, on pidon oltava mahdollisimman hyvä. Erittäin tärkeä tekijä pidossa on auton jousitus, mutta sen säätämiseen haasteita aiheuttavat radan vaihtelevat pinnan muodot ja osuudet sekä muuttuvat olosuhteet. Jousituksen mukauttamiseksi vaihteleviin tarpeisiin, F1-autoissa on keksitty käyttää hydraulikkaa. Formula 1 -autojen jousituksen hydraulijärjestelmät ovat muuttuneet vuosien varrella jatkuvasti 1980-luvulta lähtien täysiaktiivisesta nykyään käytössä oleviin järjestelmiin sääntöjen muuttuessa ja kehityksen kehittyessä. [39, 40]

6.1 Aktiivijousitus

Ensimmäisen kerran hydraulikkaa keksittiin käyttää Formula 1 -autojen jousituksessa vuonna 1983 hydraulikan yleistyessä F1:ssä muutenkin 1980-luvulla. Aktiivijousituksen ideana on, että tietokone ohjatut hydraulitoimilaitteet ohjaavat auton maavaraa ajon aikana radan ominaisuuksien mukaan optimoidun sovelluksen avulla. Tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman vakio maavara, jotta auton alainen aerodynamiikka ja sen tuottama pitovoima saadaan optimoitua. [41] Järjestelmä kuitenkin kiellettiin vuonna 1993, koska FIAN mukaan F1-autoista oli tulossa vaarallisen nopeita [3]. Kuvassa 10 on Lotus T99 -auton aktiivijousitusjärjestelmä vuodelta 1987.



Kuva 10. Lotus T99 F1 -auton aktiivijousituksen komponentit [39]

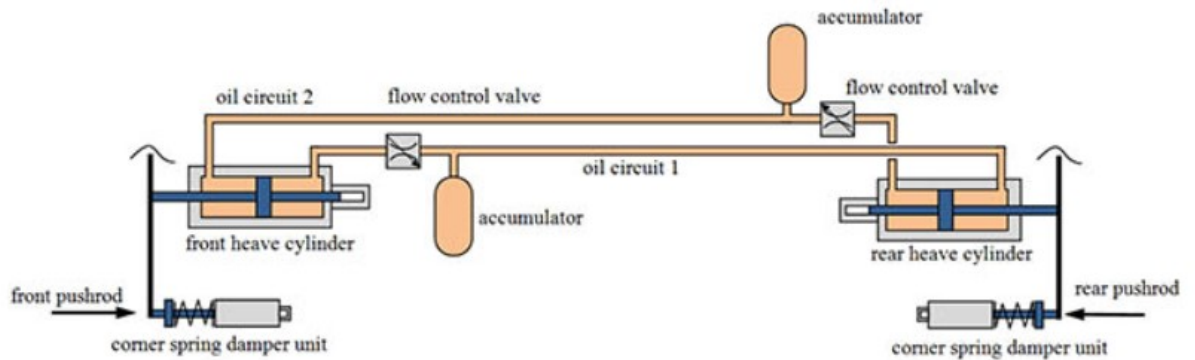
Kuvaan 10 on merkitty punaisella sensorit, sinisellä mekaaniset komponentit ja vihreällä aktiivijousituksen ohjaukseen liittyvän tietokoneen osat. Sensoreita ovat virtausanturit (1), kiihtyvyyssanturit (2) ja kolme ohjausventtiiliä (3), mekaanisiin komponentteihin kuuluvat kolme kaasuisen vaimenninyksikköä (6), neljä hydraulitoimilaitetta, öljysäiliö (7), paineakku, öljynjäähdytin (8), öljypumppu (9) sekä öljynsuodatin (10) ja tietokone (5) sijaitsee auton ohjaamossa. Hydraulitoimilaitteista kaksi on kaksitoimisia ja toiset kaksi yksitoimisia, joissa mäntä liikkuu vain alaspäin. Se onko kaksitoimiset toimilaitteet sijoitettu F1-auton etu- vai takapäähän, vaihteli tallikohtaisesti. Alun perin kaksitoimiset hydraulitoimilaitteet sijoitettiin auton takaiskunvaimenninyksiköille, mutta päinvastainen sijoittelu osoittautui menestyksekkäämmäksi, sillä Williams voitti kyseisellä järjestelmällä varustetulla autolla kolme maailmanmestaruutta. [39]

