

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2020

Mikael Takalo

AUTON PYÖRÄNTUENNAN GEOMETRIAN MITTAAMINEN JA ANALYSOINTI

– SUSPROG 3D

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Kesäkuu 2020 | 65 sivua, 23 liitesivua

Mikael Takalo

AUTON PYÖRÄNTUENNAN GEOMETRIAN MITTAAMINEN JA SIMULOINTI

- SusProg 3D

Opinnäytetyössä tutustutaan auton pyöräntuennan geometrian laskentaan ja simulointiin tarkoitettuihin ohjelmistoihin. Tutustumisen tuloksena tehdään kaksi PowerPoint-esitystä, joita voidaan käyttää hyödyksi auton rakenteita käsittelevillä Turun ammattikorkeakoulun opintojaksoilla.

Työssä käsitellään yleisellä tasolla auton mittaukseen liittyviä asioita. Tässä työssä sitä käsitellään ohjelman käytön kannalta oleellisin osin. Ohjelmistoa ei voida käyttää, mikäli sille ei ole syöttää mitään dataa. Näin ollen mittaaminen on olennainen osa ohjelman käyttöä. Työn tarkoitus on kuitenkin perehtyä ohjelmistoon, joten mittaamiseen perehdytään ohjelmistoon tutustumisen yhteydessä.

Ensimmäisen PowerPoint-esityksessä tutustutaan valitun laskentaohjelmiston käyttötarkoitukseen. Esityksessä kerrotaan ohjelmiston tarkoituksesta, kilpailijoista, sekä esitellään myös lyhyesti mittaamista. Vertailua kilpailijoihin tehdään hieman ominaisuuksien välillä. SusProg 3D on markkinoilla olevista ohjelmistoista edullisin. Toisessa PowerPoint-esityksessä syvennytään ohjelman käyttöön.

Opinnäytetyön laajin osa käsittelee SusProg 3D -ohjelmiston toimintaa. Raportti tukee ja taustoittaa PowerPoint-materiaalia kuvailemalla laajasti ohjelman käytön ja toiminnan periaatteita. Jokaisella pyöräntuentatyyppille tietojen syöttö on hieman erilainen, mutta laskenta ja ohjelman konfigurointi toimii saman periaatteen mukaisesti. Lopuksi tehdään katsaus myös ohjelman tarjoamiin työkaluihin, joilla esimerkiksi helpotetaan pyöräntuennan geometrian uudelleensuunnittelua ja tarkastellaan painon dynaamista siirtymistä simuloituissa ajotilanteissa.

ASIASANAT:

Jousitus, ajoneuvot, pyörät.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

June 2020 | 65 pages, 23 pages in appendices

Mikael Takalo

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF SUSPENSION GEOMETRY

- SusProg 3D

In the thesis the software for calculating and simulating the geometry of a vehicle's wheel support is introduced. As a result of the introduction, two PowerPoint presentations are made, which can be used for courses dealing with vehicle structures at the Turku University of Applied Sciences.

The work deals with issues related to vehicle measurement at a general level. In this work, measuring is dealt with in the essential parts for the use of the program. The software cannot be used if no data has been entered. Thus, measurement is an integral part of using the program. However, the purpose of the work is to get acquainted with the software, so the measurement is introduced in connection with getting acquainted with the software.

The first PowerPoint presentation introduces the purpose of the selected calculation software. The presentation is about the purpose of the software, the competitors, and it briefly introduces how to do measurements. A comparison to competitors is made between features. SusProg 3D is the cheapest program in this segment. The second PowerPoint presentation dives into the use of the program.

The part of the work dealing with the operation of software is the most extensive. This report provides a comprehensive overview of the use of the program and its operating principles. For each type of wheel support, the data entry is slightly different, but the operating principle and program configuration work is same. Finally, the tools provided by the program are also scratched the surface, which can be used, for example, to redefine the attachment points of the wheel support articulation points and consider the dynamic weight transfer in simulated driving situations.

KEYWORDS:

Suspension, vehicles, wheels

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 PYÖRÄNTUENNAN GEOMETRIAN LASKENTATYÖKALUJA	8
2.1 Suspension Analyzer	9
2.2 Lotus SHARK	9
2.3 OptimumKinematics	10
2.4 SusProg 3D	11
3 MITTAAMINEN	13
3.1 Mittauspaikka	13
3.2 Auton korin mittaukset	14
3.3 Pyöräntuennan jousittamattomien osien mittaukset	17
3.3.1 Etupään pyöräntuenta	18
3.3.2 Takapään pyöräntuenta	20
3.3.3 Pyörät	21
4 SUSPROG 3D -OHJELMAN KÄYTTÄMINEN	22
4.1 Ohjelman perustiedot	22
4.2 Tietojen syöttäminen	26
4.2.1 Vehicle	27
4.2.2 Geometry	32
4.2.3 Roll and Bump	45
4.2.4 Steering	47
4.2.5 Driveline	49
4.2.6 Spring, Shock, ARB	50
4.3 Tulokset	56
4.4 Tulosten soveltaminen	58
5 LOPUKSI	62
5.1 Pyöräntuennan mittaaminen	62
5.2 SusProg 3D:n käyttö	62
5.3 PowerPoint-esitykset	63
LÄHTEET	65

LIITTEET

- Liite 1. PowerPoint esitys: SusProg 3D -tutustuminen
- Liite 2. PowerPoint esitys: SusProg 3D -käyttäminen
- Liite 3. SusProg 3D:n tukemat pyöräntuentatyytit

KAAVAT

Kaava 1. Ohjauksen C-factor.	19
Kaava 2. Pyörän liikkeen suhde heilahtelunvaimentimen liikkeeseen.	23
Kaava 3. Heilahtelunvaimentimen liikkeen suhde pyörän liikkeeseen.	23

KUVAT

Kuva 1. Kallistuksenvakaajan mitat (SusProg 3D -ohjelmisto 2020a).	17
Kuva 2. MacPherson-joustintuen, tyyppi A, mittausohje (SusProg 3D -ohjelmisto 2020b).	18
Kuva 3. MacPherson-joustintuen, tyyppi C, mittausohje (SusProg 3D -ohjelmisto 2020c).	19
Kuva 4. Vetävän jäykän taka-akselin mittausohje (SusProg 3D -ohjelmisto 2020d).	20
Kuva 5. Renkaan mittaukset (SusProg 3D -ohjelmisto 2020e).	21
Kuva 6. Yläpalkki ja siinä näkyvät painikkeet.	22
Kuva 7. Koordinaatiston määrittäminen.	24
Kuva 8. Auton konstruktion asetukset.	27
Kuva 9. Datum-ikkuna.	28
Kuva 10. Ajokorkeusikkuna ja -arvot.	29
Kuva 11. Massat syötettynä.	30
Kuva 12. Renkaiden mitat.	31
Kuva 13. Auton pohjalevyn mitat.	32
Kuva 14. <i>Geometry Configuration</i> -ikkuna.	33
Kuva 15. <i>Birdcage</i> -tuentalinkki (SusProg 3D-ohjelmisto 2020f).	36
Kuva 16. Etupään korinpuoleiset nivelpisteet, MacPherson-joustintuki.	38
Kuva 17. MacPherson-joustintuen mitat.	38
Kuva 18. Kallistuskeskiöiden sijainti.	40
Kuva 19. Alaturvavarren tankojen mitat.	40
Kuva 20. Raideleveys, pyörien keskilinjasta mitattuna.	41
Kuva 21. Pyöränsuuntaus-ikkuna.	41
Kuva 22. Maksimi sisään- ja ulosjousto.	42
Kuva 23. Taka-akselin korinpuoleiset kiinnityspisteet.	42
Kuva 24. Taka-akselin mitat ja välilehdet.	43
Kuva 25. Sisään- ja ulosjousto.	45
Kuva 26. Kallistuksen konfigurointi.	46
Kuva 27. Kallistuskeskiön ja kallistusakselin valinnat.	47

Kuva 28. Ohjauksen määrittäminen.	48
Kuva 29. Heilahtelunvaimentimien ja jousien konfiguraatioikkuna.	50
Kuva 30. Etujousien ominaisuudet.	51
Kuva 31. Heilahtelunvaimentimen kiinnitys alatukivarteen.	54
Kuva 32. Kallistuksenvakaajan tiedot.	55
Kuva 33. Kallistuksenvakaajan tukivarsikiinnityksen valinta.	56

TAULUKOT

Taulukko 1. Ohjelmistojen hintavertailu.	11
--	----

1 JOHDANTO

Auton pyöräntuennan suunnittelu ja siinä onnistuminen on auton ajo-ominaisuuksien ja ääritilannekäyttäytymisen kannalta hyvin keskeistä. Modernien autojen pyöräntuennan suunnittelu on hyvin kehittynyttä, autot ovat turvallisia ja miellyttäviä käyttää normaaliliikenteessä kaikissa olosuhteissa. Mutta mikäli sarjatuotantoauton käyttötarkoitus muutetaan kilpa-ajossa käytettäväksi kilpa-autoksi, muuttuvat pyöräntuennan vaatimukset oleellisesti. Kilpailukykyisen kilpa-auton rakentamisessa voi yksi merkittävimmistä osaluista olla juuri ajettavuus ja ajo-ominaisuudet. Käyttötarkoituksen muuttaminen tuon määrän kokonaan uudelleen harkittavia kysymyksiä myös sille, minkälainen pyöräntuennan ja sen geometrian pitäisi kilpa-autossa olla. Pyöräntuennan geometrian tutkimiseen on nykyisin useita erilaisia tietokoneohjelmistoja, joilla tarkastelu on varsin helppoa toteuttaa nopeasti ja tehokkaasti.

Turun ammattikorkeakoululle on hankittu pyöräntuennan suunnitteluun ja analysointiin tarkoitettu SusProg 3D -ohjelmisto. Ohjelmiston käyttöön ei ole olemassa suomenkielistä käyttöohjetta tai materiaalia. Ohjelmistoa on tarkoitus käyttää opetuksen työkaluna auton rakenteita käsittelevillä kursseilla. Opinnäytetyön pääasiallisena lähteenä käytetään ohjelmiston omaa käyttöohjekirjaa. Kirjaa ei ole tarkoitus suomentaa sellaisenaan, vaan tutustua ohjelmistoon enemmän käytännön kautta.

Työn tavoitteena on tuottaa Turun ammattikorkeakoulun käyttöön kaksi PowerPoint-esitystä. Ensimmäisessä esityksessä tutustutaan ohjelman tarkoitukseen, kilpailijoihin sekä mittausdatan tuottamiseen. Toisessa esityksessä syvennytään SusProg 3D:n käyttöön. Raportti tukee näitä PowerPoint-esityksiä taustoittaen ja syventäen esitysten sisältöä. Työssä ei perehdytetä lukijaa pyöräntuennan perusteisiin, koska ne oletetaan olevan jo hallinnassa. Opinnäytetyössä tuotettu tieto on tarkoitettu AMK:n autotekniikan opettajille opetustyön tueksi.

2 PYÖRÄNTUENNAN GEOMETRIAN LASKENTATYÖKALUJA

Auton pyöräntuennan geometrian suunnittelu on hyvin monimutkainen ja monimuotoinen tehtävä. Pyöräntuennan toiminnalle voidaan asettaa monenlaisia vaatimuksia, ja vaatimukset voivat olla usein jopa karkeasti ristiriidassa keskenään. Joustoliikkeen aikana pyörän asentomuutoksia tapahtuu muun muassa raidelevyden, sivukallistuman, akselivälin ja ohjaukskulman osalta. Yleensä nämä muutokset tapahtuvat useassa eri suunnassa samanaikaisesti. Eri tuentatyypeillä on omat erityispiirteensä ja suunnittelun tavoitteena tulisi olla pyörän mahdollisimman vähäinen liikuntapoiikkeama.

Sarjatuotantoautoissa pyöräntuennatapoja on autoilun historiassa ollut monenlaisia. Ehkä juuri sarjatuotannon tehokkuusajattelun myötä käyttöön on vakiintunut kuitenkin vain muutama tuentatyyppi. Erikoisratkaisut ovat nykyisellään harvinaisia, mikä onkin ehkä antanut suunnittelijoille mahdollisuuden keskittyä parantamaan olemassa olevia ratkaisuja. Jokaisella pyöräntuennatyyppillä on omat erityispiirteensä, niin vahvuuksia kuin heikkouksiakin. Jos auton käyttötarkoitusta merkittävästi muutetaan, on näitä erityispiirteitä tarkasteltava kokonaan uudessa valossa ja usein varsin perusteellisesti.

Jos auton pyörien asentoa tarkastellaan maanpinnan koordinaatistossa, jousitusliikkeen aikana tapahtuu pyöräntuennasta riippuen eri tyyppisiä asentomuutoksia, niin jouston kuin korin kallistelunkin aikana. On mahdollista, että pyöränkulmat toimivat tienpinnan suhteen pystysuorassa joustoliikkeessä hyvin, mutta korin kallistuessa pyöränkulmat muuttuvatkin maanpinnan koordinaatistossa epäedullisiksi. Pyöräntuennan suunnittelu on väistämättä jatkuvaa kompromissien etsimistä. (Laine 1981, 220).

Pyöräntuennan geometriaa on vaikea hahmottaa ilman massiivista laskentaa. Laskenta itsessään olisi hyvin työlästä, jos sitä jouduttaisiin tekemään käsin. Pyöräntuennan geometriaan on kuitenkin käytettävissä erilaisia ohjelmistoja. Ohjelmistojen avulla saadaan nopeasti ymmärrystä pyöräntuennan geometrian muutoksista joustoliikkeen sekä korin kallistelun aikana.

Ohjelmistot eivät välttämättä anna normaaliliikenteessä ajavalle autoilijalle erityisen kiinnostavaa tai keskeistä informaatiota, mutta kilpa-autoilussa pyöräntuennan suunnittelun onnistuminen voi ratkaista kilpailun voiton tai jopa maailmanmestaruuden. Seuraavassa

on esitelty muutamia laskentaohjelmistoja, jotka on tarkoitettu pyöräntuennan suunnitteluun ja analysointiin. Ohjelmistojen esittelyissä mainitut euromääräiset hintatiedot on tarkistettu 29.5.2020 valuuttakurssin mukaan.

2.1 Suspension Analyzer

Suspension Analyzer on vuonna 1986 perustetun Performance Trends Inc -yhtiön kehittämä ohjelmisto. Yhtiö on kotoisin Michiganista, Yhdysvalloista. Ohjelmaa ei tämän opinnäytetyön laatimisen aikana päästy kokeilemaan, mutta valmistajan kuvien perusteella ohjelman graafinen esitys on hyvin yksinkertaistettu. Kyseisellä ohjelmalla kuitenkin onnistuu koko pyöräntuennan geometrian suunnittelu sekä analysointi. Jousitustyytit ovat hyvin kattavat. Lisänä Suspension Analyzerissä on esimerkiksi pallonivelen mittamiseen tarkoitettu osio, jossa pallonivelen tyyppin ilmoittamalla ohjelma laskee nivelen keskikohdan paikan, kun mitta annetaan kiinnitysruuvien päähän.

Ohjelmisto on mahdollista yhdistää suoraan datan keräimeen. Suspension Analyzer -ohjelman täysi versio maksaa valmistajan Internet-sivuilla 399 US\$ (365 €). Lisälisensseistä ei ole mainintaa, mutta ohjelman markkinointi vaikuttaa olevan enemmän suoraan kilpatalleille datan keruumahdollisuuden vuoksi. Lisenssi on kertaluontoinen. Performance Trends Inc tarjoaa erikoisohjelmistoja myös kiihdytysajoon, ovaalille ja perinteisille kilparadoille, maastoajoon sekä katuajoon. (Performance Trends Inc 2020)

2.2 Lotus SHARK

Lotus SHARK -ohjelmisto on englantilaisen autonvalmistaja Lotuksen tuote. Lotus tunnetaan automaailmassa ajettavuudeltaan varsin onnistuneista autoistaan. Autobrändin nimi antaa siis vakuuttavan ensivaikutelman jo pelkällä maineellaan. Ohjelmaa mainostetaan nopeakäyttöisenä ja helposti opittavana. Ominaisuudet vaikuttavat samankaltaisilta kuin muissakin, mutta graafinen esitys on hieman erinäköinen. Ohjelmassa voidaan katsoa koko autoa kerralla. Tuloksia voidaan tarkastella diagrammeina, sekä numeraalisena datana. SHARK-ohjelmassa tietojen muokkausta voidaan tehdä suoraan graafisesta esityksestä pisteitä siirtelemällä. Nivelpisteitä voidaan muuttaa haluttujen ominaisuuksien mukaan. SHARK-ohjelmalla voidaan tutkia pyöräntuennan puslien voimia ja muodonmuutosta. Ohjelma kykenee myös laskemaan korin ulkopuolisia voimia, kuten

renkaiden kitkavoimia ja aerodynaamisia voimia. Lotuksen SHARK on ominaisuuksiltaan erittäin monipuolinen. (Lotus Cars 2020)

Sähköpostitiedusteluun (N. Fleming, henkilökohtainen tiedonanto, 28.5.2020) Lotukselta vastattiin ilmoittamalla ohjelman eri versioille hinnoiksi:

- kuukauden lisenssi: 402 £ (450 €),
- 3 kuukauden lisenssi: 904 £ (1011 €),
- 6 kuukauden lisenssi: 1506 £ (1684 €),
- vuoden lisenssi: 2410 £ (2696 €),
- jatkuva lisenssi: 9640 + 964 £ (10782 + 1078 €) sekä
- jatkuvan lisenssin lisävuodet: 964 £ (1078 €).

Akateemisen hinnaston mukaan yksittäinen lisenssi, yhdelle ohjelmistolle on ilmainen. Tämä oletettavasti siksi, että esimerkiksi opettaja pääsee käyttämään ja testaamaan, vastaako tuote oppilaitoksen tarpeita. Useammat lisenssit yksittäiselle ohjelmistolle maksavat:

- 5 lisenssiä: 720 £ (805 €),
- 10 lisenssiä: 1340 £ (1498 €) ja
- 15 lisenssiä: 1900 £ (2124 €).

Maksut ovat vuosiperusteisia. Ohjelmisto on tässä vertailuista ylivoimaisesti kallein. Ohjelmisto kuitenkin vaikuttaa myöskin tässä vertailussa monipuolisimmalta, joten hinnalle on tässä mielessä perusteita.

2.3 OptimumKinematics

OptimumKinematics -ohjelmiston on kehittänyt Yhdysvaltojen Coloradosta kotoisin oleva OptimumG-yritys. Yhtiö on perustettu vuonna 1997. Ohjelma on hyvin samankaltainen kuin muutkin tässä vertailussa mukana olevat verrokkit. Jousituksen konstruktioita on laajasti käytettävissä ja käytön mainostetaan olevan helppoa. OptimumKinematics -ohjelmistossa on myös lisäosa jousituksen ulkopuolisille voimille, samoin kuin Lotuksen SHARK -ohjelmistossakin. Sivustolla mainostetaan myöskin ilmaisesta videokurssia ja elinikäistä teknistä tukea. Ohjelman lisenssi maksaa 749 US\$ (686 €) vuodessa. Jousitoliikkeen ulkopuolisille voimille oleva lisäosa maksaa erikseen. (OptimumG 2019a)

Ohjelmasta on saatavilla myöskin opiskelijaversio, jonka vuosittainen hinta on 295 US\$ (268 €). Ulkopuolisille voimille oleva lisäosa on 50 US\$ (45 €). (OptimumG 2019b)

OptimumG tarjoaa myös ohjelmistot: OptimumTire, OptimumDynamics sekä OptimumLap.