Aktiivijousituksen hydraulitoimilaitteita ohjataan sähköisillä servoventtiileillä, jotka toimivat tarkemmin kuin alun perin käytetyt mekaaniset ratkaisut, ja vastaavat paremmin nopeisiin töyssyihin ja minimoivat niiden vaikutukset autoon. Mekaanisesti ohjatut venttiilit eivät päässeet vaadittuihin toleransseihin, mutta ne taas suodattivat paremmin matalataajuiset auton sisäiset värinät. Pidon optimoinnin kannalta tärkeämpää on kuitenkin minimoida isojen töyssyjen, kuten kanttikivien, vaikutukset auton ajokorkeuteen, joten servoventtiilit ovat parempi ratkaisu aktiivijousituksen ohjaukseen. [39]

6.2 FRICS (Front to Rear Inter-Connected Suspension)

Aktiivijousituksen kieltämisestä huolimatta hydraulikka ei kadonnut F1-autojen jousituksesta. F1-sarjan tiukan kilpailun vuoksi tallit kuitenkin pyrkivät jatkuvasti saavuttamaan kilpailuetua uusilla innovaatioilla, vaikka liikuttaisiinkin aivan sääntöjen rajoilla. Mercedes kehitti kaudelle 2011 niin sanotun FRICS-jousituksen (Front to Rear Inter-Connected Suspension), jonka innovaationa on, että etu- ja takajousitukset on liitetty pitkittäin toisiinsa hydraulisesti. [42] Järjestelmä myös yhdistää vasemman- ja oikeanpuoleiset jousitukset toimien ikään kuin kallistuksenvakaajana. Lähes vastaavaa järjestelmää kokeiltiin F1-autoissa jo 1990-luvun puolivälissä, mutta järjestelmä ei ollut vielä tuolloin valmis. Lisäksi 2000-luvulla käytettiin hieman yksinkertaisempaa järjestelmää, joka erosi FRICSistä siten, että siinä jousitusta ei yhdistetty poikittain. [43]

FRICSin eli yhteen kytketyn jousituksen tavoite on saman kaltainen kuin aktiivijousituksen eli pitää auto läpi mutkan eri vaiheiden mahdollisimman lähellä optimi asentoa, jossa sen aerodynaamiset ominaisuudet ovat parhaimmillaan, mutta sen toimintaperiaate on hieman erilainen. Toisin kuin aktiivijousitus FRICS on täysin mekaanisesti ohjattu, joten se sallittiin. Lisäksi järjestelmä parantaa auton ohjattavuutta sekä pitoa ohjaamalla painopisteen siirtymistä mutkissa sekä kiihdytettäessä ja jarrutettaessa. 2014-kauteen mennessä jokainen talli oli ottanut käyttöönsä FRICS:n. [42, 43] Kuvasta 11 ilmenevät yhteen kytketyn jousituksen rakenne ja toimintaperiaate.



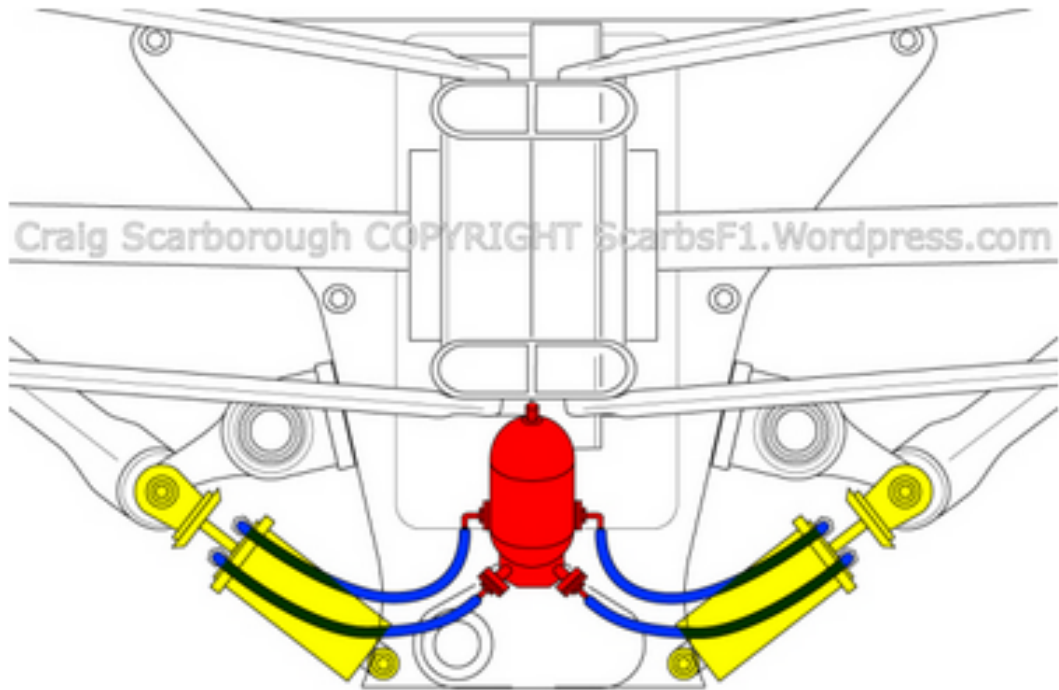
Kuva 11. Yhteen liitetyn jousituksen rakenne [42]

Kuvassa 11 vasemmalla on F1-auton keula ja oikealla perä. Auton etu- ja takapään jousituksen komponentit on kytketty toisiinsa kahdella hydraulipiirillä, joihin molempiin kuuluu paineakku, virtaventtiili sekä hydraulisylinteri. Kun auton painopiste siirtyy kohti etu-akselia esimerkiksi jarrutettaessa, FRICS-järjestelmä reagoi ohjaamalla tilavuusvirtaa piiriin kaksi kautta takasylinterille. Tällöin järjestelmä painaa takajousitusta samalla nostaten etujousitusta, jolloin auton niin sanottu niaaminen saadaan karsittua pois. Kiihdytettäessä auton keula pyrkii nousemaan, jolloin FRICS toimii päinvastoin ja painaa etujousitusta ohjaamalla tilavuusvirtaa piiriin yksi kautta etusylinterille. Virtaventtiilien tehtävä on mahdollistaa jousituksen normaali toiminta ja paineakkujen tehtävä on kompensoida järjestelmän lämmönvaihteluita. [43]

6.3 Jousitus nykyään

FIA kielsi FRICS-jousituksen F1-autoissa ennen kautta 2015 lisäämällä sääntöihin kohdat 10.1.2. ja 10.2.3. Sääntökatkelmat määrittelevät, että eturenkaille asennetut jousitusjärjestelmät saavat reagoida ainoastaan eturenkaille tulevaan kuormitukseen ja päinvas-toin. [43] Tästä huolimatta Formula 1 -autojen jousituksessa käytetään edelleen hydrauliiikkaa. Vuonna 2016 Mercedes-talli keksi kiertää sääntöjä kytkemällä etu- ja takajousituksen eri puolet poikittain toisiinsa kahdella erillisellä suljetulla hydraulijärjestelmällä. Tämän niin kutsutun hydraulisen kallistuksenvakaajan tehtävä on sama kuin aiemmissakin sovelluksissa eli kontrolloida auton ajokorkeutta ja kallistusta. Järjestelmä toimii jäykistämällä kallistuksenvakausta ja jousitusta nopeissa mutkissa ja hitaissa päinvas-toin. Lisäksi auton maavaraa lasketaan suorilla ja nostetaan kanttikivillä ja mutkissa. [44]

Hydraulisen kallistuksenvakaajan toimintaperiaate on samanlainen kielletyn FRICS-järjestelmän kanssa. Järjestelmien suurin ero on, että nykyään käytössä olevassa sovelluksessa etu- ja taka-akselien jousituksia ei ole kytketty yhteen. [44] Kuvassa 12 on esitetty hydraulisen kallistuksenvakaajan komponentit taka-akselilta.