2.4 SusProg 3D

SusProg 3D on pyöräntuennan suunnitteluun ja analysointiin kehitetty ohjelmisto. Ohjelman on kehittänyt australialainen yritys. Tämä näkyy erityisesti siinä, että huomiota on kiinnitetty Australian markkinoihin. Ohjelmistossa on oletusasetuksena imperiaaliset yksiköt, ja pyöräntuentatyyppien selitteissä on paljon viittauksia amerikkalaisperäiseen tuotantoon. Ohjelman *Help*-osio on erittäin kattava. Ohjelmassa ei saada visuaalisesti näkyviin yhtä aikaa auton etu- ja takapäätä. Laskentaohjelmistolla onnistuu kuitenkin huomioimalla toisenkin pään liikkeet ja sen vaikutukset.

Ohjelma on suhteellisen edullinen, sillä lisenssi maksaa vain 300 US\$ (275 €). Hinta lisälisenssille on 120 US\$ (110 €). Koulutuskäyttöön ohjelmiston tarjoaja antaa lisenssistä 50% alennuksen (R. Small, henkilökohtainen tiedonanto, 29.5.2020). Lisenssi on kertaluontoinen. SusProg 3D on tässä vertailuista ohjelmistoista edullisin (Taulukko 1).

Taulukko 1. Ohjelmistojen hintavertailu.

	SusProg 3D	Suspension Analyzer	Lotus SHARK	Optimum Kinematics
Lisenssi	275 €	365 €	2696 €/vuosi	686 €/vuosi
Lisälisenssi	110 €		Jatkuvalisenssi 10782 € + 1078 €/vuosi	
Akateeminen lisenssi	138 €		Ensimmäinen ilmainen	268 €/vuosi
Akateeminen lisälisenssi	55 €		<5 kpl = 805 € <10 kpl = 1498 € <15 kpl = 2124 €/vuosi	2 kpl = 450 € 3 kpl = 632 € /vuosi

SusProg 3D on hankittu Turun ammattikorkeakoulun käyttöön syksyllä 2019. Ohjelmistosta ei ole olemassa suomenkielisiä käyttöohjeita. Ohjelmistoa tullaan käyttämään Turun ammattikorkeakoulun auton pyöräntuentaä käsittelevillä kursseilla, ja tätä opinnäytetyötä käytetään pohjana ohjelmiston käytön opetuksessa.

3 MITTAAMINEN

Tässä luvussa käydään läpi olemassa olevan auton pyöräntuennan mittaaminen tarpeellisin osin, jotta siinä saatuja tuloksia voidaan käyttää SusProg 3D -ohjelmassa. Työssä käytetään esimerkkinä F-ryhmän ralliautoa ja Special Saloon -luokan rata-auton pyöräntuennan mittausta.

Onnistunut mittaustyö edellyttää ensin perehtymistä SusProg 3D:hen päällisin puolin erityisesti mittaamiseen liittyvissä asioissa. Periaatteellinen ajatus on asettaa mitattava auto kolmiulotteiseen koordinaatistoon (X, Y, Z), jonka nollakohtien perusteella mitataan ja syötetään auton pyöräntuennan nivelpisteet ohjelmistoon. Koordinaatiston nollakohdaksi voidaan valita etuakselilinja tai kiintopiste korissa tai sitten jokin vapaasti valittu kuvitteellinen linja. On tärkeää ymmärtää mittauksen tarkoitus, jotta olennaisiin asioihin voidaan keskittyä.

Ensisijaisen tärkeää mittauksen suorittamisessa on, että auton paikka ei mittauksen aikana muutu. On tärkeää saada auto asemoitua tasaiselle alustalle suoraan, ja siten liikukumattomaksi, että kaikki mitatut tulokset todella ovat käyttökelpoisia. Jos mahdollista auton alle voi rakentaa esimerkiksi auton kokoisen alustan, mittaustason, johon sen paikka merkitään. Mittaustason rakentamiseen kannattaa paneutua yhtä tarkasti, kuin itse auton mittaamiseen. Kiintopisteistä mittaustason ja korin välillä on hyötyä, mikäli auto on tarpeen ottaa pois mittaustasolta. Myös koria muokatessa on tästä mittaustasosta hyötyä, silloin muutosten tekemiselle on mittauksen nollakohdat mittaustasossa valmiina. Mittaaminen on tärkein yksittäinen vaihe auton pyöräntuennan geometriaa tarkastellessa. Virheellisesti tehdyt mittaukset tuottavat virheellisen analyysituloksen.

3.1 Mittauspaikka

Mittausta valmisteltaessa on hyvä aloittaa mittaustason rakentamisesta. Mittausalusta voidaan valmistaa esimerkiksi 20 mm vesivanerista. Vanerin alle reunoihin voidaan asentaa jäykistävä runko. Rakenne on tehtävä vahvaksi, jotta se ei vääntyile tai elä, kun auto ajetaan sen päälle. Alustan asemointiin kannattaa käyttää apuna vesivaakaa sekä rakennuslaseria. Vaneriin voidaan merkitä sen oma keskikohta. Tätä keskikohtaa käytetään hyväksi mittauksessa asemoimalla auto levyn päälle siten, että auton keskikohta osuu levyn keskikohtaan.

Levyn leveydeksi ja pituudeksi on hyvä valita mitat, joissa auton ympärille jää vapaata tilaa. Kun levy on auton ulkomittoja suurempi, voi auton ulkomittojakin hahmottaa mitaustasoon. Tämä saattaa olla tarpeen, jos auton ulkomuotoa tullaan muuttamaan radikaalisti. On myös tärkeää tarkastella, etteivät auton mitat ylitä sääntöjen sallimia maksimiarvoja.

3.2 Auton korin mittaukset

Mittauksen voi aloittaa keskittymällä korinpuoleisten nivelpisteiden mittaamiseen. Kori on hyvä asettaa sopivankokoisten pukkien päälle normaaliin ajokorkeuteensa. Hyvää mittausvälineistöä ovat rakennuslaser, rullamitta, luotilanka, sekä apulainen mittauksessa.

Auton ajokorkeuden määrittäminen

Auton normaali ajokorkeus mitataan, kun auto on aseteltu alustansa päälle. Auto pyritään asettamaan tähän korkeuteen alustansa päälle. Normaali ajokorkeus tarkoittaa sitä ajokorkeutta, johon auto asettuu, kun se on ajokuntoinen sisältää kaikki nesteet pois lukien polttoaine, jonka määrä voi mittauksen aikana olla esimerkiksi puolet täydestä määrästä. Lisäksi auton kuljettajat on oltava korkeuden mittauksen ajan oikeilla istumapaikoillaan. Mittaus voidaan suorittaa mistä tahansa kohtaa auton kiintopisteen ja mitaustason väliltä. Mittauskohtia on kuitenkin hyvä olla kaksi, yksi edessä ja yksi takana.

Kun auto on normaalissa kilpailupainossaan, on samalla mitattava pyörien toteutuva vierintä säde eli *rolling radius*. Pyörän vierintäsäde on etäisyys navan keskeltä mitaustasoon. Jos autossa on jo tiedossa halutut staattisen tilan pyöränkulmat, on järkevää karottaa nämä arvot ensin nelipistesuuntauslaitteella. Pyöränkulmat saadaan näin helpoiten ilmoitettua ohjelmalle.

Joissain tilanteissa voi olla hyötyä, että auto asemoidaan mittausalustalla korkeammalle, kuin mitä normaali ajokorkeus on. Näin voi tehdä muun muassa siinä tilanteessa, että ulosjoustossa napa ottaa mitaustasoon kiinni, tai auton maavara on pieni. Korkeammalle autoa nostaessa jää auton alapuolelle myös paremmin tilaa suorittaa mittauksia. Jos kori on nostettu korkeammalle kuin normaali ajokorkeus, on tietysti muistettava kompensoida tämä erotus mittoja SusProg 3D:hen syötettäessä.

Akseliväli

Akseliväli mitataan etu- ja takapyörän navan keskeltä keskelle pyörät paikallaan. Akselivälin voi mitata molemmin puolin, jolloin pyöräntuennan tai korin epäsymmetrisyys voidaan havaita. Mitattua akseliväliä kannattaa myös verrata valmistajan ilmoittamaan akseliväliin. Pyöräntuennan geometriasta riippuen, mitta voi muuttua joustoliikkeen aikana.

Suurin ulosjousto

Pyöräntuennan sallima suurin ulosjousto määritetään pyörät irrotettuna siten, että napa jää vapaasti roikkumaan tukivarsien ja jousituksen varaan. Joustoliike saadaan laske-malla arvo mitatun vierintäsäteen mukaan. Vierintäsäteestä vähennetään mitattu akseli-mittaustaso -mitta, ja näin ollen saadaan matka, jonka napa on siirtynyt alaspäin. Ulos-jousto on hyvä mitata varmuuden vuoksi jokaisesta pyörästä erikseen, jolloin nähdään, onko kulmien välillä eroja.

Suurin sisäänjousto

Sisäänjouston selvittäminen vaatii auton pyöräntuennan purkamista. Tavoitteena on, että sisäänjousto rajoittaisi pohjaanlyöntikumi, eikä jousen kokoon puristuminen. Si-säänjousto voidaan yksinkertaisimmillaan mitata ainoastaan purkamalla jousi pois pyö-räntuennasta. Mikäli tämä ei ole mahdollista, on mitattava akselin normaali korkeus, jou-sien pituus kokoon puristettuna ja heilahtelunvaimentimen pituus lyhimmillään. Sisään-jousto joudutaan siis hieman laskemaan. Saatu tulos ei kuitenkaan ota huomioon, mi-käli rengas tai jokin tukivarsi ottaa koriin kiinni sisäänjousto rajoittaen.

Korin nivelpisteet

Kun edellä mainitut mitat on otettu, voidaan aloittaa tukivarsien korinpuoleisten nivelpis-teiden mittaaminen. Mittauksen onnistumiseksi on kyettävä saamaan selville nivelpis-teen keskikohta jokaisessa ulottuvuudessa. Tässä työvaiheessa tulee helpoi-ten mittavirheitä. Nivelten rakenne on tärkeä tutkia, koska oleellista on saada mitatuksi nivelen liikkeen keskipiste.

Heilahtelunvaimentimen yläkiinnitystä voi olla vaikea mitata heilahtelunvaimennin paikallaan, koska koko heilahtelunvaimennin jousineen voi olla tiellä työtä tehdessä. Mittoja ottaessa on rakennuslaserista hyötyä, laserin piirtämä viiva näyttää korin kiinnityksen ja saman kohdan mittaustasossa. On kuitenkin oltava erityisen tarkkana, että laser on koh-tisuorassa autoon valitun koordinaatiston mukaisesti. Mittausta voi helpottaa tukivarsien purkaminen, jolloin mitat voidaan ottaa tukivarsien kiinnitysreikiin. On kuitenkin koko ajan huomioitava, missä kohdassa nivelen keskikohta sijaitsee.

Ohjauslaitteet

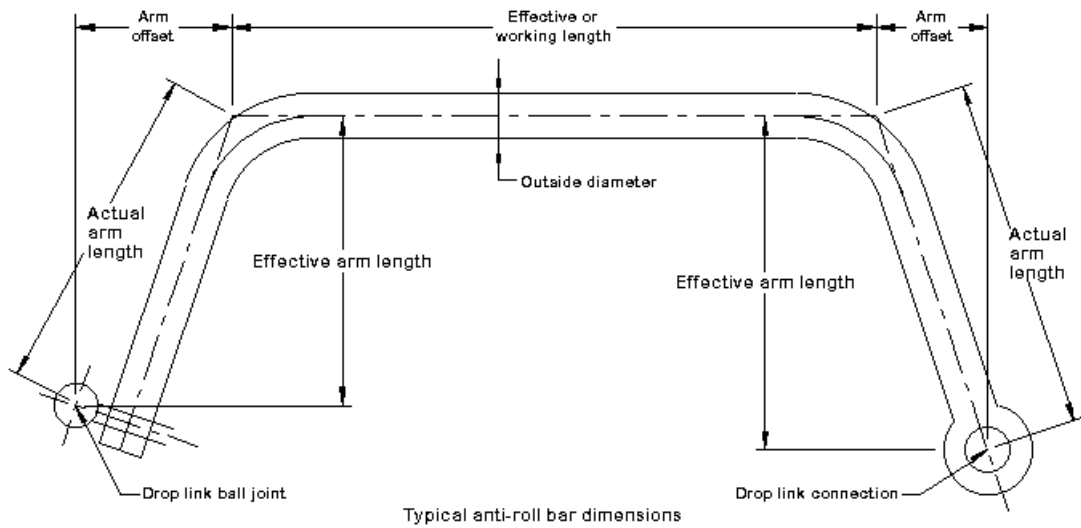
Ohjauslaitteiden mittauksessa mitataan raidetangon sisäpäässä olevien nivelien paikka. Mittauksessa ohjaus on keskellä. Samalla voidaan mitata ohjausvaihteen pituus, sisä-pään nivelien välisenä etäisyytenä.

Auton massat

Korin massan mittaukseen on hyvä olla siihen tarkoitettut kulmavaa'at. Tukivarsiston osalta mittauksessa on huomioitava, että tukivarsien massasta puolet kuuluu jousittamattomaan massaan, ja puolet jousitettuun massaan. Tukivarret onkin hyvä mitata jokainen erikseen ja kirjata niiden massat huolellisesti.

Kallistuksenvakaaja

Kallistuksenvakaajan mittaamiseen on SusProg 3D -ohjelmassa annettu omat ohjeensa. Kallistuksenvakaaja mitataan korin koordinaatistossa. Kallistuksenvakaajasta on mitattava keskiosan pituus, käännetyn osan pituus ja suuntapoikkeama (*arm offset*), sekä tangon paksuus (Kuva 1). Mikäli kallistuksenvakaajan pää ei ole suoraan kiinni tukivarressa, on myös tämän välitangon mitta otettava. Vakaaja voi olla myöskin pelkkä keskitalko, jonka päissä on kiinteästi kiinnitetyt käyttötangot, taitetun osan sijaan. Mittausperiaate on kuitenkin sama.



Kuva 1. Kallistuksenvakaajan mitat (SusProg 3D -ohjelmisto 2020a).

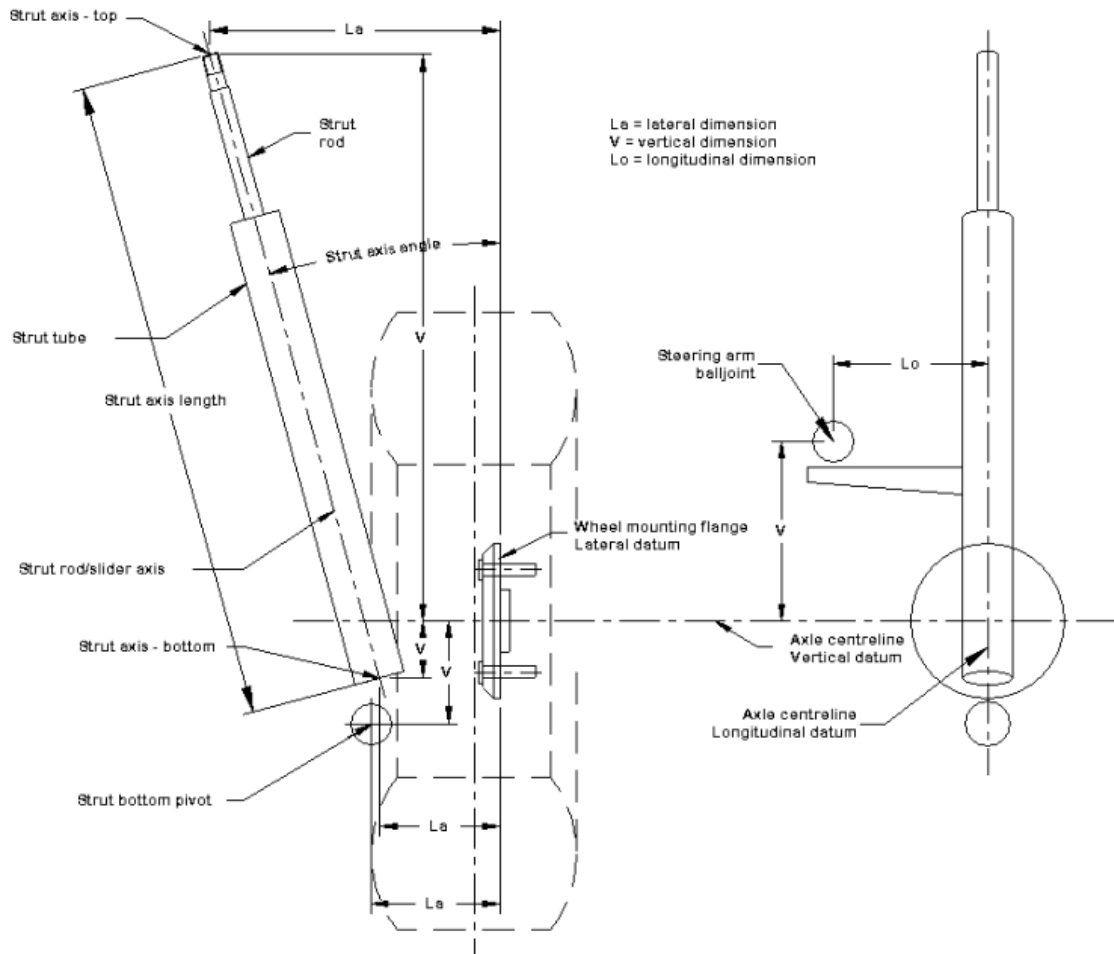
3.3 Pyöräntuennan jousittamattomien osien mittaukset

Pyöräntuennan liikkuvien osien mittaamisessa, kolmiulotteinen koordinaatisto määritellään aiemmasta poiketen, koordinaatiston nollakohta on pyörän napa. Helpointa on purkaa akselisto irti autosta. Mitatessa tukivarret ja heilahtelunvaimennin pidetään kiinni olka-akselissa. Erillistuettua etutuentaa mitatessa on suotavaa valmistaa sille mittausjigi. Mittaus tapahtuu vanteen kiinnityspintaan. Mittaukset tehdään aina ilman ns. spacer-levyjä. Mikäli autossa käytetään spaceria, ilmoitetaan se ohjelmalle erikseen. Mittausjigi voidaan valmistaa sekin vaikka vesivanerista. Jigiä valmistaessa on huomioitava, että kaikki mitattavat nivelpisteet tulevat valmistetun levyn päälle.

Ohjelma kysyy jousilaskuissa jousilautasten paikkoja. Ylemmän jousilautanen paikka mitataan heilahtelunvaimentimen yläpään kiinnitykseen ja alemman jousilautasen paikka mitataan heilahtelunvaimentimen alapäähän. Mikäli on kyseessä coilover-tyyppinen jousi, säädettävällä alapäällä, ei alalautasen mittaa välttämättä tarvitse, sillä ohjelma laskee sen. Tämä mittaus pätee niin etu- kuin takapäissäkin.