Kuva 12. Hydraulisen kallistuksenvakaajan komponentit [45]

Kuvassa 12 tavallisen kallistuksenvakaajan tilalla on keltaiset hydraulisyksiköt, jotka toimivat takaiskunvaimentimina. Ne on yhdistetty sinisillä nestelinjoilla punaiseen yhdistettyyn venttiililohkoon ja säiliöön. Formula 1 -auton hydraulinen kallistuksenvakaaja toimii kahdella tapaa: nestelinjat yhdensuuntaisesti, jolloin hydraulisynterierien ylemmät lohko ovat yhteydessä, tai ristissä, jolloin toisen synterierin ylempi lohko on yhteydessä toisen alemmaan. Toimintatapa riippuu siitä, kompensoidaanko pitkittäis- vai poikittaisliikettä. Pitkittäisliikettä kompensoitaessa linjat ovat yhdensuuntaisesti, jolloin painetta molempien synterierien ylemmissä lohkoissa nostetaan, ja jousitus jäykistyy sekä niaaminen vähenee. Kun linjat ovat ristissä, painetta nostetaan toisen puolen ylemmässä lohkoissa ja toisen alemmassa, jolloin auton vääntöjäykkyys kasvaa ja se kallistelee vähemmän. Tällä hetkellä innovaatiota käyttää täydessä mitassa vasta muutama talli, mutta kaikilla se on käytössä takajousituksessa, sillä järjestelmä oli taka-akselilla rakenteeltaan ja toiminnaltaan samankaltainen jo FRICSin aikaan. [45]

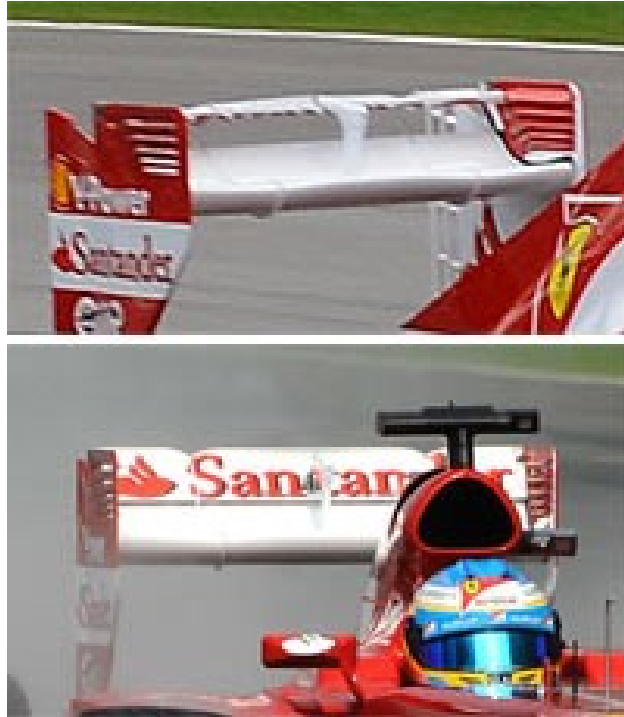
7. MUUT HYDRAULISOVELLUKSET

Jo käsiteltyjen alueiden lisäksi F1-autoissa on muitakin pienempiä hydraulisesti toteutettuja toimintoja. Näistä tärkein on ohjaustehostin, sillä nykyaikaisen Formula 1 -auton joustusgeometrialla edes ratin kääntäminen ilman sitä olisi mahdotonta [46]. Lisäksi Formula 1 -autoissa on yksinkertaisia päälle-pois -hydraulijärjestelmiä, kuten avattava takasiipi eli DRS (Drag Reduction System) sekä polttoainesäiliön luukun avausmekanismi [21]. [11]

Tavallisen henkilöauton tapaan myös F1-auton ohjaus on tehostettu. Sen tehtävänä on avustaa kuljettajaa ratin kääntämisessä, sillä vanhemmissakin Formula 1 -autoissa ratin tarpeeksi nopea kääntäminen koko kisan ajan olisi ilman ohjaustehostinta kuljettajalle ylivoimainen tehtävä. Nykyään sääntöjen mukaan F1-auton ohjaustehostin on toteutettu mekaanishydraulisesti aiemman sähkö-hydraulisen toteutuksen sijaan ja se on osa auton tehokasta hydraulijärjestelmää. Vaikka F1-auton ohjaustehostin on toimintaperiaatteeltaan vastaava tavanomaisen henkilöauton tehostimen kanssa, kaikkien muidenkin Formula 1 -auton hydraulisten sovellusten tapaan, ohjaustehostin on yksinkertainen komponentti, joka on suunniteltu tarkkaan F1-auton vaatimusten mukaan. [46]

Ohjaustehostimen hydraulinen prosessi on myös yksinkertainen. Tehostin on periaatteessa ainoastaan kaksitoiminen hydraulisyliinteri, joka on kytketty F1-auton päähydrauliipiiriin. Siihen ohjataan moottorin pyörittämältä hydraulipumpulta voimaa ja suuntaa säätelevän venttiilin kautta tilavuusvirtaa avustamaan liikettä jompaankumpaan suuntaan. Oikealle käännnyttäessä korkea paineista hydraulijöljyä kohdistetaan sylinterin oikeaan lohkokon, jolloin se tehostaa ohjausliikettä vähentäen siihen tarvittavaa voimaa. Vasemalle käännnyttäessä venttiili ohjaa tilavuusvirran sylinterin toiselle puolelle ja järjestelmä toimii päinvastoin. Formula 1 -auton ohjaustehostimen käyttöpainne on 20 MPa ja se on samasta toimintaperiaatteestaan huolimatta paljon henkilöauton vastaavaa energiatehokkaampi [11]. [46]

Kaudelle 2011 Formula 1:iin esiteltiin avattava takasiipi eli DRS-järjestelmä (Drag Reduction System), jonka tarkoitus on vähentää aerodynaamista vastusta radan tietyillä osuuksilla, niin sanotuilla DRS-alueilla. Toiminnaltaan järjestelmä on erittäin yksinkertainen. Takasiivessä oleva ylempi läppä aukeaa, kun erittäin nopeasti toimiva korkeapaineinen venttiili avataan ja paineistettu hydraulijöljy pääsee painamaan läppää käyttävää hydraulisyliinteriä. Kun magneettiventtiili suljetaan, paine hydraulisyliinteriltä katoaa ja takasiiven läppä sulkeutuu. [47] Haasteita järjestelmälle asettaa käytettävissä olevan tilan pienuus. Takasiivelle menevät erittäin ohuet titaanista valmistetut hydraulilinjat, jotka kulkevat takasiiven ohuen hiilikuituisen paneelin sisällä. [21] Lisäksi magneettiventtiili on erittäin pieni ja kevyt [47]. Kuvassa 13 näkyy DRS-järjestelmän toiminta.



Kuva 13. Avattavan takasiiven kaksi eri asentoa [48]

Kuvan 13 ylemmässä kuvassa avattava takasiipi on käytössä, jolloin siiven ylempi läppä on auki. Alemmassa kuvassa sen sijaan ollaan DRS-alueen ulkopuolella ja läppä on kiinni. Samalla kuvasta käy hyvin ilmi, kuinka pieneen tilaan DRS-järjestelmä on asennettu. Titaaniset hydrauliputket muun muassa kulkevat ohuen takasiiven päätylevyn sisällä [21].

Polttoainesäiliön luukun avausmekanismi toimii DRS-järjestelmän kanssa samalla ON–OFF -periaatteella. Sitä ohjaa erittäin pieni suoraan toimiva hydraulinen magneettiventtiili. Kun se aukeaa, luukku ohjaavalle toimilaitteelle kohdistetaan tilavuusvirtaa, jolloin luukku aukeaa. Kun magneettiventtiili suljetaan, tilavuusvirta ei enää kohdistu toimilaitteelle ja polttoainesäiliön luukku sulkeutuu. [11]

8. YHTEENVETO

Tässä työssä käytiin läpi mihin Formula 1 -autoissa käytetään hydrauliiikkaa ja miten hydrauliset sovellukset ovat kehittyneet vuosien saatossa. Ilman osaa niistä auto ei kulkisi lainkaan ja osa taas keskittyy tekemään F1-autosta nopeamman. Koko hydraulijärjestelmän runkona toimii hydraulikoneikko, jossa olevasta pumpusta ja öljystä se saa voimansa. Ilman sitä Formula 1 -auto ei toimisi lainkaan, sillä esimerkiksi voimansiirto, ohjaustehostin ja kaasut eivät toimi ilman hydrauliiikkaa. Lisäksi F1-auton jarrut vaativat toimiakseen hydrauliiikkaa.