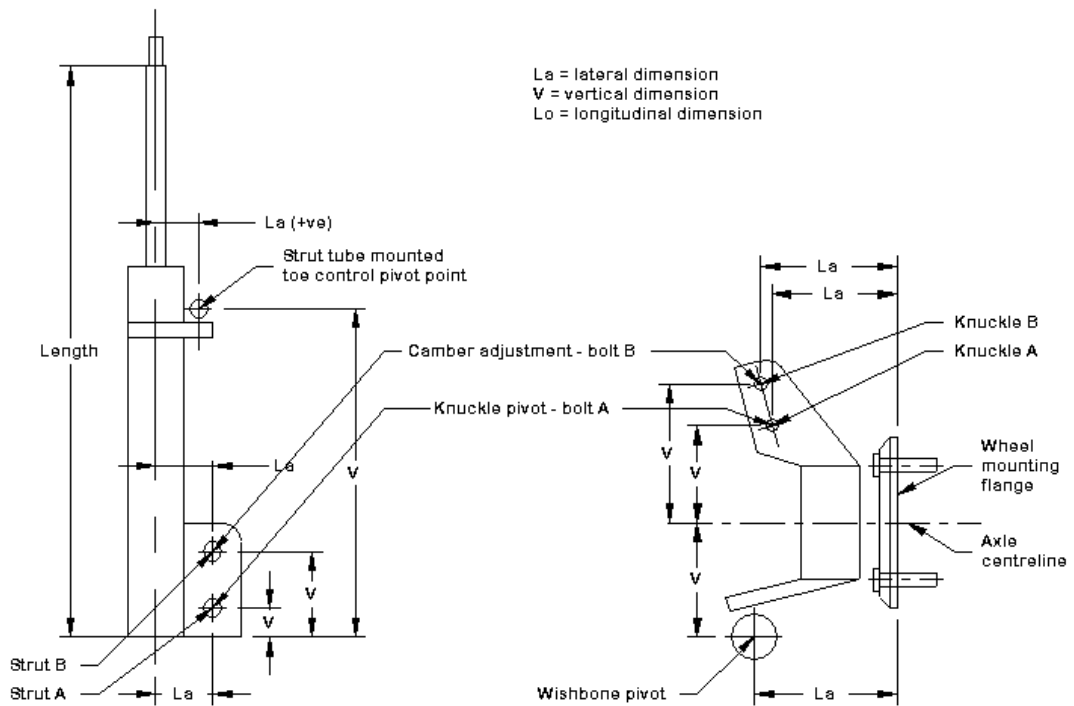
3.3.1 Etupään pyöräntuenta

MacPherson-joustintuki mitataan vanteen kiinnitystasoon. Jos olka-akseli, sekä heilahtelunvaimennin ovat kiinteästi toisissaan kiinni, jolloin camber-säätö on heilahtelunvaimentimen yläpäässä, otetaan kaikki mitat otetaan pyörän napaosaan siihen kohtaan, missä on vanteen kiinnityspinta (Kuva 2). Ohjelmassa tämä on ilmaistu tyyppinä A ja B.



Kuva 2. MacPherson-joustintuen, tyyppi A, mittausohje (SusProg 3D -ohjelmisto 2020b).

Mikäli heilahtelunvaimennin ja olka-akseli ovat toisiinsa nähden irralliset osat, mittaus suoritetaan kahdessa osiossa. Ohjelmassa tämä on ilmoitettu tyyppinä C ja D. Olka-akseli mitataan vanteen kiinnityspisteestä siten, että heilahtelunvaimentimen kiinnityspisteet olka-akselissa ovat auton sivuprojektiossa kohtisuoraan ylöspäin (Kuva 3). Heilahtelunvaimennin mitataan heilahtelunvaimentimen pohjasta ja heilahtelunvaimentimen keskilinjasta, pystyasennossa.



Kuva 3. MacPherson-joustintuen, tyyppi C, mittausohje (SusProg 3D -ohjelmisto 2020c).

Päällekkäisillä kolmiotukivarsilla varustetussa autossa olka-akselin mitat mitataan vanteen kiinnityspintaan, pyörännavan keskikohdan mukaan pysty- ja sivuprojektiossa. Heilahtelunvaimentimen alapään kiinnityksen voi mitata joko auton koordinaatiston mukaan. Kiinnityspiste on mahdollista mitata myöskin alemman tukivarren koordinaatistoon. On kuitenkin helpompaa mitata paikka auton koordinaatiston mukaan. Ohjelmasta voi valita, kummalla tavalla haluaa paikan ilmoittaa.

Jos raidetangonpää kiinnittyy olka-akseliin, mitataan se vanteen kiinnityspisteeseen mukaan. Jos taas raidetangon pää kiinnittyy heilahtelunvaimentimen runkoon, mitataan sen paikka heilahtelunvaimentimen pohjan ja keskilinjan mukaan. C-factor on ohjelman käyttämä suhdeluku, ohjauspyörän kierrosten ja raidetangon liikematkan välillä. Tässä on huomioitava, että laskettaessa käytetään ainoastaan ohjauspyörän kierroksia toiseen suuntaan. Samalla liikematka on keskikohdasta uloimpaan asentonsa.

Esim. Raidetangon liikematka on 77 mm. Ohjauspyörän kierrokset: 1,4 kierrosta.

$$C - factor = \frac{\text{iskunpituus}}{\frac{\text{ohjauspyörän}}{\text{kierrokset}}} = \frac{77 \text{ mm}}{1,4} = 55$$

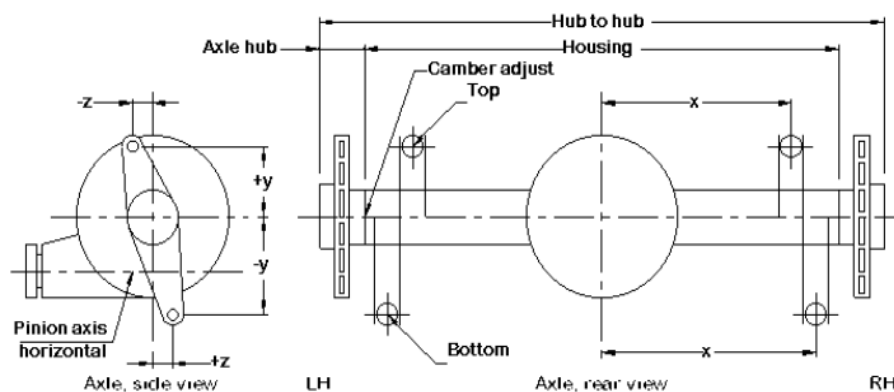
Kaava 1. Ohjauksen C-factor.

3.3.2 Takapään pyöräntuenta

Jäykän taka-akselin mittaukset eroavat erillistuetuista rakenteista. Erillistuetuissa rakenteissa tuennan mittaus on periaatteeltaan samanlainen, kuin etutuennoissa. Pälletkällä kolmiotukivarsilla varustetussa autossa, annetaan mitat ainoastaan olka-akselin osalta, jolloin X-akselin nollakohtana käytetään vanteen kiinnityspintaa, samoin kuin oli etupäässäkin.

Jäykän taka-akselin osalta X-akselin nollakohtana käytetään akselin keskikohtaa. Tähän voi olla vaikea mitata tarkasti useita mittoja, mutta mittauksessa voi käyttää laseria apuna. Mittaamalla vanteiden kiinnitystasojen välinen etäisyys, ja sen avulla laskemalla keskikohta, saadaan laskennallisesti mitat muutettua akselin keskikohtasta lähteväksi. Myös akselissa kiinni olevien kiinnikkeiden välinen etäisyys on mahdollista mitata, mutta silloin on varmistuttava, että kiinnikkeet ovat symmetrisesti akselissa kiinni. Ohjelmalle ilmoitetaan mitat molempiin suuntiin positiivisina.

Jäykässä taka-akselissa Y-akselin nollakohtana käytetään akselin horisontaalista keskikohtaa. Positiivinen suunta on akselin tason yläpuolella, negatiivinen alapuolella. Z-akselin nollakohtana käytetään akselin vertikaalista leikkauslinjaa. Negatiivinen suunta on vetävällä taka-akselilla pinion-akselin määräämä linja ja positiivinen suunta on akselin takapuolella (Kuva 4). Tämä siis, kun katsotaan akselia vasemmalta puolelta.

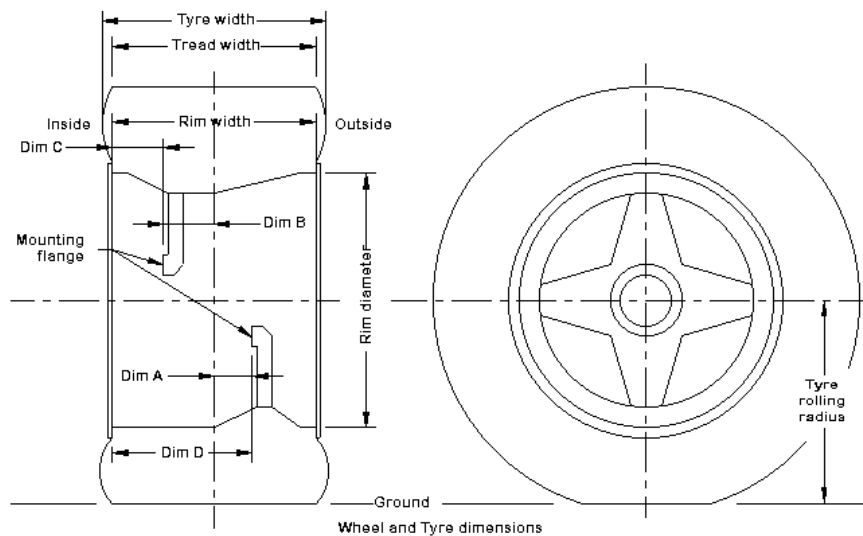


Kuva 4. Vetävän jäykän taka-akselin mittausohje (SusProg 3D -ohjelmisto 2020d).

3.3.3 Pyörät

Pyörän koko ja mitoitus vaikuttaa pyöräntuennan toimintaan. Keskeisiä mittoja pyöräntuennan kannalta on vanteen halkaisija, leveys ja sen offset-mitta. Valmistaja yleensä ilmoittaa kyseiset tiedot, joten niitä ei tarvitse mitata kuin vain tarkistusmielessä. Renkaasta ei sitten olekaan saatavilla tarkkoja mittatietoja, vaan ne joudutaan mittaamaan itse. Tässä ei riitä, että ohjelmalle ilmoittaisi pelkän renkaan kokomerkin. Renkaasta otettavat mitat on esitetty oheisessa kuvassa (Kuva 5). On huomioitava, että kulutuspinnan leveys ja renkaan suurin leveys ovat kaksi eri mitta. Hyödyksi voi olla pitkäleukainen työntömitta, mutta hyvään tulokseen päästään myöskin rullamitan kanssa.

Renkaasta olisi myös hyvä tietää renkaan jousivakio. Jousivakioon kuitenkin vaikuttaa suuresti esimerkiksi renkaassa käytetty täyttöpaine. Jos renkaan jousivakiota ei ohjelmalle ilmoiteta, oletetaan se joustamattomaksi.



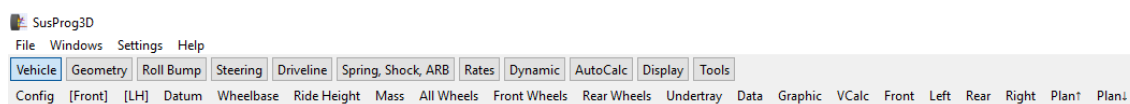
Kuva 5. Renkaan mittaukset (SusProg 3D -ohjelmisto 2020e).

4 SUSPROG 3D -OHJELMAN KÄYTTÄMINEN

4.1 Ohjelman perustiedot

Kaikki kuvat tietoruuduista ja ohjelman käytöstä on otettu kuvakaappauksina SusProg 3D -ohjelmistosta.

Tässä kappaleessa käydään lähtötietojen syöttö ohjelmaan. Aloitusnäkyvä ohjelmassa on tyhjä ruudukko, jonka keskellä on musta piste. Tämä piste on koordinaatiston nolla-kohta. Ikkunan yläreunassa näkyy erilaisia välilehtiä, joita selaamalla päästään syöttämään ohjelmalle dataa (Kuva 6).



Kuva 6. Yläpalkki ja siinä näkyvät painikkeet.

Seuraavassa lyhyesti esittely, mitä välilehdiltä löytyy:

- *Vehicle*: pyöräntuennan perustiedot, renkaiden koot, massat, korin asento ja sijainti.
- *Geometry*: pyöräntuennan rakenteet, korin kiinnityspisteet, akseliston puoleiset kiinnityspisteet, kallistuskeskiö, tukivarsien pituudet, joustoliikkeen rajoitukset, raideväli ja akseliväli.
- *Roll Bump*: auton joustoliikkeen laskentaa.
- *Steering*: ohjausvaihteen sijainti, raidetankojen pituudet sekä pyörien kääntökulmat.
- *Driveline*: vetävien akseleiden asetukset, kampiakselin ja kardaanin sijainti
- *Spring, Shock, ARB*: jousien suureet ja sijainnit, sekä kallistuksenvakaajan asetukset.
- *Rates*: Näyttää kootusti jousitukseen vaikuttavia arvoja.
- *Dynamic*: laskee auton parametreja liikkeen aikana, muilla välilehdillä tulokset ovat staattisista tilanteista.
- *AutoCalc*: laskee automaattisesti haluttuja arvoja, suurempina kokonaisuuksina.
- *Display*: ohjelman graafisuuden valintoja.

- *Tools*: työkaluja auton käyttäytymisen mallintamiseen, ja tulosten ulos ottamiseen.

Tässä työssä käytetään ylemmästä rivistä nimitystä "välilehti", ja näiden alta löytyvistä vaihtoehdoista nimitystä "ikkuna".

Aluksi avataan *Settings*-alasvetovalikko ja valitaan sieltä kohta *Unit*. Tämä avaa ikkunan, josta voidaan valita *Metric* tai *Imperial*. *Metric* esittää käytetyt mitat SI-järjestelmän mittoissa ja vastaavasti *Imperial* käyttää brittiläistä mittajärjestelmää.

Motion ratio -kohdasta voidaan valita, ilmoitetaanko pyörän liikkeen suhdeluku pyörän suhteena heilahtelunvaimentimen liikkeeseen, vai heilahtelunvaimentimen suhteena pyörän liikkeeseen. Esimerkiksi sama liike:

Pyörän liike heilahtelunvaimentimen liikkeeseen: pyörä liikkuu ylöspäin 25 mm ja heilahtelunvaimennin 20 mm:

$$\frac{\text{Pyörän liike}}{\text{Heilahtelunvaimentimen liike}} = \frac{25 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} = 1,25$$

Kaava 2. Pyörän liikkeen suhde heilahtelunvaimentimen liikkeeseen.

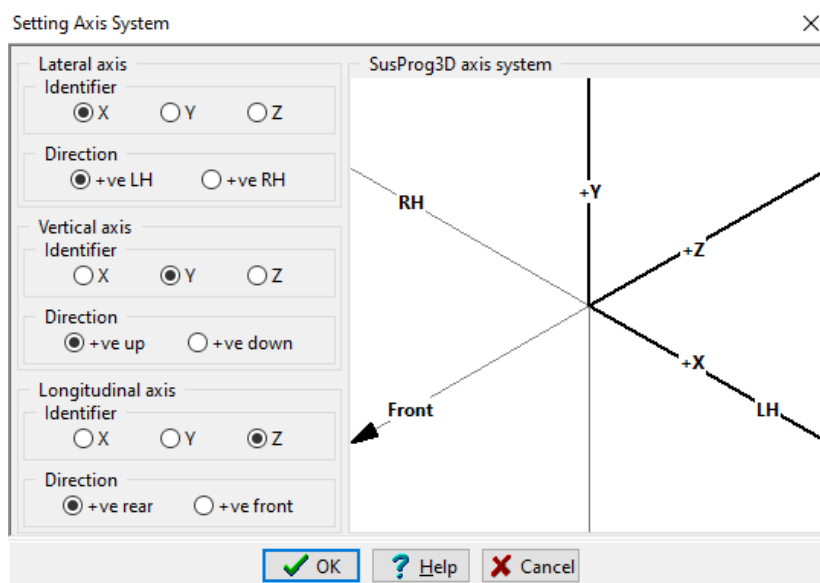
Heilahtelunvaimentimen liike pyörään: heilahtelunvaimennin liikkuu ylöspäin 20 mm ja pyörä 25 mm:

$$\frac{\text{Heilahtelunvaimentimen liike}}{\text{Pyörän liike}} = \frac{20 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} = 0,8$$

Kaava 3. Heilahtelunvaimentimen liikkeen suhde pyörän liikkeeseen.

Tulosta hyödynnetään heilahtelunvaimentimen laskuissa. Tässä työssä on käytetty ensimmäistä vaihtoehtoa eli pyörän liikkeen suhdetta heilahtelunvaimentimen liikkeeseen.

Settings-valikolta saadaan myöskin valittua *axis system*, joka avaa ikkunan (Kuva 7), jossa päästään valitsemaan koordinaatiston akselien nimet, sekä positiivinen suunta.



Kuva 7. Koordinaatiston määrittäminen.

Tässä työssä käytetään seuraavanlaisesti akseleita:

- Korkeus: Y-akseli, nollakohta maanpinnassa, positiivinen suunta ylöspäin.
- Leveys: X-akseli, nollakohta auton raideleveyden keskikohdassa, positiivinen suunta vasemmalle.
- Pituus: Z-akseli, nollakohta etuakselin keskilinja renkaat paikallaan, positiivinen suunta akselista taaksepäin.

Nämä koordinaatiston määrittelyt on syytä muistaa autoa mitatessa, jotta mitatessa ja laskentaohjelmaa käyttäessä on käytössä varmasti sama koordinaatisto.

Wheel mounting flange -valikossa määritellään miten vanteen kiinnityspinnan paikka ilmoitetaan vanteen ulkomittoihin nähden. Vaihtoehtoina on:

- *Offset*: vanteen kiinnityspinnan sijainti vanteen keskiosasta, positiivinen suunta kun keskiö on ulospäin vanteen keskilinjasta.
- *Inset*: vanteen kiinnityspinnan sijainti vanteen keskiosasta, positiivinen suunta kun keskiö on autoon päin vanteen keskiosasta.
- *Backset*: vanteen kiinnityspinnan sijainti vanteen ulkoreunasta, kaikki mitat positiivisia.

Työssä käytetään *Offset*-valintaa.

Settings-välilehdeltä valitaan aurauksen ilmoittamiseen käytetty periaate, *wheel toe measurement*, sekä haluttu yksikkö, *angular units*. *Wheel toe measurement* -kohdassa vaihtoehtoina on *degree* tai *offset & length*. *Degree*-asetuksella mitat syötetään suoraan aurauksen kulmamittana. *Offset & length* -asetuksella aurauksen ilmoitetaan referenssimittana ja aurauksen poikkeamana tässä mitassa. Työssä käytetään helpommin ymmärrettävää ja yleisesti käytössä olevaa, *degree*-asetusta.

Esitystapa voidaan valita *angular units* -valikosta, ja vaihtoehtoina on *DD.dd decimal degree*, sekä *DD°MM' degree minute*. Erona näillä on, että ensimmäisessä käytetään asteita ja desimaaleja, esimerkiksi $1,1^\circ$. Toisessa käytetään asteita, minuutteja ja sekunteja, esimerkiksi sama asteluku on $1^\circ 06'$. Tässä työssä käytetään asteita ja desimaaleja.

Settings-valikon *Display*-kohdasta, voidaan valita ruudukon tiheys, ruudukon väri sekä taustaväri. Taustaväri kannattaa valita vaaleaksi, jolloin ohjelman antamat pisteet erottuvat selkeästi. Ohjelmassa on valmiina asetuksena valkoinen, jota ei siis tarvitse muuttaa.

Näillä perusasetuksilla ohjelman käyttö on helpompaa, kun käytössä on muuallakin yleisesti käytössä olevat arvot ja niiden esittämistavat. Ohjelman jokaisella sivulla esiintyy muutamia näppäimiä, jotka ovat: *Front*, *Left*, *Rear*, *Right*, *Plan*↑ sekä *Plan*↓. Näppäimillä voidaan muuttaa katsantoa, mistä autoa tarkastellaan. Jokaisella sivulla on myös *[Front]/[Rear]*-näppäin, josta painamalla saadaan annettua tiedot joko etu- tai takapäähän osalta. Välilehden vaihtoehdot muuttuvat tämän valinnan mukaan joillain välilehdillä. *[LH]/[RH]* näppäimellä saadaan valittua joko auton oikea, tai vasen puoli. Kun nivelpisteiden koordinaatteja syötetään ohjelmaan, on lähes jokaisessa ikkunassa valintaruutu, jolla toinen puoli voidaan määrätä symmetriseksi. Näin ollen ei samoja tietoja tarvitse täyttää molemmille puolille erikseen.

Laskentatoimintoja (*Calc*) on kolme seuraavasti:

- *VCalc*: laskee koko auton uudestaan.
- *ECalc*: laskee ainoastaan autosta etu- tai takapäähän, sen pään, joka on sillä hetkellä valittuna.
- *Calc*: taas laskee ainoastaan sen hetkisen välilehden.

Tietoja syöttäessä ja muuttaessa on muistettava painaa *Apply*-näppäintä, ja sen jälkeen *OK*-näppäintä, joka sulkee ikkunan. Tämän jälkeen käytetään tilanteeseen sopivaa *Calc* -näppäintä. *VCalc*-näppäintä käytettäessä voi ongelmana olla, ettei joitain ominaisuuksia

ole ohjelmaan syötetty, ja ohjelma ei pysty tekemään kaikkia laskuja. Sitä kuitenkin voidaan käyttää, kun kaikki tarvittavat tiedot on syötetty, ja muutetaan jo annettuja arvoja.

Display-välilehdellä on ohjelman graafiseen esitykseen liittyviä valintoja. *Control*-ikkunasta saadaan säädettyä auton jousitusta, korin kallistumaa ja ohjauskulmaa, jolloin voidaan graafisesti tarkastella pyörien ja tukivarsien liikettä. Ikkunasta voi valita, mitä osia ja ominaisuuksia haluaa saada näkyviin. Ikkunan alalaidassa näkyy *camber*, *caster* sekä *aurauskulma* asetetulla hetkellä. *ECalc*-ikkunasta voidaan laskea joko etu- tai takapäin kaikki, tai valitut osa-alueet. *[Full]*-näppäimestä saadaan valittua graafisen esityksen tyyli, joko piirretyt tukivarret, tai ainoastaan mustat viivat osoittamassa tukivarsia. *[Grid]*-näppäimellä saadaan taustan ruudukko joko näkyviin, tai piilotettua. *[Hold]*-näppäimellä valitaan, pitääkö graafinen näyttö itsensä paikallaan, kun suoritetaan *Calc*-toimintoja. Mikäli valitaan *[NoHold]*, ohjelma palauttaa graafisen esityksen etuprojektioon, jossa tuenta/akselisto sovitetaan ruudun kokoon. *[Both]*-näppäintä painettaessa voidaan valita näkyviin, joko molemmat puolet, taikka oikea ja vasen puoli yksitellen. *[Chassis/Wheel]*-näppäimestä valitaan, onko autoa nostettaessa tai laskettaessa kori vai pyörät paikallaan. *Reset*-näppäin palauttaa graafisen esityksen normaaliin etukuvaukseen. *Print*-näppäimellä voidaan muuttaa graafinen kuva kyseiseltä hetkeltä joko pdf-tiedostoksi, tai tulostaa tulostimella.

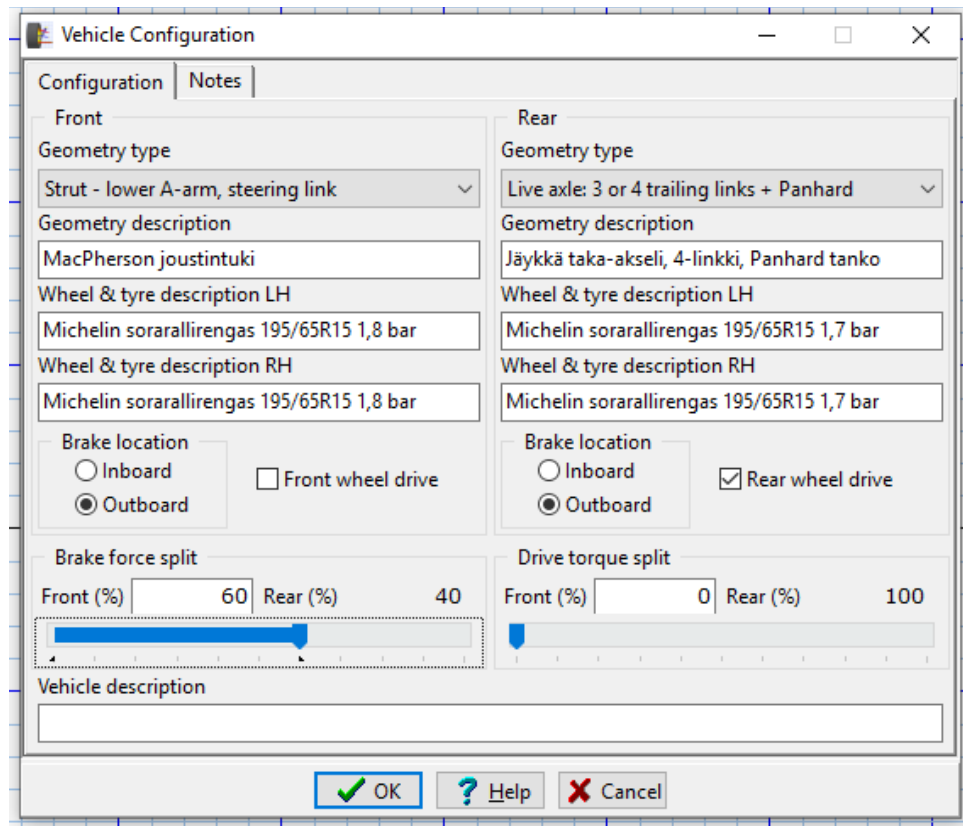
Ohjelman *Help*-kansiot ovat hyvin kattavia. *Help*-kansioista löytyy ohjeet niin mittamiinseen kuin tietojen syöttöönkin. *Help*-kansiossa on myöskin selitykset jokaiselle välilehdelle ja niiden käytölle. Loppupäästä löytyvä *Technical and implementation notes* -kansio on täynnä ohjelman käyttöön liittyviä vinkkejä. Sieltä löytyy selvityksiä esimerkiksi ohjelman laskemiin anti-ominaisuuksiin ja niiden arvoihin. *Help*-kansion käyttö helpottaa huomattavasti ohjelman ymmärtämistä.

4.2 Tietojen syöttäminen

Tietojen syöttäminen on jaoteltu eri välilehdille. Kuitenkin joillain välilehdillä on tietojen syötössä päällekkäisyyksiä. Tämä kuitenkin helpottaa ohjelman käyttöä, sillä jos halutaan muuttaa jotain tiettyä osa-aluetta, ja tarkastella sen vaikutusta pyöräntuennan toimintaan, on se helpoin tehdä kyseisen aihepiirin välilehdeltä, mille on kerätty kaikki siihen liittyvät tietoikkunat. Tässä kappaleessa käydään läpi pääsääntöisesti tietojen syöttö MacPherson-etujousitukselle, sekä jäykälle, vetävälle akselille. Mukana on myös joitain huomioita päällekkäiselle kolmiotukivarsituennalle.

4.2.1 Vehicle

Tässä kappaleessa käydään läpi autonperusrakenteen syöttäminen ohjelmaan. Aloite-
taan *Vehicle*-välilehdeltä. Ensimmäinen näppäin yläpalkissa, on *Config*. Tässä ikku-
nassa ilmoitetaan ohjelmalle auton peruskonstruktio (Kuva 8).

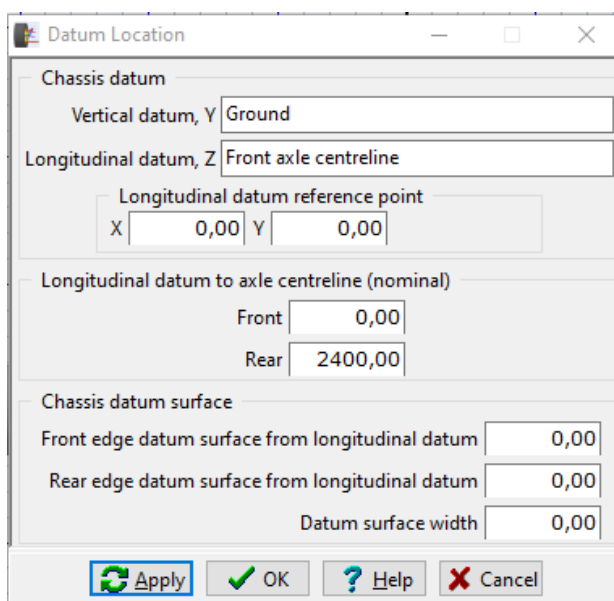


Kuva 8. Auton konstruktion asetukset.

Tässä tapauksessa käytetään etuakselilla vaihtoehtoa *Strut, lower A-arm, steering link*. Tällä tarkoitetaan siis MacPherson-joustintukea. Taakse valitaan alasetoalikoista *Live axle 3 or 4 trailing links + Panhard*. Tällä tarkoitetaan jäykkää vetävää taka-akselia, 3 tai 4:llä tukivarrella, jotka ovat akselin etupuolella sekä Panhard-tanko. Eri tuentavaihtoehtoja löytyy useita, ja ne on koottu taulukkoon (Liite 3).

Ikkunan *Description*-ruutuihin voi syöttää tietoja pyöräntuennasta ja renkaista. Nämä tiedot eivät kuitenkaan vaikuta ohjelman käyttäytymiseen, vaan ovat enemmänkin muistiinpanoja. Sivun alalaidassa on mahdollisuus ilmoittaa ohjelmalle jarrutasapainosta, sekä vedon jakautumisesta etu- ja taka-akselin välille. Toisella välilehdellä, *Notes*-kohdassa, voi kirjoittaa muistiinpanoja vapaamuotoisesti enemmän.

Seuraavana avataan *Datum*-ikkuna (Kuva 9). Tässä ikkunassa määritellään nollakohtien paikat. Ensimmäiset kaksi ovat vain nollakohdan nimeämistä varten. Kuten jo mittausluvussa käytiin läpi, on Y-akselin nollakohta maatasossa, tai tässä tapauksessa mittaus-
 tasossa. Pitkittäisen Z-akselin nollakohdaksi valittiin etuakselin akselilinja, kun auto on normaalissa ajokorkeudessaan. *Longitudinal datum reference point* -kohtaan voidaan määrittellä pitkittäisakselin sijainti auton sivu- ja pystysuunnassa. Kuitenkin akseli katsotaan sijaitsevaksi leveyssuunnassa akselivälin puolivälissä, ja korkeussuunnassa maan tasossa. Näin ollen molemmat kohdat jätetään nollassi.



Kuva 9. Datum-ikkuna.

Longitudinal datum to axle centerline -kohtaan on tarkoitus ilmoittaa akselilinjan poikkeama pituusakselin nollakohdasta. Koska se sijaitsee etupään akselilinjalla, voidaan *Front*-ruutu jättää nollassi. *Rear*-ruutuun ilmoitetaan taka-akselin etäisyys Z-akselin nollakohdasta. Syötetään tässä akseliväliksi esimerkinomaisesti 2400 mm.

Chassis datum surface -kohta voidaan jättää tyhjäksi käytettäessä maanpintaa nollakohtien sijaintina. Jos nollakohtina taas käytetään korin pisteitä, esimerkiksi jokin pyöräntuennan nivelpiste, tai helmalinja, täytetään tähän korin ääripäiden sijainnit. Ensimmäiseen kohtaan etupään etummainen osa, toiseen takapäähän takimmainen ja kolmanteen leveys suurimmillaan.

Wheelbase-ikkuna näyttää ainoastaan lasketun akselivälin. Tämä mitta muuttuu, jos esimerkiksi tukivarsien mittoja muutetaan. Luku on siis laskennallinen suure ohjelmalle syötetyistä tiedoista.

Ride height eli ajokorkeus-ikkunasta (Kuva 10) löytyvät tiedot korin asemalle. Ensimmäisenä valitaan, montako pistettä halutaan määrittää. Tässä voidaan käyttää ensimmäistä vaihtoehtoa, jolloin ohjelmalle ilmoitetaan vasemmalta yksi piste etuosasta, ja toinen ta-kaosasta. Tässä voidaan käyttää korin alinta osaa, tai vaikka helmakotelon sijaintia. Mit-tauskohdan koordinaatit ilmoitetaan ohjelmalle. Neljäntenä ruutuna on ajokorkeuden määrittäminen. Mittauspaikat on hyvä merkitä auton koriin, jotta tulevaisuudessa korin muutostöissä, korin asemoiminen alustalleen helpottuu.

The screenshot shows a software dialog box titled "Ride height". It is divided into several sections:

- Ride height reference points:** A group of eight radio buttons for selecting reference points. The first option, "Single point front LH, single point rear LH (no side rake)", is selected.
- Front ride height LH:** A section with two sub-sections: "Location (chassis datum)" and "Static (from ground)". The location fields are X: 610,00, Y: 195,00, Z: 400,00. The static field is 195,00.
- Rear ride height LH:** A section with two sub-sections: "Location (chassis datum)" and "Static (from ground)". The location fields are X: 610,00, Y: 210,00, Z: 2100,00. The static field is 210,00.
- Buttons:** At the bottom, there are four buttons: "Apply" (with a refresh icon), "OK" (with a checkmark icon), "Help" (with a question mark icon), and "Cancel" (with an X icon).

Kuva 10. Ajokorkeusikkuna ja -arvot.

Tässä tapauksessa, kun auto on keskellä mittaustasoa, ei ole tarvetta määritellä molempia puolia autosta, sillä sivuttaissijainti mittaustasoon nähden on sama molemmin puolin. On kuitenkin varmistuttava, että kynnyksoteloiden etäisyys auton keskilinjalta on identtinen.

Seuraavana syötetään auton massat (Kuva 11). Ensimmäiseen kohtaan *Corner weights (unsprung)*, merkitään siis auton jousittamaton massa jokaiseen kulmaan. Hyvin harvoin auton massanjakaumat ovat esimerkiksi vasemmalla ja oikealla puolella samat tai edes samaa suuruusluokkaakaan. Ikkunan oikealla reunalla *Corner Weights (vehicle)* -kohtaan ilmoitetaan auton massat kulma kerrallaan.

Näistä tiedoista kone laskee auton painojakauman vasen/oikea sekä etu/takapuolella. Tässä esimerkkitapauksessa painojakauma on 52% edessä ja 48% takana.

Alimpaan vapaaseen ruutuun täytetään auton massakeskipisteen korkeus. Tässä tilanteessa on arvioitu massakeskipisteen korkeudeksi n. 1/3 auton korkeudesta.

Corner weights (unsprung)		Corner weights (vehicle)	
LH	RH	LH	RH
Front	33,000 kg	33,000 kg	250,000 kg
			26,04 %
Rear	63,000 kg	61,000 kg	230,000 kg
			23,96 %
		Total vehicle mass 960,000 kg	

Front		Left side	
Total unsprung	66,000 kg	Total unsprung	96,000 kg
Total sprung	434,000 kg	Total sprung	384,000 kg
Total	500,000 kg	Total	480,000 kg
Distribution	52,08 %	Distribution	50,00 %

Rear		Right side	
Total unsprung	124,000 kg	Total unsprung	94,000 kg
Total sprung	336,000 kg	Total sprung	386,000 kg
Total	460,000 kg	Total	480,000 kg
Distribution	47,92 %	Distribution	50,00 %

Centre of Gravity			
Vehicle			
X	0,00	Y	540,00
Z	1150,00		
Chassis (sprung mass) [RH]			
X	-1,86	Y	598,48
Z	1047,27		
Chassis (sprung mass) datum coordinates [RH]			
X	-1,86	Y	598,48
Z	1047,27		

Kuva 11. Massat syötettynä.

All Wheels -välilehdellä (Kuva 12) annetaan pyörien mitat. Jos autossa on samankokoiset pyörät etu- ja taka-akselilla, voidaan käyttää *All Wheels* -ikkunaa. Jos etu- ja takapään rengastus on eri, ilmoitetaan ensin etupään pyörien mitat (*Front Wheels*), ja sen jälkeen takapään pyörien mitat (*Rear Wheels*).

Kuva 12. Renkaiden mitat.

Ensimmäiset kolme kohtaa ovat vanteen mittoja, ja ne onkin helpompi ilmoittaa tuumamittoina. Vanteiden mitoitus on yleensä ilmoitettu tuumakoossa. Tässä tapauksessa vanteen koko on 6J15” ET 17. Halkaisija ja vanteen leveys ilmoitetaan tuumina, ET eli *offset*-mitta taas ilmoitetaan millimetreinä

Alemmassa *Tyre*-osiossa ilmoitetaan renkaan mitat. Nämä mitat ovat siis renkaasta mitattavia, eikä niitä pidä sekoittaa renkaassa oleviin nimellismittoihin. Ensimmäiseen kohtaan merkitään kulutuspinnan leveys, toisena renkaan leveys leveimmästä kohdastaan, kolmantena renkaan vierintäsäde ja neljäntenä renkaan kokonaishalkaisija. Viides kohta on renkaan jousivakio. Jos kohdan jättää tyhjäksi, ohjelma olettaa renkaan olevan joustamaton. Näin ei kuitenkaan todellisuudessa ole, joten heilahtelunvaimennusta suunniteltaessa on myös renkaan jousivakio huomioitava.

Viimeisessä kohdassa ilmoitetaan mahdollinen levikepala eli spacer vanteen ja navan välissä. Mikäli spacer on ainoastaan etu- tai taka-akselilla, täytetään sen tiedot seuraavana yläpalkissa olevaan kohtaan *Front Wheels* tai *Rear Wheels*. *Description*-kohtaan voidaan lisätä tietoja renkaasta sanallisesti.

Undertray-ikkunaan (Kuva 13) voidaan halutessa lisätä tiedot auton pohjasta. Ohjelmalle kerrotaan kohdat, missä pohjalevy sijaitsee X, Y ja Z koordinaatteina, kolmesta pisteestä.

Painamalla raksin *RH identical* -kohtaan, tekee ohjelma symmetrisen pohjalevyn auton alle. *Front*-kohdassa tarkoitetaan auton etuakselinjan etupuolella olevaa osaa, tähän voidaan käyttää esimerkiksi puskurin alalaidan koordinaatteja ajokorkeudessa. Keski-osan tietoihin voidaan käyttää auton helman korkeutta. Takaosaan voidaan pisteinä käyttää esimerkiksi korin alinta kohtaa, esimerkiksi takadiffuusorin tai puskurin sijaintia. Jokainen osa määritellään neljästä pisteestä, eli etu- ja takareunasta, vasemmalta ja oikealta puolelta. Ohjelma tekee näiden pisteiden välille tason, jota voidaan käyttää arvioimaan, onko pohjakosketus mahdollinen joustoliikkeiden aikana. Pisteet onkin hyvä valita auton alimpien osien mukaan. Tasot voivat olla myöskin limittäin.