Jousituksessa olevan hydraulijärjestelmän sekä avattavan takasiiven tehtävinä sen sijaan on tehdä autosta mahdollisimman nopea, mutta ilmankin niitä F1-autolla pystyy ajamaan. Ilman niitä tosin nykyaikainen F1-auto ei olisi kilpailukykyinen ja viat hydraulijärjestelmässä johtavat lähes poikkeuksetta keskeytykseen. Formula 1 -auton hydraulijärjestelmän onkin oltava erittäin huolellisesti suunniteltu ja tehokas, jotta siitä saadaan mahdollisimman luotettava.

Lisäksi järjestelmälle omat haasteensa asettavat pieni käytössä oleva tila sekä keveyden tavoittelu. Tämän vuoksi järjestelmän öljytilavuus on erittäin pieni ja sen lämpötilat nousevat helposti korkeaksi, jolloin öljyn viskositeetti laskee pieneksi. Matalan viskositeetin takia järjestelmän välysten on oltava mahdollisimman pieniä, jotta sisäinen vuoto, energiahäviöt sekä lämpeneminen saadaan minimoitua. Samalla öljyltä vaaditaan paljon, jotta se kykenee toimimaan suorituskykyisesti vaativissa olosuhteissa eri lämpötiloissa.

Hydrauliikan keskeisiä vahvuuksia on, että sillä saavutetaan pienestä tilavuudesta suuri teho. Tämä on erittäin tärkeää Formula 1 -autoissa, joissa tilaa on käytettävissä erittäin vähän ja järjestelmien pitää toimia nopeasti ja tehokkaasti. Vaihteiston ja kaasun äärimmäisen nopeaa toimintaa ei esimerkiksi voida toteuttaa luotettavasti ja tehokkaasti mitenkään muuten kuin hydraulisesti. Lisäksi niiden vuoksi F1-autossa jo olemassa olevaa suorituskykyistä hydraulikoneikkoa on helppo hyödyntää muissakin sovelluksissa. Tästä syystä uskon, että hydrauliiikka on tärkeässä osassa Formula 1:ssä vielä pitkälle tulevaisuuteen.

F1-autojen hydraulisovellukset ovat kohtalaisen yksinkertaista tekniikkaa, joka on hiottu huippuunsa niihin sopivaksi, joten se on täydellinen vaihtoehto vielä pitkälle tulevaisuuteen. Oman lisänsä Formula 1 -autojen tulevaisuuden spekulointiin tuovat vuosittain muuttuvat säännöt, mutta hydrauliiikkaa on käytetty F1:ssä jo vuosikymmeniä, joten on turvallista olettaa, että niin on jatkossakin. Kaiken kaikkiaan Formula 1 on erinomainen alusta hydrauliiikalle ja sen kehitykselle, sillä F1-autoissa käytettävä tekniikka on korkeateknologiaa, jota pyritään jatkuvasti kehittämään paremmaksi. Näin Formula 1 -autoihin kehitetty ja niissä testattu hydrauliteknikka pikkuhiljaa yleistyy myös arjessa.

LÄHTEET

- [1] C. Seabaugh, How Formula 1 technology innovations are racing us into the future, IQ by Intel, web page. Available (accessed 20.11.2017): <https://iq.intel.com/how-formula-1-is-racing-us-into-the-future/>.
- [2] M. Williamson, A brief history of Formula One, ESPN, web page. Available (accessed 20.11.2017): <http://en.espn.co.uk/f1/motorsport/story/3831.html>.
- [3] The changing face of F1, BBC Sport, web page. Available (accessed 20.11.2017): http://news.bbc.co.uk/sport2/hi/motorsport/formula_one/cars_guide/4272031.stm.
- [4] H. Kauranne, J. Kajaste, M. Vilenius, Hydrauliteknikka, 2. uudistettu p. ed. SanomaPro, Helsinki, 2013, 496 s.
- [5] J. Noble, Magnussen failure caused by broken hydraulic pipe, Motorsport.com, web page. Available (accessed 21.11.2017): <https://www.motorsport.com/f1/news/haas-magnussen-failure-austria-washer-hydraulic-pipe-928957/>.
- [6] 2017 Formula One Technical Regulations, F 30.4.2017/6, 2017. Available: <https://www.fia.com/regulation/category/110>.
- [7] Ponsse Harvesterit, Ponsse Oyj, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.11.2017): <http://www.ponsse.com/fi/tuotteet/harvesterit/>.
- [8] Harvesteripäässä hydraulikka hiottu huippuunsa, Fluid Finland, Vol. 11, Nro. 1, 2015, s. 62.
- [9] C. Armstrong-Wilson, Control under pressure, Racecar Engineering, Vol. 2008, Iss. 11, 2008, pp. 67–70.
- [10] How an F1 Car Works, The New Paper, Vol. 21, Iss. 39/2008, 2008.
- [11] Formula One racers go with ultralight hydraulics, in: Hydraulics & Pneumatics, Penton Media, Inc., Penton Business Media, Inc. and their subsidiaries, Cleveland, 2006, pp. 20–23.
- [12] Hydraulic motion control puts Formula 1 performance on a whole new track, Moog Inc. Iss. 35, 2014, 6 p. Available: <http://www.moog.com/literature/ICD/moogindustrialnewsletterissue35.pdf>.
- [13] Ferrari's most ambitious project, Ferrari S.p.A., web page. Available (accessed 26.11.2017): http://auto.ferrari.com/en_EN/sports-cars-models/car-range/laFerrari/#innovations-dynamics-5.
- [14] Shell Lubematch, St1 Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 26.11.2017): <http://www.shell.fi/motorists/voiteluaineet-ja-oljyt/lubematch.html#iframe=L2Zp>.