Front undertray reference, Front			Front undertray reference, Rear		
X	350,00	Y	190,00	Z	-450,00
X	350,00	Y	210,00	Z	450,00
Centre undertray reference, Front			Centre undertray reference, Rear		
X	610,00	Y	210,00	Z	450,00
X	610,00	Y	210,00	Z	2000,00
Rear undertray reference, Front			Rear undertray reference, Rear		
X	400,00	Y	210,00	Z	2000,00
X	400,00	Y	210,00	Z	3500,00

RH identical

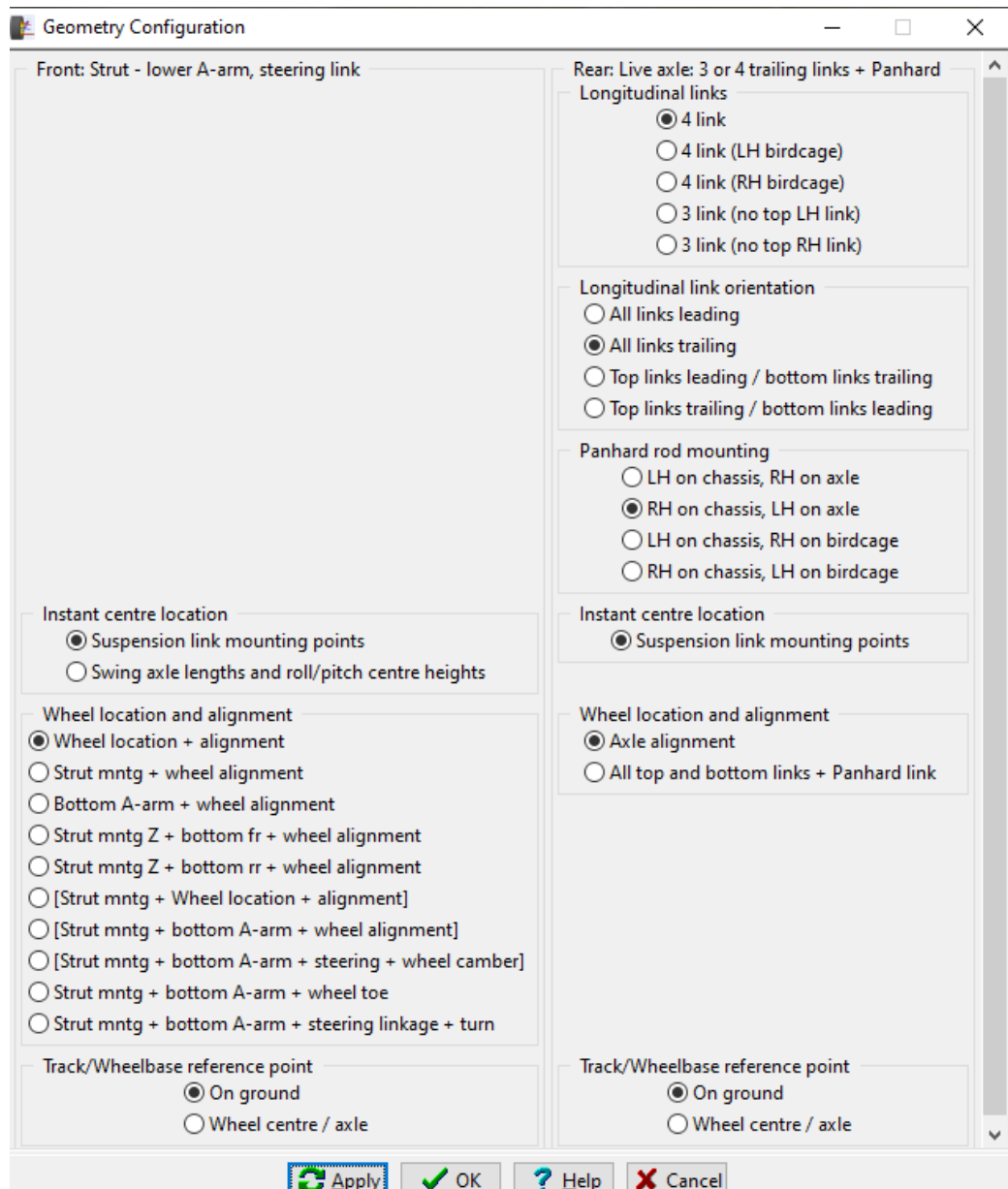
Apply OK Help Cancel

Kuva 13. Auton pohjalevyn mitat.

Data-näppäin avaa ikkunan, josta voidaan tulostaa auton mitat koordinaatteina. Tässä vaiheessa tätä ei tarvitse tehdä, sillä juurikaan mitään mittoja ei ole autosta vielä esitetty. Kuitenkin tästä ominaisuudesta on hyötyä esimerkiksi, jos autoa rakentaessa halutaan korin kiintopisteiden mitat paperille, ettei tallissa tarvitse käyttää tietokonetta. *Graphic*-kohdasta voidaan tulostaa näytöllä näkyvä kuva.

4.2.2 Geometry

Geometry-välilehden ensimmäinen ikkuna on *Config* (Kuva 14). Tässä ikkunassa määritetään ohjelmalle, mitä tietoja ohjelmalle halutaan ilmoittaa. Vasemmalla puolella ikkunaa ovat etupään vaihtoehdot, ja oikealla puolella takapäätä koskevat vaihtoehdot.



Kuva 14. *Geometry Configuration* -ikkuna.

Aloitetaan etupäästä, jonka jälkeen käydään tämän ikkunan takapäätä koskevat kohdat. Ikkunoita selatessa on seuraavana kohtana *[Front]*-näppäin, jota painettaessa saadaan näkyviin *[Rear]*. Käydään kaikki ikkunat ensin läpi *[Front]*-asetuksella, ja sen jälkeen samat kohdat takapäin osalta *[Rear]*-valinnalla. Käydään siis ensimmäisenä läpi *Vehicle|Config* -ruutu kokonaisuudessaan läpi ja sen jälkeen ikkuna kerrallaan etupään osalta.

Instant Centre location -ruudussa on vaihtoehdot kallistuskeskiön sijainnin määrittämiselle. *Suspension link chassis mounting points* -valinnalla ohjelmalle ilmoitetaan kaikki

pyöräntuennan korinpuoleisten nivelien kiinnityspisteet. Näiden nivelpisteiden avulla ohjelma laskee kallistuskeskiöiden sijainnin, sekä anti-ominaisuudet. *Swing axle lengths and roll/pitch centre heights* -valinnalla ohjelmalle ilmoitetaan haluttu kallistuskeskiöiden korkeus tai heiluriakselien pituus. Lisäksi ohjelmalle on ilmoitettava tukivarsien sijainti Z- ja X-akselin suhteen. Kallistuskeskiöstä ilmoitetaan etuprojektiossa korkeus, ja sivupoikkeama keskilinjasta. Sivupoikkeama on staattisessa tilassa nolla, mikäli pyöräntuenta on symmetrinen.

Seuraava kohta *Geometry Config* -ikkunassa on *Wheel location and alignment*. Tässä määritellään, miten auton tiedot halutaan ohjelmalle ilmoittaa. Eri pyöräntuentatyypeillä ikkunan vaihtoehdot vaihtelevat. Nämä vaihtoehdot koskevat MacPherson-joustintukea:

- *Wheel location + alignment*: Ohjelmalle kerrotaan pyörän navan sijainti, sekä halutut pyöränkulmat. Ohjelma laskee tällä asetuksella heilahtelunvaimentimen yläpään kiinnityksen sekä tukivarsien pituudet.
- *Strut mounting + wheel alignment*: Ohjelmalle ilmoitetaan heilahtelunvaimentimen yläpään sijainti sekä halutut pyöränkulmat. Ohjelma laskee akselin sijainnin sekä tukivarsien pituuden.
- *Bottom A-arm + wheel alignment*: Ohjelmalle ilmoitetaan alatukivarren nivelpisteiden sijainti, tukivarsien pituus sekä halutut pyöränkulmat. Ohjelma laskee heilahtelunvaimentimen yläpään sijainnin pyöränkulmien perusteella. Tätä vaihtoehtoa käytettäessä on tärkeää, että heilahtelunvaimentimen yläpää on säädettävissä, niin camberin kuin casterinkin osalta.
- *Strut mounting Z + bottom fr + Wheel alignment*: Ohjelmalle annetaan heilahtelunvaimentimen yläpään sijainti Z-akselin suhteen, alatukivarren molemmat korinpuoleiset nivelpisteet, alatukivarren edellä olevan tukivarren pituus sekä pyöränkulmat. Tätä vaihtoehtoa voidaan käyttää, jos autossa on säädettävä heilahtelunvaimentimen yläkiinnitys camberin osalta sekä säädettävä alatukivarren takanivel casterin säätöön.
- *Strut mounting Z + bottom rr + Wheel alignment*: Säädot ovat samat kuin edellisessä kohdassa, mutta alatukivarressa säädön on oltava edellä olevan nivelen yhteydessä. Joten taaemman alatukivarren mitta on tiedettävä.

Hakasulkein merkityt vaihtoehdot mahdollistavat pyöränkulmien ja heilahtelunvaimentimen yläpään paikallaan pysymisen, näitä ei siis ohjelma ala itsestään säätämään. Näitä

vaihtoehtoja kannattaa käyttää, mikäli autossa ei ole säädettävää heilahtelunvaimentimen yläkiinnitystä.

- *[Strut mounting + track + wheel alignment]*: Ohjelmalle kerrotaan heilahtelunvaimentimen yläpään paikka, alatukivarren korinpuoleiset sijainnit, pyöränkulmat sekä akseliväli. Alatukivarren pituudet, heilahtelunvaimentimen kulma olka-akseliin nähden sekä akselin sijainti Z-akselin suhteen ohjelma laskee. Tätä vaihtoehtoa voidaan käyttää, mikäli auton camber-säätö on heilahtelunvaimentimen alapäässä.
- *[Strut mounting + bottom wishbone + wheel alignment]*: Ohjelmalle määritetään heilahtelunvaimentimen yläpään paikka, alatukivarren korinpuoleiset nivelpisteet sekä varsien pituus, lisäksi määritetään haluttu camber- ja auras kulma. Ohjelma siten laskee raidelevyden, caster-kulman sekä akselin poikkeaman Z-akselilla nollakohdasta.
- *[Strut mounting + bottom wishbone + steering + wheel alignment]*: Vaihtoehdossa ohjelmalle kerrotaan heilahtelunvaimentimen yläpään paikka, alatukivarren korinpuoleiset nivelpisteet sekä varsien pituudet, ohjausvaihteen paikka, raidetangonpään nivelpiste sekä camber-kulma. Ohjelma laskee raidelevyden, akselin paikan Z-akselin suhteen sekä caster- ja auras kulman. Tätä vaihtoehtoa käytettäessä, on tiedettävä raidetangon ”nollakohta”, liikematkanpituus sekä ohjauspyörän kierrokset. Tällä vaihtoehdolla voidaan muuttaa pyöräntuennan geometriaa, kun ohjausgeometriaa ei aiota muuttaa.

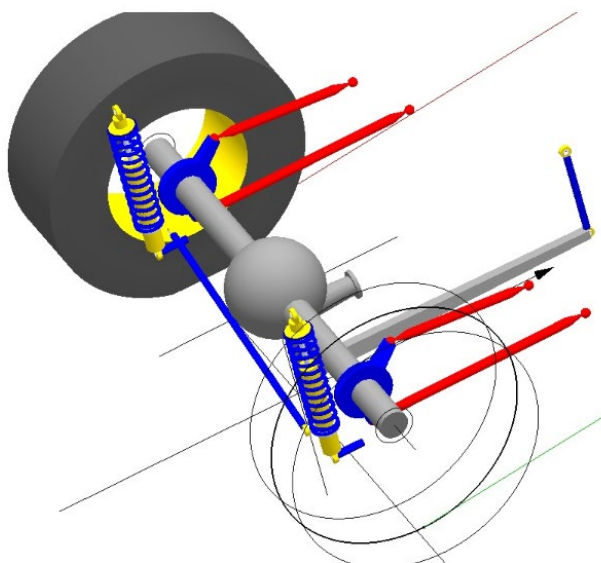
Viimeiset kaksi kohtaa mahdollistavat heilahtelunvaimentimen yläpään (ei säädettävissä) sekä alatukivarren pituuden lukitsemisen. Näitä vaihtoehtoja voidaan käyttää, mikäli heilahtelunvaimentimen yläpää ei ole säädettävissä, sekä alatukivarsi aiotaan jättää alkuperäisen kaltaiseksi.

- *Strut mounting + bottom wishbone + wheel toe*: Tässä vaihtoehdossa ilmoitetaan heilahtelunvaimentimen yläpää, alatukivarren korin puoleiset nivelpisteet, alatukivarren pituus sekä ohjauksen auras. Ohjelma laskee raidelevyden, akselin poikkeaman Z-akselista sekä camber- ja caster -kulmat.
- *Strut mounting + bottom wishbone + steering linkage + turn*: Vaihtoehto mahdollistaa kulmien optimoinnin ohjauksessa. Heilahtelunvaimentimen yläpään, alatukivarren korinpuoleiset nivelet, sekä alatukivarren pituus, ohjausvaihteen sijainti,

sekä nollakohta ja heilahtelunpituus on ilmoitettava. Raideleveys, akselin poikkeama Z -akselista sekä camber-, caster- ja aurauskulman ohjelma laskee itse.

Track/Wheelbase reference point -kohdassa valitaan raidелеveyden ja akselivälin ilmoittamisesta. *On ground* -valinnalla ohjelma ilmoittaa raidелеveyden maatasossa, renkaan kulutuspinnan keskikohdasta. *Wheel centre/axle* -ilmoittaa raidелеveyden akselin vaakatasolta, vanteen keskikohdasta. On hyvä käyttää valintaa *On ground*, sillä siitä on enemmän hyötyä esimerkiksi renkaan valinnassa. Ohjelman ilmoittamaa raidелеveyttä ei kuitenkaan saa sekoittaa auton valmistajan ilmoittamaan raidелеveyteen, sillä esimerkiksi camber-kulman kasvattaminen, muuttaa ohjelman ilmoittamaa raidелеveyttä. Kyseessä on siis laskennallinen arvo.

Ikkunan oikealla puolella on valinnat takapään tuennan määrittelemiselle. Ensimmäisessä ruudussa valitaan linkkien lukumäärä ja se, miten ne ovat kiinni akselissa. *Birdcage* tarkoittaa tässä kohdassa linkkien kiinnittymistä akseliin siten, että akselien kiinnitykset ovat laakeroitu akselin ulkoputkeen (Kuva 15). Tukivarsien kiinnikkeet voivat kierrättää akselin ympäri.



Kuva 15. *Birdcage*-tuentalinkki (SusProg 3D-ohjelmisto 2020f).

Toinen ruutu määrittää linkkien sijainnin akseliin nähden. *Leading* ja *trailing* viittaavat tässä tilanteessa akselin sijoitukseen, vaikka ruudussa puhutaankin linkkien sijainnista. *Leading* tarkoittaa, että linkit ovat akselin takapuolella, ja *trailing* tarkoittaa, että linkit ovat akselin etupuolella. Kaksi viimeistä vaihtoehtoa tarkoittavat, että ylä- ja alalinkit ovat eri suuntaan akselista.

Kolmannessa ruudussa määritetään Panhard-tangon kiinnitys akselissa ja korissa. Kuva 18 on valittuna kohta, jossa vasen pää on kiinni akselissa, ja oikea korissa (*RH on chassis, LH on axle*). Autoa katsotaan takaapäin, ja määritetään sen mukaan Panhard-tangon kiinnitys.

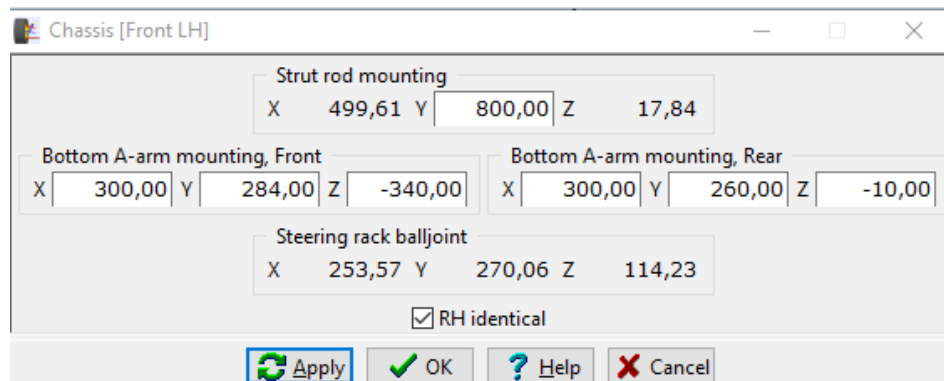
Kallistuskeskiöt voidaan määrittää ainoastaan linkkien kiinnityspisteiden avulla. Pyörän sijainti voidaan määrittää pyöränkulmien perusteella, jolloin ohjelma laskee tarvittavat linkkien pituudet. Toinen vaihtoehto on ilmoittaa ohjelmalle linkkien pituudet, jolloin ohjelma sijoittaa akselin siihen kohtaan, missä se ko. linkkipituuksilla on. On kuitenkin helpompaa antaa ohjelmalle halutut pyöränkulmat, jolloin ohjelma laskee linkkien pituudet. Linkit kun monesti ovat pituutensa osalta säädettävissä.

Kahdella päällekkäisellä kolmiotukivarrella olevan jousituksen valinnat ovat hieman edellä käydyistä poikkeavat, vaikka periaate on sama. Kallistuskeskiön osalta valinnat ovat täysin samat. Pyörän asennon ja suuntauksen osalta periaate valinnoissa on vastaava, kuin edellä. Ensimmäiset vaihtoehdot käyttävät enemmän hyödyksi SusProg 3D:hen ohjelmoituja laskentamalleja. Jälkimmäiset valinnat lisäävät käyttäjän ilmoittaman datan määrää. Vaihtoehdot jäljittelevät melko hyvin edellä käytyjä, mutta nimitykset vain hieman muuttuvat.

Ohjelma piirtää grafiikat melko karrikoidusti vinoon, mikäli pyöränkulmat ovat jollain tapaa epäsuotuisia. On helpompaa antaa ohjelman päättää linkkien pituudet, jolloin ohjelman käyttäminen ”rauhottuu” huomattavasti.

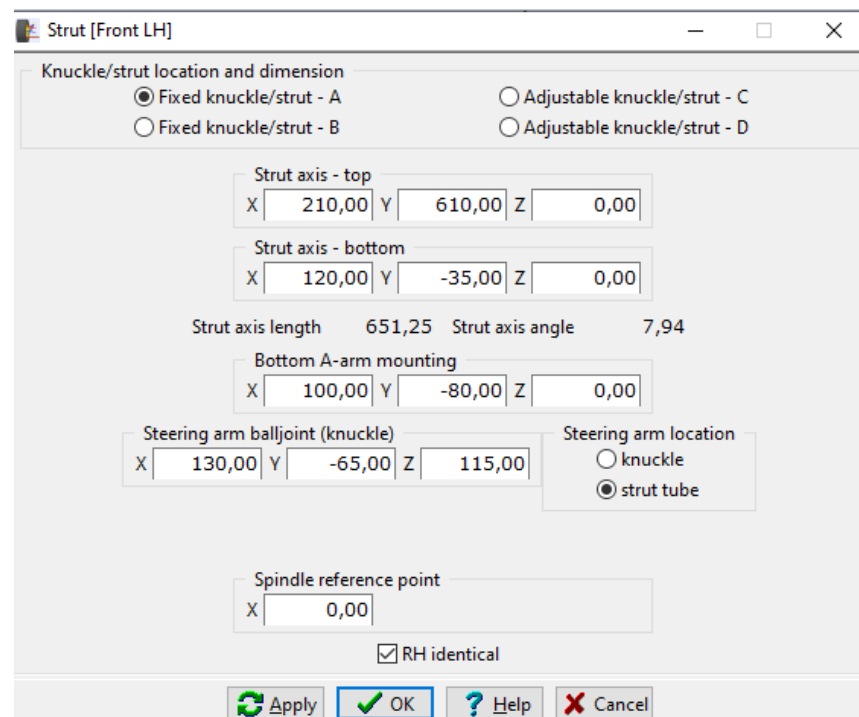
[Front]

Ohjelmalle ilmoitetaan etuakselin *[Front]* osalta *Chassis*-ikkunaan (Kuva 16) heilahteluvaimentimen yläpään korkeus, sekä alatukivarren kaikki mitat. *Chassis*-ikkunassa ohjelmalle ilmoitetaan tuennan korin puoleiset kiinnityspisteet. Raidetangon sisäpään sijainnin ohjelma laskee itse. Kolmiotukivarsi tuennassa tukivarsia on kaksi, joten täytettäviä kohtia on enemmän.



Kuva 16. Etupään korinpuoleiset nivelpisteet, MacPherson-joustintuki.

Seuraava ikkuna etupään osalta on *Strut* (Kuva 17), jossa määritellään joustintuen nivelpisteiden paikka. Ikkunan ylälaudassa on vaihtoehdot MacPherson-joustintuelle.



Kuva 17. MacPherson-joustintuen mitat.

Vaihtoehdot A ja B ovat joustintuelle, jossa heilahtelunvaimennin on kiinteästi kiinni olka-akselissa. Näiden vaihtoehtojen erona on se, että A vaihtoehdossa kone laskee heilahtelunvaimentimen pituuden sekä kulman, kun taas vaihtoehto B:ssä ohjelmalle ilmoitetaan kulma ja pituus. Ohjelma laskee heilahtelunvaimentimen yläpään paikan, suhteessa vanteen kiinnitystasoon ja akselin vaaka- ja pystyleikkaukseen.

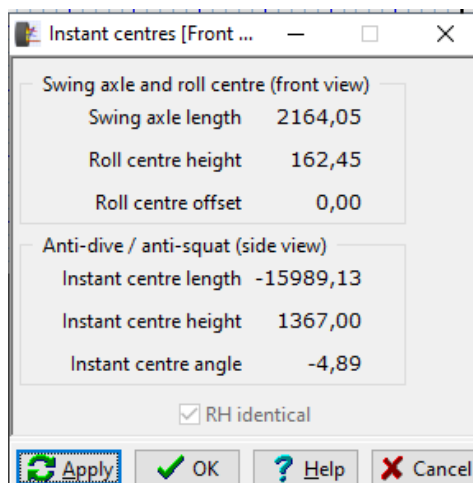
Vaihtoehdot C ja D ovat tilanteeseen, jossa heilahtelunvaimennin on pulttikiinnityksellä kiinni olka-akselissa. Vaihtoehdossa C, ohjelmalle ilmoitetaan heilahtelunvaimentimen ja olka-akselin kiinnitysreikien mitat niin heilahtelunvaimentimen (*strut tube* -ruutu), kuin olka-akselinkin (*knuckle*-ruutu) osalta. *Mounting A* on ylempi kiinnitysreikä ja *Mounting B* on alempi kiinnitysreikä. Vaihtoehdossa D ilmoitetaan ohjelmalle ainoastaan alemman kiinnitysreiän sijainti ja sitä käytetäänkin tilanteessa, jossa heilahtelunvaimennin tulee kiinni yhdellä pultilla olka-akseliin.

Heilahtelunvaimentimen pituus ilmoitetaan ohjelmalle näiden tietojen alapuolelle. Mikäli tämä jätetään ilmoittamatta, ohjelma olettaa heilahtelunvaimentimen pituudeksi pyörän halkaisijan. Kohdassa C ohjelmalle ilmoitetaan camber-säätövara heilahtelunvaimentimen ja olka-akselin kiinnityksessä (*Adjustment angle*). Kohdalla D ilmoitetaan ainoastaan heilahtelunvaimentimen kulma.

Kolmiotukivarren kiinnitys olka-akseliin ilmoitetaan vanteen kiinnityspinnan suhteen. Raidetangon pään sijainti voidaan ilmoittaa joko heilahtelunvaimentimen rungossa kiinni olevana (*strut tube*), taikka olka-akselissa kiinni olevana. Viimeisenä kohtana ikkunassa on *spindle reference point*, tämä mitta voidaan jättää nollassi.

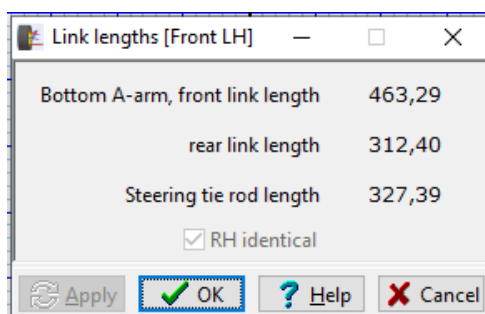
Päällekkäisillä kolmiotukivarsilla olevan auton tapauksessa ohjelmalle ilmoitetaan ylemmän ja alemman pallonivelen, sekä raidetangonpään sijainti, suhteessa vanteen kiinnityspintaan ja sivuprojektiossa akselilinjan vaaka- ja pystysuuntaisten leikkaustasojen suhteen. Myöskin mahdollisten camber-säätö, shimmi-levyjien määrä ja paksuus ilmoitetaan *Upright*-ikkunaan. Heilahtelunvaimentimen alapään sijainti ilmoitetaan välilehdellä *Spring, Shock, ARB*.

IC-ikkunassa (Kuva 18) ohjelma ilmoittaa kallistuskeskiön korkeuden ja heiluriakseleiden pituuden. Koska valitsimme aiemmin ilmoittavamme ohjelmalle tukivarsien korin puoleiset kiinnitykset, ei tähän ikkunahan voi täyttää mitään tietoja, vaan ohjelma laskee ne annetuista mitoista. Mikäli on valittu aiemmin vaihtoehto, jolla ohjelmalle ilmoitetaan kallistuskeskiön korkeus, annetaan haluttu korkeus tässä ikkunassa.



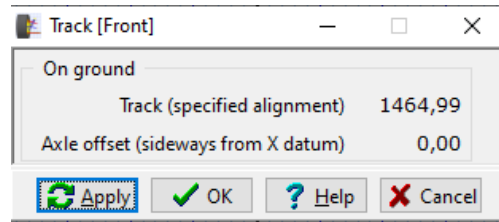
Kuva 18. Kallistuskeskiöiden sijainti.

Links-ikkunaan (Kuva 19) ilmoitetaan etutuennan osalta mitat alatukivarren mitoille. Mitat ilmoitetaan alapallonivelestä edellä olevaan ja taaempaan kiinnikkeeseen. Ohjelma ilmoittaa nämä kahtena eri linkkinä, vaikka alatukivarsi fyysisesti olisikin yhtenä osana.



Kuva 19. Alatukivarren tankojen mitat.

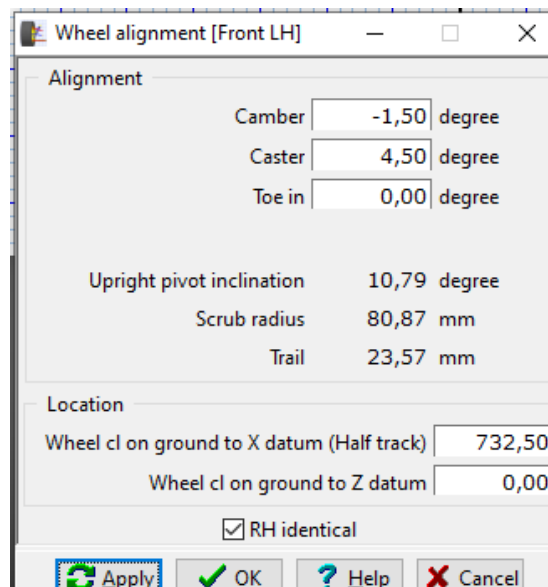
Track-ikkunassa (Kuva 20) ohjelma ilmoittaa auton raidelevyyden. Mikäli aiemmin on valittu *On ground*, tällöin ohjelma ilmoittaa akselivälin maan tasalla pyörän keskilinjojen välillä, tietyllä camber-, caster- ja aurauskulmalla. Mikäli valinta on *Wheel centre/axle* ilmoittaa ohjelma akselivälin vanteen keskikohdan mukaan, pyörän navan korkeudelta, annetulla camber-, caster- ja aurauskulmalla. *Axle offset* ilmoittaa akselin poikkeaman, valitun X-akselin suhteen.



Kuva 20. Raideleveys, pyörien keskilinjasta mitattuna.

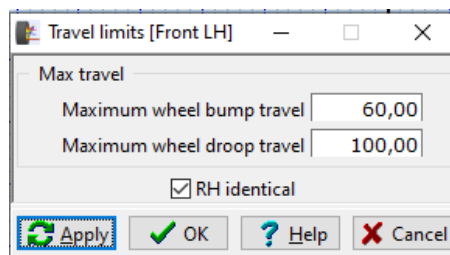
Wheel-ikkuna täytettiin jo *Vehicle*-välilehdellä, joten siihen ei tarvitse tällä välilehdellä tehdä muutoksia.

Alignment-ikkunassa (Kuva 21) annetaan ohjelmalle halutut pyöränkulmat. Näiden kulmien perusteella ohjelma laskee tukivarsien pituudet. Ikkunasta löytyy myöskin KPI kulma ja jättämä. Alimpana ikkunassa on puolikas raideleveys, sekä akselin poikkeama valitusta X-akselista. Mikäli aiemmin *Config*-ikkunassa on valittu vaihtoehto *Wheel Alignment + location*, on tämä ikkuna tärkeää täyttää, sillä se vaikuttaa olennaisesti tukivarsien mittaan.



Kuva 21. Pyöränsuuntaus-ikkuna.

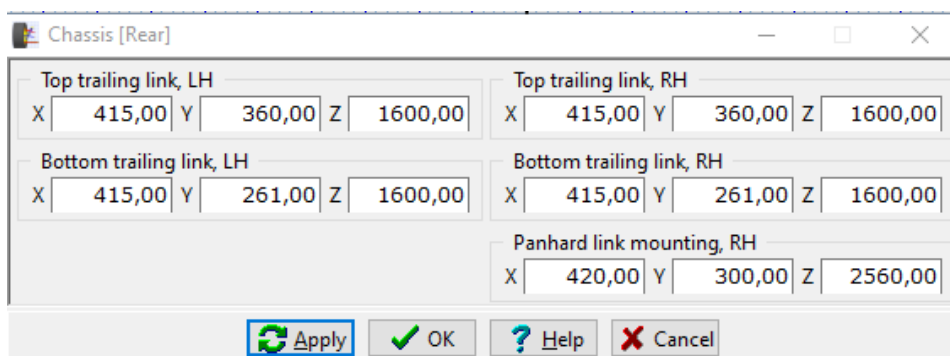
Viimeisenä ikkunana, ennen *Calc*-näppäintä, on *Travel* (Kuva 22). Tähän ikkunaan täytetään jousituksen maksimi sisään- ja ulosjousto. Ohjelma määrittää näiden perusteella jousituksen liikkeet *Display*-välilehden nosto- ja laskutoiminnoille.



Kuva 22. Maksimi sisään- ja ulosjousto.

[Rear]

Configurointi on jo tehty takapään osalta, joten syötetään tiedot ohjelmaan. Ensimmäinen ikkuna on *Chassis* (Kuva 23). Sinne ilmoitetaan aiemmin määritetyn koordinaatiston mukaan taka-akselin korinpuoleisten kiinnikkeiden paikat. Vasemmalla puolella ikkunaa on vasemman puolen ylemmän ja alemman linkin paikka, ja oikealla puolella ikkunaa oikean puolen kiinnityskohdat.



Kuva 23. Taka-akselin korinpuoleiset kiinnityspisteet.

Seuraavana ikkunana on *Ax/e* (Kuva 24), jossa saadaan ilmoitettua ohjelmalle taka-akselin koordinaattipisteet.

The screenshot shows a software window titled 'Axle [Rear]' with four tabs: 'Housing, diff and hubs', 'Mounting brackets', 'Static alignment', and 'Graphic'. The 'Housing, diff and hubs' tab is active. It contains several input fields for axle dimensions and alignment parameters.

Parameter	Value
Axle dia	70,00
Axle Housing length	1397,00
Axle hub length LH/RH	0,00 0,00
Spindle reference point LH/RH, X	0,00 0,00
Hub to hub length	1397,00
Pinion offset, X	0,00
Pinion offset, Y	0,00
Pinion length	150,00
LH Camber	-0,50 degree
LH Toe in	0,00 degree
RH Camber	-0,50 degree
RH Toe in	0,00 degree

At the bottom of the window are four buttons: 'Apply' (with a refresh icon), 'OK' (with a checkmark icon), 'Help' (with a question mark icon), and 'Cancel' (with an 'X' icon).

Kuva 24. Taka-akselin mitat ja välilehdet.

Ikkunassa on neljä eri välilehteä, käydään tässä läpi, mitä milläkin välilehdellä ilmoitetaan tässä konstruktiossa:

- *Housing, diff and hubs*: Ensimmäiselle välilehdelle ilmoitetaan akselin kuoren mitat, sekä pyörien suuntaus
 - *Centre housing and hubs*: Tällä tarkoitetaan akselin kuorien mittoja. *Axle dia*-kohtaan voidaan ilmoittaa akselin halkaisija, ohjelma käyttää tätä mittaa graafisen esityksen luomiseen. *Axle housing length* -kohtaan täytetään akselin runkoputken leveys. Mikäli autossa on jäykkä taka-akseli, kuten tässä tapauksessa, ilmoitetaan tähän kohtaan akselin leveys vanteen kiinnitystasojen välillä. Mikäli autossa on napa erillisenä, ja camber-säätö on mahdollinen, ilmoitetaan täksi mitaksi napojen sisimpien nivelpisteiden väli. *Axle hub length* -kohtaan ilmoitetaan vasemman ja oikean puolen navan pituus. Mitta on siis vanteen kiinnityspisteen ja sisimmän nivelpisteen välinen mitta. Mikäli kyseessä on jäykkä taka-akseli, jätetään tämä kohta tyhjäksi. *Spindle reference point* on käyttäjän ilmoittama referenssipiste akselille, mikäli sitä halutaan käyttää. *Hub to Hub length* on laskennallinen mitta, jonka ohjelma laskee itse.

- *Pinion*: Tähän kohtaan voidaan ilmoittaa vetopyörästön pinion-akselin sijainti. Mikäli pinion-akseli sijaitsee akselin keskikohdassa, voidaan kaksi ensimmäistä ruutua jättää nollassi. Kolmas kohta, *Pinion length*, määrittää pinion-akselin, kardaanin kiinnitystason etäisyyden akselin keskikohdasta. Tätä mitta ei välttämättä tarvitse täyttää, mikäli kardaanin asentoa ei tahdota ohjelmalla tarkastella.
- *LH/RH hub alignment*: Tähän syötetään halutut takapäin pyöränkulmat. *Live axle* -vaihtoehdolla ei ole *Wheel Alignment* -välilehteä, joten pyöränkulmat ilmoitetaan tällä ikkunalla.
- *Mounting Brackets*: Välilehdellä täytetään tukivarsien akselissa olevat kiinnityspisteet. On huomattava, että tässä tilanteessa X-akselilla ei ole negatiivista suuntaa, vaan molemmat puolet ilmoitetaan positiivisena lukuna.
- *Static alignment*: Tällä ruudulla on akselin sivuttaispoikkeama X-akselin nollakohdasta, taka-akselin keskikohdan etäisyys Z-akselin nollakohdasta (*Longitudinal datum to axle centreline*), mahdollinen toisen pyörän ”johtaminen” suhteessa toiseen sekä vetopyörästön pinion-akselin kulmapoikkeama valitusta maatasen kulmasta. Kulma ilmoitetaan positiivisena, mikäli akselin sisääntulo on vaakatason alapuolella, ilmoitetaan kulma positiivisena. Mikäli sisääntuloakseli on ylöspäin, ilmoitetaan kulma negatiivisena.
- *Graphic* -välilehdellä nähdään yksinkertaisena graafisena esityksenä akselin kiinnityspisteiden sijainti akselilla. Näin ollen *Axle* -ikkunaa ei tarvitse joka kerta sulkea, nähdäkseen tehtyjen muutosten vaikutukset akselissa.

IC -ikkunasta nähdään kallistuskeskiön sijainti. Samasta ikkunasta löytyvät myöskin anti-ominaisuudet. Näitä tietoja ei pysty muuttamaan valituilla asetuksilla. On mahdollista valita asetukset siten, että kallistuskeskiöt ja anti-ominaisuudet voidaan ilmoittaa halutunlaisiksi, jolloin ohjelma laskee muun datan niiden mukaan.

Links-ikkunassa on linkkien pituudet. Näitäkään arvoja ei näillä asetuksilla tarvitse muuttaa, vaan ohjelma laskee linkkien pituudet itse, jotta halutuilla kiinnityspisteillä saadaan halutut pyöränkulmat. Yleensä linkkitangot ovat säädettäviä pituutensa osalta, joten niitä ei olekaan järkevää suunnitella tietyn mittaiseksi.

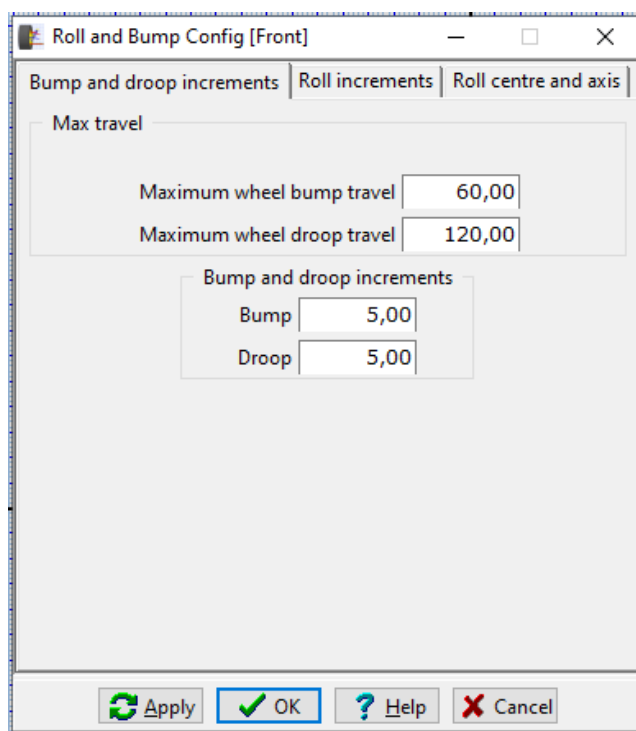
Track-ikkuna ilmoittaa auton raidelevyyden maatasolla, renkaiden kontaktipinnan keskikohdassa. Näin ollen siihen ei kannata liiaksi kiinnittää huomiota, mikäli se eroaa valmistajan ilmoittamasta. Tämän tiedon voi muuttaa *Geometry|Config*-ikkunasta, ilmoitettavaksi akselilinjan keskikohdan korkeudella, vanteen keskikohdasta. *Wheel Alignment* -

ikkunan arvoja ei voi jäykällä taka-akselilla muuttaa, vaan muutos tehdään *Axle*-ikkunassa.