- [15] Spirax S4 ATF HDX, St1 Oy, 2016, 2 s. Saatavissa: <http://www.shell.fi/motorists/voiteluaineet-ja-oljyt/lu-bematch.html#iframe=L2ZpL2ZpL2VxdWlwbWVudC9jYXJzL2ZlcnJhcmkvbGFmZXJyYXJpXzZfM19oeWJyaWRfZl8xNDBfZmVfNzA4a3dfRUZ0OFBtWkIN>.
- [16] Formula 1 Engine, Formula1-dictionary, web page. Available (accessed 27.11.2017): <http://www.formula1-dictionary.net/engine.html>.
- [17] Hydrauliiikkaöljyn valintaperusteita, Oy Teboil Ab, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 26.11.2017): <http://www.teboil.fi/tuotteet/voiteluaineet/yleista-voiteluaineista/hydrauliikkaoljyn-valintaperusteita/>.
- [18] UFI Filters - Formula 1's preferred filter supplier, UFI Filters S.p.A., web page. Available (accessed 27.11.2017): <http://www.ufi.it/en/News-Events/ufi-filters-formula-1s-preferred-filter-supplier.html>.
- [19] A. Laamanen, Hydraulijärjestelmän säiliön optimointi, Promaint lehti, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 27.11.2017): <https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Hydraulijarjestelman-sailion-optimointi>.
- [20] C. Scarborough, In Detail: 3D printed Hydraulic Fluid Reservoir, ScarbsF1, web page. Available (accessed 27.11.2017): <http://scarbsf1.com/?p=4696>.
- [21] S. Collins, DRS: The Drag Reduction System explained, Racecar Engineering, web page. Available (accessed 27.11.2017): <http://www.racecar-engineering.com/articles/f1/drs-the-drag-reduction-system/>.
- [22] Understanding F1 racing, Gearbox, Formula One World Championship Limited, web page. Available (accessed 28.11.2017): <https://www.formula1.com/en/championship/inside-f1/understanding-f1-racing/power-unit---gearbox.html>.
- [23] Transmission, Formula1-dictionary, web page. Available (accessed 28.11.2017): <http://www.formula1-dictionary.net/transmission.html>.
- [24] Gearbox, Formula -dictionary, web page. Available (accessed 28.11.2017): <http://www.formula1-dictionary.net/gearbox.html>.
- [25] S. Collins, Formula 1 Sequential gearboxes, Racecar Engineering, web page. Available (accessed 5.12.2017): <http://www.racecar-engineering.com/technology-explained/formula-1-sequential-gearboxes/>.
- [26] Fuel and oil: the hidden advantage, CRASH, web page. Available (accessed 28.11.2017): <http://www.crash.net/f1/feature/48943/1/fuel-and-oil-the-hidden-advantage>.
- [27] S. Mitchell, Inside F1 Cars: Does a Formula 1 Car Have a Clutch, and How Does It Work? Bleacher Report – Turner Sports Network, web page. Available (accessed 5.12.2017): <http://bleacherreport.com/articles/1776973-inside-f1-cars-the-technology-application-and-importance-of-a-formula-1-clutch>.