Kahdella päällekkäisellä kolmiotukivarren tapauksessa takatuennan mittojen syöttäminen ei juuri eroa etutuennan vastaavista.

4.2.3 Roll and Bump

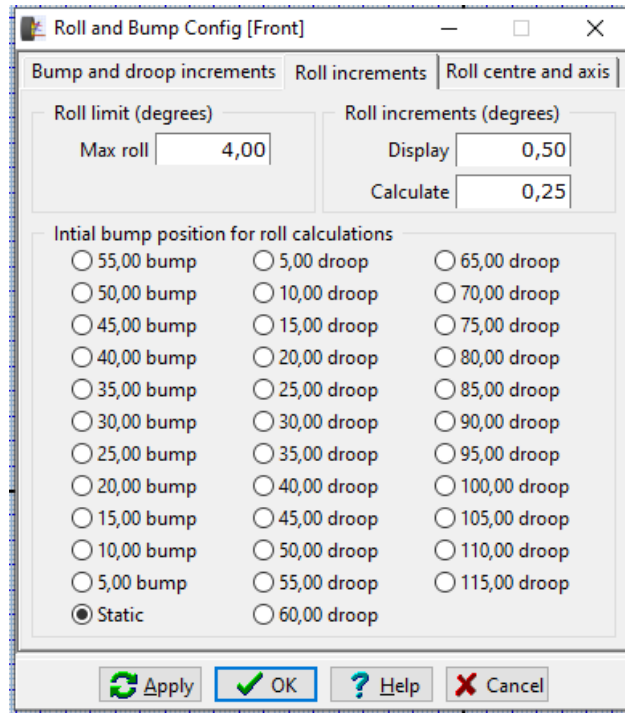
Tällä välilehdellä ohjelmalle kerrotaan jousituksen liikeradat. *Config*-ikkunan (Kuva 25) ensimmäiselle sivulle ilmoitetaan maksimi sisäänjousto (*Bump*), sekä ulosjousto (*Droop*). Mikäli geometria, tai aiemmin ilmoitetut tiedot rajoittavat annettua maksimi ulostai sisäänjoustoa, ohjelma antaa siitä virheilmoituksen. *Bump and droop increments* -kohtaan ilmoitetaan, millä välillä halutaan ohjelman laskevan pyöränasentokulmia.



Kuva 25. Sisään- ja ulosjousto.

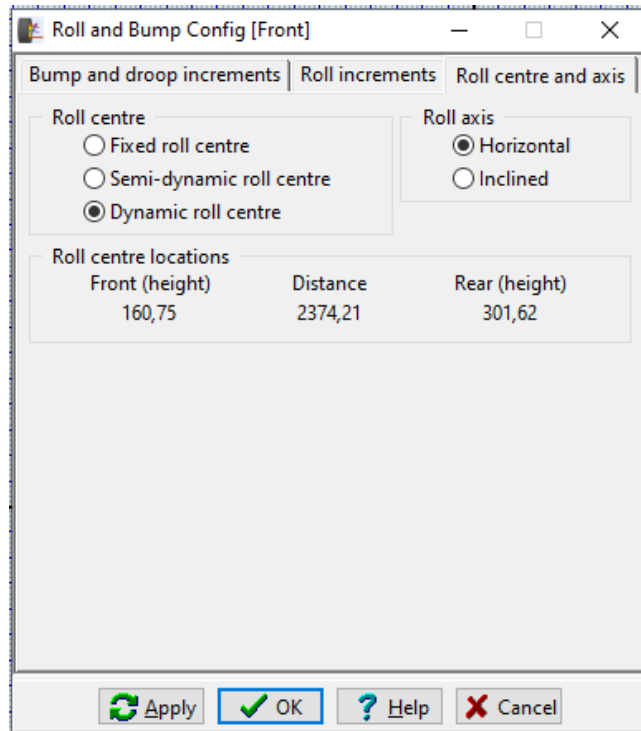
Seuraavalla sivulla *Config*-ikkunassa on *Roll increments* (Kuva 26). *Max roll* -kohtaan ilmoitetaan korin suurin kallistumiskulma. *Display*-kohtaan ilmoitetaan, minkä asteluvun välein kulmanmuutokset näytetään ja tulokset annetaan. *Calculate*-kohtaan taas ilmoite-

taan asteväli, millä välein ohjelma laskee uuden kallistuskeskiön paikan ja kallistaa jälleen lisää sen mukaan. Mitä pienempi *Calculation*-luku on, sitä enemmän ohjelma tarvitsee aikaa laskentaan. Ikkunan alalaidassa on valintana edellisellä lehdellä valitut sisään- ja ulosjoustoarvot. Listauksesta valitsemalla voidaan laskea kallistuksia myöskin sisään- tai ulosjouston aikana.



Kuva 26. Kallistuksen konfigurointi.

Kolmantena lehtenä ikkunassa on *Roll centre and axis* (Kuva 27). *Roll Centre* -kohdassa valitaan kallistuskeskiön liikkeen määrä. *Fixed*-valinnalla kallistuskeskiö pysyy alkutilanteessa olevalla paikallaan. *Semi dynamic* -valinnalla kallistuskeskiö ei muutu auton keskilinjalta, mutta liikkuu korkeussuunnassa. *Dynamic*-valinnalla kallistuskeskiö liikkuu niin korkeus- kuin sivusuunnassakin. *Roll Axis* -valinnassa voidaan valita, kallistetaanko autoa vain yksi pää kerrallaan, *horizontal*-valinnalla, vai otetaanko myöskin toisen pään kallistuskeskiö huomioon, ja kallistetaan autoa kallistusakselin ympäri, *inclined*-asetuksella. Alimpana näkyy vielä kallistuskeskiöiden korkeus, sekä niiden etäisyys toisistaan. Tämä ikkuna täytetään etu- ja takapäälle erikseen.



Kuva 27. Kallistuskeskiön ja kallistusakselin valinnat.

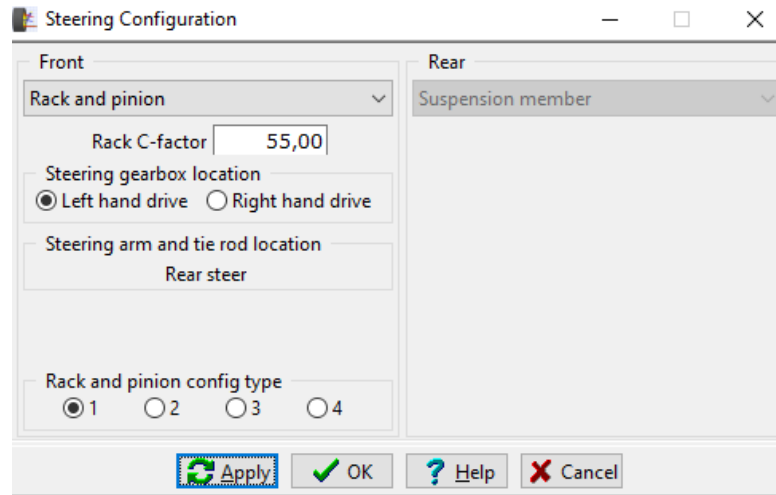
Calc-näppäimellä ohjelma laskee viimeisimmät täytetyt tiedot. Valitsemalla *ECalc* saadaan laskettua koko auton tiedot tai vain halutut osa-alueet. *Results*-ikkunasta nähdään pyöränkulmat kallistuksen ja joustoliikkeen aikana aiemmin määritellyillä väleillä.

4.2.4 Steering

Ensimmäisenä ikkunana välilehdellä on *Config* (Kuva 28). Tässä ikkunassa määritellään ohjauksen tyyppi. Esimerkkitapauksessa on hammastanko-tyyppinen ohjaus, joten käytetään *Rack and pinion* -vaihtoehtoa. Muina vaihtoehtoina on simpukkaohjaus (*pitman arm*) erilaisine välitysvaihtoehtoineen. Ohjelma kysyy *Rack and pinion* -valinnalla ohjauksen *C-factor*-arvoa. *C-factor*-arvolla tarkoitetaan ohjelmassa raidetangon liikettä, yhdellä ratin kierroksella. Seuraavana valitaan, onko auto vasemmalta vai oikealta ohjattava. *Steering arm and tie rod location* kertoo onko raidetangonpää akselilinjan etu- vai takapuolella.

Etupään osalta alimpana ikkunassa on vaihtoehdot ohjausvaihteen tyyppille. Näillä vaihtoehtoilla ei ole merkitystä laskentaan, vaan ohjelman graafiseen esitykseen. *Type 1* on

”perinteinen” versio, joten käytämme sitä. Mikäli taka-akselilla olisi aurauksen säätö, ilmoitettaisiin sen konfiguraatio tässä ikkunassa. Ohjelma osaa määrittellä *bump steer* -ilmiön myös taka-akselille.



Kuva 28. Ohjauksen määrittäminen.

Rack location avaa saman ikkunan, joka on täytetty jo *Geometry|Chassis*-kohdassa. Alimpana kohtana tässä ikkunassa on hammastangon pään pallonivelen paikka pallonivelen paikka. Tällä tarkoitetaan siis raidetangon sisäpään niveltä. *Steering arm* -ikkuna on myöskin täytetty jo *Geometry|Strut*-ikkunassa. Tässäkin raidetangon ulkopäätä tarkoittava kohta on alimpana ikkunassa. *Links* sekä *Wheelbase* -ikkunoiden tietoja ei päästä aiemmista valinnoista johtuen muokkaamaan.

[Fixed]-näppäintä painamalla voidaan valita joko *Fixed*, *Chassis*, *Chassis X/Y/Z* tai *Upright*. Tällä toiminnolla voidaan etsiä optimaalinen hammastangon sijainti, jotta saadaan ehkäistyä ominaisohjausta joustoliikkeessä (*bump steer*).

- *Fixed*-vaihtoehdolla ohjelma pitää hammastangon ja raidetangon ulkopään paikoillaan, ja laskee ominaisohjauksen jouston aikana.
- *Chassis*-vaihtoehdolla ohjelma muuttaa hammastangon sijaintia, siten että ominaisohjaus on minimissään. Tällä vaihtoehdolla on ilmoitettava raidetangon ulkopään sijainti. Yleensä on helpompaa muuttaa hammastangon sijaintia, kuin alkaa tekemään olka-akselia uudestaan. Joissakin kilpailuluokissa kielletään kokonaan tukivarsien ja olka-akselin muutostyöt.

- *Chassis X/Y/Z*-vaihtoehdolla ohjelma muuttaa ohjausvaihteen sijaintia, pitäen jonkin näistä suunnista muuttumattomana. Tässäkin vaihtoehdossa on syötettävä raidetangon ulkopään sijainti.
- *Upright*-vaihtoehdolla ohjelma pitää ohjausvaihteen paikallaan, ja muuttaa raide-tangon paikkaa olka-akselissa. Tavoitteena on tässäkin *bump steer* -ilmiön minimoiminen.

Toe turn -ikkunaan ilmoitetaan ohjelmalle pyörien maksimaalinen kääntökulma. Kulma ilmoitetaan ulkokaarten puoleisesta pyörästä. Ohjelma laskee sisäkaarten pyörän kääntökulman, käyttäen hyödyksi ohjausvivuston ilmoitettuja arvoja. *Increment*-kohtaan merkitään lisäys, millä välillä halutaan ohjauksen kulmia tarkastella.

Kahdella päällekkäisellä kolmiotukivarrella varustetuissa pyöräntuennoissa etuakselin osalta vaihtoehdot ovat samat kuin edellä mainitut. Taka-akselin osalta vaihtoehdot ovat hieman suppeammat, mutta ohjelmalle voi antaa ohjauksen toimintaan ja ominaisohjauksen ehkäisemiseen samat toiminnot, kuin etuakselillekin.

Results-ikkunasta nähdään arvot ominaisohjaukselle, halutuilla ulos- ja sisäänjouston väleillä. Lisäksi *Result*-ikkunasta nähdään pyörän kääntökulmat molemmilta puolilta ohjausliikkeen aikana.

4.2.5 Driveline

Välilehdellä voidaan ilmoittaa ohjelmalle kampiakselin takapäähän, vaihdelaatikon kardaanilähdön, sekä kardaanin nivelten sijainnit. *[Rear]Length*-ikkunassa ohjelma ilmoittaa kardaanin pituuden vaihdelaatikon ilmoitetun laipan, sekä taka-akselin pinion-akselin kiinnitystason välillä. Näitä tietoja käyttäen ohjelma laskee kardaanin kulman, sekä kardaanin nivelten kulmat ja kardaanin pituuden muutoksen jouston aikana. Tulokset saadaan näkyviin *Results*-ikkunasta.

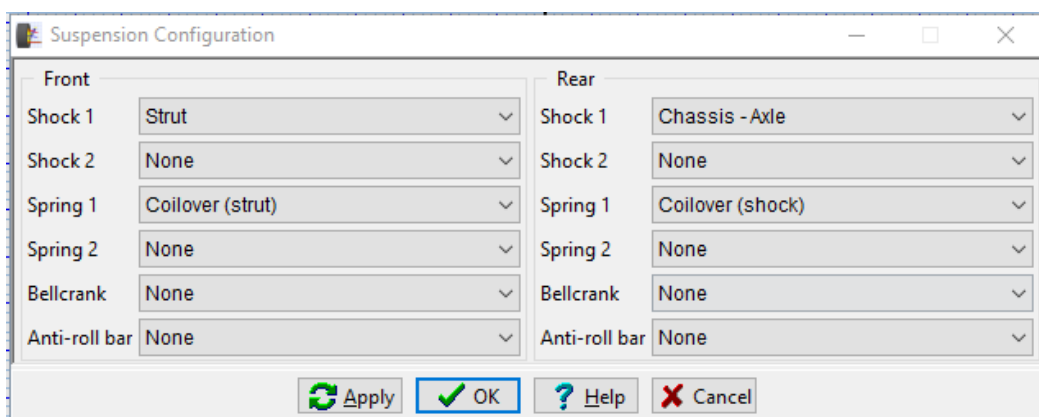
Erillisjousitetulla, vetävällä akselilla, on mahdollisuus tarkastella vetoakselin kulmaa. Ohjelmalle ilmoitetaan vetoakselin sisemmän, ja ulomman nivelen sijainti, ja ohjelma muuttaa sisemmän nivelen paikkaa, jotta akseli toimisi parhaiten, eikä vaikuttaisi auton ajettavuuteen. Tämä onnistuu valitsemalla yläpalkista *Driveline*-välilehdellä vaihtoehdo *[Auto]* ja painamalla *Calc*-näppäintä. *[Fixed]*-valinnalla ohjelma ei muuta vetoakselin paikkaa. Tästä voi olla hyötyä, mikäli auton ajokorkeutta on muutettu ja vetopyörästäön

korkeuden muuttaminen on mahdollista. Etuvetoisella autolla tämä kuitenkin tarkoittaa koko moottori-vaihdelaatikko-paketin liikuttamista.

4.2.6 Spring, Shock, ARB

Välilehdellä on jousiin ja heilahtelunvaimentimiin liittyvät tiedot. Etu- ja taka-akseli käydään tälle sivulle erikseen läpi.

Config-ikkunassa (Kuva 29) valitaan heilahtelunvaimentimien sijainti akselilla. *Config*-ikkunassa määritellään heilahtelunvaimentimien ja jousien kiinnittyminen pyöräntuennan osiin. Vaihtoehtoina etupäässä ei ole kuin *Strut*, sillä kyseessä on MacPherson-joustintuki. Taka-akselilla voi heilahtelunvaimennin olla kiinni suoraan akselissa, ylä- tai alalin-kissä, tai kulmavivussa (*Bell Crank*). *Config*-ikkunassa kerrotaan ohjelmalle myöskin mahdollisen kulmavivun sijainti, sekä kallistuksenvakaajan kiinnitys muuhun tuentaan. Joillain tuentatyypeillä on mahdollista ilmoittaa useampi heilahtelunvaimennin tai jousi. Nämä valinnat vaikuttavat välilehden muiden ikkunoiden sisältöihin.



Kuva 29. Heilahtelunvaimentimien ja jousien konfiguraatioikkuna.

Spring-ikkunan avatessa voi ensimmäisenä valita jousen määrittämisperusteen. Oikeassa yläkulmassa oleva *RH identical* -ruutu on hyvä olla valittuna (Kuva 30). Toiminnot ovat samat niin etu- kuin takapäässäkin, mikäli molemmilla akseleilla on valittuna *Coilspring*-tyyppi, ne vain tulee täyttää erikseen.

Coil spring parameters [Front LH]

Spring calculation
 Calculated
 Specified

Spring system
 Constant rate (single spring)
 Dual rate (main and tender spring) RH identical

Spring rate and load
 Suspension frequency 1,58 Hz
 Spring rate 26,00 N/mm
 148,46 lb/in
 Static spring load 2348,03 N
 Motion ratio 1,10
 Wheel rate 21,39 N/mm

Spring seats
 Mounting centres length (static) 543,58
 Spring seat (shockabsorber shaft) 35,00
 Spring spacer thickness 5,00
 Spring seat (shockabsorber body) 230,89
 Installed spring length (Static) 277,69
 Type of end Closed and ground

Installed spring load-deflection

	Length	Deflection	Load
Full droop	382,73	9,27	8,93 N
Static	277,69	114,31	2348,03 N
Full bump	221,74	170,26	3802,84 N

Main spring | Tender spring | Load-deflection graph

Rate 26,00 N/mm
 Solid load 6298,93 N
 Free length 350,00 mm
 Solid length (approx) 107,73 mm
 Natural frequency 76 Hz

Active coils 10,01
 Total coils 12,01
 Inside diameter 57,00 mm
 Wire diameter 9,36 mm
 Static stress (corrected) 585,74 MPa
 Full bump stress (corrected) 948,15 MPa
 Solid stress (corrected) 1570,49 MPa

Calculate using
 Auto Coils Wire dia Stress Actual

Kuva 30. Etujousien ominaisuudet.

Calculated-toiminnolla ohjelma laskee jousen vapaan pituuden. Ohjelmalle ilmoitetaan haluttu jousen taajuus tai jäykkyys. Ohjelmalle ilmoitetaan myös *Spring seats* -kohtaan jousilautasten paikat. Halutulla jousen jäykkyydellä, ja annetuilla jousilautasen paikoilla, ohjelma laskee ikkunan alalaitaan, vasempaan reunaan, jousen vapaan pituuden.

Specified-valinnalla ohjelmalle ilmoitetaan heilahtelunvaimentimen varressa olevan jousilautasen sijainti heilahtelunvaimentimen yläpäästä, sekä ikkunan alalaitaan *Rate*-kohtaan haluttu jousen jäykkyys, sekä vapaa pituus, *Free length* -kohtaan. Näillä arvoilla

ohjelma laskee heilahtelunvaimentimen rungossa olevan jousilautasen paikan, heilahtelunvaimentajan alapäästä mitattuna, *Spring seat (shockabsorber body)* -kohtaan. Näin saadaan jousilautanen säädettyä oikeaan korkeuteen.