- [28] S. De Groote, Transmission, F1 Technical, web page. Available (accessed 5.12.2017): <https://www.f1technical.net/articles/66>.
- [29] Differential, Formula1-dictionary, web page. Available (accessed 5.12.2017): <http://www.formula1-dictionary.net/differential.html>.
- [30] Understanding F1 racing, Brakes, Formula One World Championship Limited, web page. Available (accessed 5.12.2017): <https://www.formula1.com/en/championship/inside-f1/understanding-f1-racing/Brakes.html>.
- [31] G. Hatton, Tech Explained: 2017 Formula 1 Brake by Wire Systems, Racecar Engineering, web page. Available (accessed 8.12.2017): <http://www.racecar-engineering.com/articles/f1/tech-explained-2017-formula-1-brake-by-wire-systems/>.
- [32] Brake by Wire or BBW, Formula 1 -dictionary, web page. Available (accessed 8.12.2017): http://www.formula1-dictionary.net/brake_by_wire.html.
- [33] B. Carlton, Anti-lock braking systems: what is ABS and how does it work? Saga, web page. Available (accessed 8.12.2017): <https://www.saga.co.uk/magazine/motoring/cars/using/2016/anti-lock-braking-system-abs>.
- [34] History of the F1 engine, McLaren Honda, web page. Available (accessed 8.12.2017): <https://www.mclaren.com/formula1/car/history-of-the-f1-engine/>.
- [35] S. Collins, Technology Explained: F1 throttles, Racecar Engineering, web page. Available (accessed 8.12.2017): <http://www.racecar-engineering.com/articles/f1/technology-explained-f1-throttles/>.
- [36] C. Scarborough, F1 Engines _ Valve technology, ScarbsF1, web page. Available (accessed 8.12.2017): <http://scarbsf1.com/valves.html>.
- [37] C. Scarborough, F1's new exhaust rules explained - will the cars be louder in 2016? Autosport Media UK, web page. Available (accessed 17.12.2017): <https://www.autosport.com/f1/news/121332/will-new-exhausts-make-f1-louder>.
- [38] Pneumatic valve actuation, Formula1-dictionary, web page. Available (accessed 21.12.2017): http://www.formula1-dictionary.net/pneumatic_valve_actuation.html.
- [39] K. Howard, Active suspension, MotorSport, Vol. 2001, Iss. 12, 2001, pp. 69–74.
- [40] Racing car Suspension, Formula1-dictionary, web page. Available (accessed 23.12.2017): <http://www.formula1-dictionary.net/suspension.html>.
- [41] Formula One glossary, F1 technical, web page. Available (accessed 23.12.2017): <https://www.f1technical.net/glossary/>.
- [42] S. Collins, F1 2014 explained: What is FRICS? Racecar Engineering, web page. Available (accessed 25.12.2017): <http://www.racecar-engineering.com/technology-explained/f1-2014-explained-what-is-frics/>.

[43] FRIC Front to Rear Interlinked Suspension, Formula 1-dictionary, web page. Available (accessed 25.12.2017): <http://www.formula1-dictionary.net/fric.html>.

[44] M. Schmidt, Das Mercedes-Geheimnis Front-FRIC dank Chassis-Trick, Auto motor und sport, web page. Available (accessed 25.12.2017): <https://www.auto-motor-und-sport.de/formel-1/mercedes-front-fric-chassis-trick-11538621.html>.

[45] C. Scarborough, Mercedes: Innovative Linked Rear Suspension, ScarbsF1, web page. Available (accessed 25.12.2017): <https://scarbsf1.wordpress.com/2011/10/17/mercedes-innovative-linked-rear-suspension/>.

[46] C. Scarborough, F1 Power Steering Rack, ScarbsF1, web page. Available (accessed 25.12.2017): <http://scarbsf1.com/?p=4585>.

[47] M. Koskinen, Formulaton hydraulikkaa, Fluid Finland, Vol. 12, Nro. 2, 2016, s. 6–9.

[48] Formula One glossary, F1 Technical, web page. Available (accessed 26.12.2017): <https://www.f1technical.net/glossary/d>.