Alalaidassa olevat vaihtoehdot *Calculate using with* -vaihtoehdoilla voidaan valikoida, mitä tietoja jousesta halutaan ilmoittaa ohjelmalle. Jokaisessa vaihtoehdossa ohjelmalle ilmoitetaan jousen sisähalkaisija. Määrittelyvaihtoehdot ovat:

- *Auto*: ohjelmalle ilmoitetaan vain sisähalkaisija, ja ohjelma määrittää loput arvot.
- *Coils*: ohjelmalle ilmoitetaan aktiivisten kierrosten määrä, ja ohjelma laskee langan paksuuden ja jännityksen.
- *Wire Dia*: ilmoitetaan jousen langan halkaisija, ja ohjelma laskee aktiiviset kierrokset sekä jännityksen.
- *Stress*: jos halutaan ilmoittaa jousen puristusvoima Pascal-yksiköinä, staattisessa tilassa. Ohjelma laskee aktiiviset kierrokset ja jousen paksuuden.
- *Actual*: ohjelmalle ilmoitetaan aktiivisten kierrosten määrä, sisähalkaisija sekä langan paksuus. Näiden perusteella ohjelma laskee jousen jousivakion. Tätä vaihtoehtoa voidaan käyttää, mikäli jousessa ei ole jousivakiota ilmoitettuna.

Mikäli heilahtelunvaimennin-jousi-yhdistelmässä on apujousi, saadaan se määriteltyä ohjelmalle valitsemalla ikkunan ylälaidasta *Spring system* -kohdasta valittua *Dual rate (main and tender spring)*, jolloin *Spring seats* -ruutuun tulee uusi kohta, *Spring spacer thickness*. Tähän kohtaan ilmoitetaan jousien välissä olevan väliprikan paksuus. Apujousen tiedot päästään täyttämään alalaidan uudesta välilehdestä (*Tender spring*). Apujousen voi määritellä usealla eri tavalla. Jokaisessa määrittelyssä kuitenkin määritellään jousen jousivakio (*Rate*), sekä massa, millä apujousi painuu kasaan sekä jousen sisähalkaisija.

Spring seats -kohdassa on valintana myöskin jousen pään tyyppi. *Plain* tarkoittaa pelkkää katkaistua jousen päätä mitä ei ole jälkikäsitelty. *Plain and ground* -tyyppinen jousen pää on katkaistu, mutta viimeinen kierros on koneistettu viistoksi. *Closed* -tyyppisen jousen pää on puristettu yhteen, jolloin päässä oleva porras ei ole kuin jousen langan paksuinen. *Closed and ground* taas on puristettu yhteen ja viimeinen kierros on koneistettu viisteiseksi, jolloin koko jousen pää kantaa.

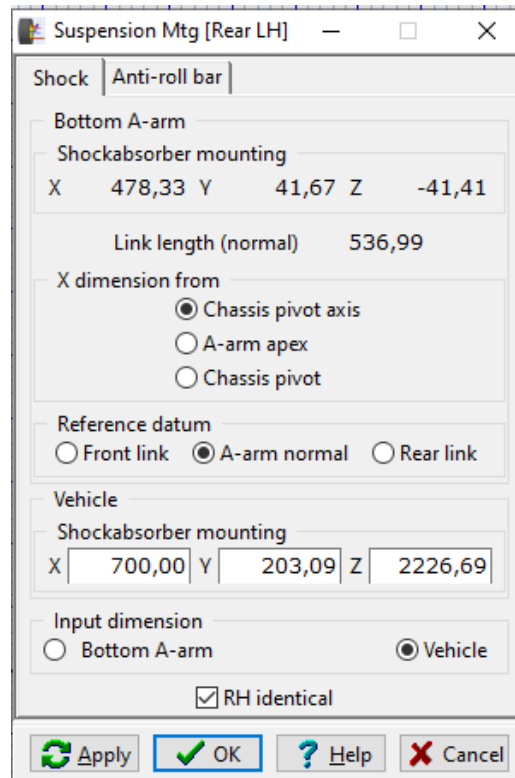
Koska kyseessä on MacPherson-joustintuki, ei heilahtelunvaimennin-jousi-paketin kiinnityspaikkoja tarvitse erikseen kertoa. Taka-akselille siirryttäessä tulee yläpalkkiin enemmän vaihtoehtoja.

Chassis-ikkunaan merkitään takaheilahtelunvaimentimien yläpään kiinnityspisteet. Tässä käytetään auton koordinaatistoa. Mikäli autossa on kallistuksenvakaaja, sen korinpuoleiset kiinnitykset merkitään myöskin tähän ikkunaan. *Susp*-ikkunaan merkitään takaheilahtelunvaimentimien alapään kiinnitys akseliin. Koordinaatistona käytetään taka-akselin koordinaatistoa. *Spring*-ikkuna on sama, kuin etuakselilla, mikäli molemmilla akseleilla on käytössä *Coilpring*-valinta. *Results*-ikkunasta nähdään syötetyt tiedot kootusti.

Mikäli on jo olemassa korkeussäädettävä heilahtelunvaimenninsarja, eikä ole aikomusta hankkia uusia jousia sarjaan, on hyvä käyttää jousen määrittämiseen *Specific*-vaihtoehtoa. Tällöin ohjelma kertoo jousilautasen paikan. Jousen määrittämiseen kannattaa käyttää *Auto*-asetusta, sillä silloin ohjelma kysyy mittoja, jotka yleensä ovat jouseen merkityjä. Apujousen osalta on hyvä käyttää *Actual*-valintaa, silloin ohjelmalle voidaan ilmoittaa jousen korkeus kokoon puristettuna. Muuten apujousen parametreillä ei ole suurta merkitystä, sillä sen tarkoitus on pitää pääjousi jännitettynä maksimiulosjoustossa.

Kahdella kolmiotukivarrella varustetuissa autoissa jousituksen kiinnikkeiden ilmoittaminen on hieman erilaista. Korinpuoleisten kiinnityspisteiden koordinaatit täytetään *Chassis*-ikkunassa. Heilahtelunvaimentimesta täytetään sen yläpään kiinnitys. Kallistuksenvakaajan kiinnityksellä tarkoitetaan kallistuksenvakaajan suoran keskiosan kiinnityspisteitä korissa.

Susp-ikkunassa on heilahtelunvaimentimen alapään, sekä kallistuksenvakaajan kiinnityminen tukivarteen (Kuva 31). Mikäli alalaidasta valitaan *Vehicle*-ruutu, annetaan kiinnityspiste auton koordinaateista mitaten. Tämä on huomattavasti helpompi tapa ilmoittaa sijainti, kuin kolmiotukivarren omaan koordinaatistoon verraten. Ohjelma laskee kiinnityspisteeseen kolmiotukivarren omaan koordinaatistoon ikkunan ylälaitaan. Tätä tietoa on hyvä käyttää, jos tukivarsia valmistetaan itse. Tällöin auton koordinaatistoon on vaikea verrata irrallaan olevaa tukivartta. Heilahtelunvaimentimen ja kallistuksenvakaajan kiinnitys merkitään samalla tavalla.



Kuva 31. Heilahtelunvaimentimen kiinnitys alatukivarteen.

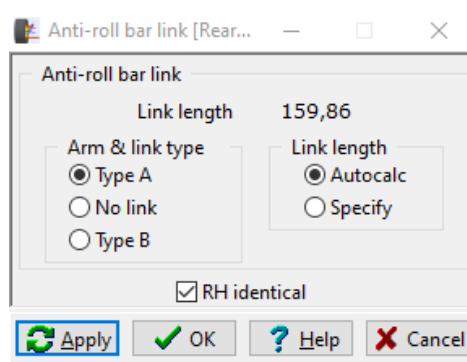
ARB-ikkunassa annetaan ohjelmalle tiedot kallistuksenvakaajan muodosta ja tyypistä. Tähän ikkunaan täytetään ensimmäisenä keskiosan tiedot (Kuva 32). Oikeaan reunaan tulee tiedot vakaajan jäykkyydestä itsessään ja sen jäykkyydestä redusoituna pyörälle. Alalaitaan täytetään tiedot vakaajan taitetulta osalta. Alimpana on valinta, onko vakaajan pää taitettu, vai toteutettu erillisellä kammella.

Anti-roll bar		Anti-roll bar rate	
Active section		Nominal rate	79,10
Active length	1000,00	Wheel rate	34,90
Bar diameter, outer	45,00	Motion ratio	1,51
Bar diameter, inner	42,00	Correction factor	1,00
Nominal			
Nominal length	1000,00		
Anti-roll bar arm			
Arm length (actual)	319,73	<input checked="" type="radio"/> actual	
Arm length (effective)	311,97	<input type="radio"/> effective	
Offset	70,00		
Arm type			
<input type="radio"/> bent bar		<input checked="" type="radio"/> lever	

Kuva 32. Kallistuksenvakaajan tiedot.

Link-ikkunassa annetaan ohjelmalle tieto kallistuksenvakaajan pään kiinnityksestä tukivarteen. Mikäli vakaaja tulee kiinni suoraan tukivarteen, valitaan *No link* (Kuva 33). Mikäli kallistuksenvakaajan pään ja tukivarren välissä on erillinen kiinnitystanko (*dog bone*), valitaan vaihtoehto A tai B. Vaihtoehtojen erona on kallistuksenvakaajan rakenne. Tyyppi selviää katsomalla auton vasenta puolta kohtisuoraan sivulta. Kuvitellaan linja kallistuksenvakaajan keskiosan ja tukivarteen tulevan kiinnityskohtan välille. Mikäli linkin ja kallistuksenvakaajan pään kiinnityskohta on tämän linjan oikealla puolella, valitaan tyyppi A. Jos kyseinen piste sijaitsee linjan vasemmalla puolella, valitaan tyyppi B. *Link*-ikkunan oikeassa laidassa on valinta tämän tangon mitasta.

Valitsemalla *Autocalc*, ohjelma laskee tangon pituuden oikeaan kulmaan. Tällä tarkoitetaan siis kulmaa, missä kallistuksenvakaaja on sivuprojektiossa samassa tasossa. Mikäli taas halutaan ilmoittaa jokin tietty mitta tälle tangolle, valitaan *Specify*-ruutu, jolloin ohjelmalle voidaan ilmoittaa haluttu mitta.



Kuva 33. Kallistuksenvakaajan tukivarsikiinnityksen valinta.

Spring-ikkunassa on samat tiedot, mitkä on jo käyty läpi tässä kappaleessa aiemmin (Kuva 30). *Calc*-näppäimellä saadaan muutetut arvot laskettua. *Results*-ikkunassa on välilehden tiedot kootusti.

4.3 Tulokset

Tässä kappaleessa käydään läpi syötettyjen tietojen mukanaan tuomaa dataa, mitä ohjelma on laskenut. Ohjelmassa on yläpalkissa kaksi, pelkästään lasketulle datalle tarkoitettua välilehteä. *Rates*-ikkunoita löytyy myöskin lähes jokaisesta välilehdestä. Tuloksia tarkastellessa tulee kuitenkin väkisin hieman hypittyä välilehtien välillä.

Rates

Rates-välilehdellä on koottuna auton jousitukseen liittyvät arvot. *Mass*-ikkuna on sama, kuin *Vehicle*-välilehdellä. *Spring*-ikkuna on sama kuin edellisessä kappaleessa läpikäyty. *Travel*-ikkunassa voidaan ohjelmalle ilmoittaa pyörän liikkeen rajoittajat. Tähän mennessä on pyörän liike ilmoitettu aiemmilla välilehdillä ainoastaan pyörän sisään- ja ulosjoustona. Tällä välilehdellä voidaan ilmoittaa pyörän liikettä rajoittavia mittoja. Vaihtoehtoina on ilmoittaa liike, joko pyörän liikkeenä (*Limit by wheel travel*), taikka heilahtelunvaimentimen minimi- ja maksimimitta ilmoittamalla (*Limit by strut length*). Samasta ikkunasta nähdään myöskin pyörän liikkeen suhdeluku heilahtelunvaimentajan liikkeeseen, mikäli luku on asetuksista valittu näin ilmoitettavaksi.

Results-ikkunasta nähdään jousituksen arvoja, joustoliikkeen aikana. Täältä esimerkiksi nähdään heilahtelunvaimentimen pituus, tietyssä sisään- tai ulosjoustossa. Ikkunasta

nähdään myöskin pyörällä ilmenevä jousen jousivakio tietyllä joustoliikkeellä. Myöskin jousen pituus on nähtävillä. Tuloksia voi tarkastella niin joustoliikkeen, kuin kallistuksenkin aikana. Tästä ikkunasta nähdään myöskin kallistuksenvakaajaan kohdistuva vääntömomentti. *Motion ratio* -kohta ilmoittaa pyörän liikkeen heilahtelunvaimentimen liikkeeseen suhteutettuna, jokaisella halutulla korkeudella. Joustojen ja kallistusten arvon muutokset voi käydä muuttamassa ikkunasta *Roll bump|Config*.

Dynamic

Dynamic-välilehdellä pystytään tutkimaan tarkemmin auton käyttäytymistä. *Parameters*-ikkunasta saadaan auki jousituksen ja rengastuksen arvot. Käyttämällä valintaa *Vehicle*, ohjelma laskee tuloksia sille ilmoitetun auton tiedoilla. Ikkunaan voidaan kuitenkin ilmoittaa poikittaiskiihtyvyyden minimi- ja maksimiarvot G-voimina. *Step*-kohtaan täytetään, millä välillä ohjelma laskee G-voimia.

Vaihtamalla ikkunasta *Data source* -valinnaksi *Custom*, voidaan kaikkia näkyviä parametrejä muuttaa ikkunasta. Myöskin kallistuskeskiön paikkaa voi hakea paremmaksi. Kallistuskeskiölle on vaihtoehtoina niin minimi- kuin maksimiarvo, ja näiden väliin jäävä *step*-arvo, jolla ilmoitetaan ohjelmalle, millä välillä ohjelma arvot laskee. Tällä toiminnolla saadaan helposti tehtyä, "mitä jos" laskelmia. *DynamicCalc*-toiminnolla lasketaan painon siirtymää puolelta toiselle sekä kallistusjäykkyyttä.

Exceliin tiedot saadaan seuraavalla tavalla: Ensinnäkin annetaan vaihteluvälit, millä tietoja halutaan ohjelmasta saada. Tämän jälkeen valitaan ikkunan alalaidasta *Format*-kohdasta *MS Excel (CSV)*. Painetaan sitten ikkunan alalaidasta *Apply*-näppäintä. Tämän jälkeen pienennetään ikkuna, ja painetaan *Dynamic*-välilehden yläpalkista *DynamicCalc*-näppäintä. Tämän jälkeen suurennetaan jälleen *Parameters*-ikkuna, ja nyt voidaan tiedot tallentaa ikkunan alalaidasta, *Save as* -toiminnolla. Ohjelma tallentaa tiedoston CSV -tekstitiedostona. Tekstitiedoston saa Exceliin valitsemalla sen yläpalkista *Tiedot (Data)* -välilehden, josta painetaan *Nouda tiedot*. Valitaan *Tiedostosta*, josta valitaan *tekstistä tai CSV:stä*. Excel aukaisee ikkunan, jolla etsitään tallennettu CSV-tiedosto. Excel avaa ikkunan, josta valitaan OK.

Mass-ikkuna on sama, joka on täytetty joko *Vehicle* tai *Rates* -välilehdellä. *DynamicCalc* liittyy *Parameters*-ikkunan toimintaan. *Dynamic results* -ikkunassa on *Parameters* -ikkunasta Exceliin tuodut arvot nähtävillä SusProg 3D -ohjelman sisällä.

PitchCalc-näppäimestä ohjelma laskee pitkittäisen kallistuskeskiön sijainnin eri jousituksen liikkeillä. *PitchResult*-ikkunassa on taulukko tuloksista. Tuloksien lukeminen on hie- man sekavaa, sillä kaikki tulokset ovat tekstitiedostona. Taulukossa on kuitenkin nähtävissä etu- ja takatuennan liike, ja näiden liikkeiden vastaavat kallistuskeskiön liikkeet. Koska tämä esitysmuoto on sekava, löytyy ohjelmasta myöskin graafinen esitystapa tälle datalle.

PitchData-ikkunassa pystytään etu- ja takapäälle määrittämään 20 eri pistettä. Liukukyt- kimillä säädettynä voidaan valita tiettyyn hetkeen joko sisään- tai ulosjousto. Liukukyt- kintä ylöspäin siirtäessä on sisäänjousto, ja alaspäin ulosjousto. Arvoja pystyy liikutta- maan laittamalla kursori liu'un päälle, ja pyörittämällä hiiren rullaa. Samalla kun kursori on tietyn kytkimen päällä, näytetään sen arvo ruudussa. Ylemmät liu'ut ovat etupäälle ja alemmat ovat takapäälle. Asettamalla ensimmäinen ja viimeinen liuku haluttuun kohtaan, ja painamalla *Join ends* -näppäintä, tekee ohjelma välillä oleville liu'uille tasaisen porras- tuksen ääriarvojen välille.

Tällä toiminnolla voidaan esimerkiksi tutkia, minne sivuprojektiossa kallistuskeskiö liik- kuu, kun auto niaa tai nyökkää. *PitchGraphic*-ikkuna aukaisee graafisen kuvauksen kal- listuskeskiön liikkeestä. Renkaat näkyvät keltaisella pohjalla selvästi, ja kallistuskeskiö on merkitty kuvaan vihreällä pisteellä. Ylälaidassa näkyy etu- ja takapyörän sen hetkinen joustokohta. Ylälaidasta nähdään myöskin keskiön koordinaatit auton määritettyjen Y- ja Z-koordinaattien osalta. Kuvauksessa huomioidaan nimenomaan vasemman ja oikean puolen etu- ja takapyörä, joiden välille haetaan kallistuskeskiö.

4.4 Tulosten soveltaminen

AutoCalc

AutoCalc-välilehdellä ohjelma tekee automaattisia laskelmia. Ennen tämän toiminnon käyttämistä ohjelmalle on syötettävä alustan nivelpisteiden sijainnit sekä *Roll Bump* - välilehden tiedot. *AutoCalc* käyttää näitä tietoja hyväkseen. Ennen kuin *AutoCalc*-toimin- toa käytetään, on huomioitava, että mikäli tukivarsien pituus on lukittu muuttumatto- maksi, voi ohjelma muuttaa ilmoitettua raideleveyyttä. Kannattaakin käyttää sivulla *Geo- metry|Config* valintaa *Wheel location and alignment*, jolloin pyörän sijainti ja suuntaus pysyvät haluttuina. Myöskin on hyvä laittaa pyörien auraus nolnaan, jolloin se ei sekoita

ohjelman käyttöä. Tämä toiminto voidaan tehdä ainoastaan, mikäli jousitukseen liittyy kolmiotukivarsi.

Config-ikkunassa painamalla alhaalta *Vehicle*-näppäintä, ohjelma hakee auton sen hetkiset tiedot. Mikäli kolmiotukivarren etu- ja takakiinnitys ovat samalla tasolla niin Y kuin X -koordinaatilla, tulee valinnaksi *Inline*. Mikäli ne eivät ole identtisiä näillä akseleilla, tulee valinnaksi *Offset*. *AutoCalc*-toiminnolla voidaan laskea vaihtoehtoisia paikkoja nivelpisteille. Ikkunassa on vaihtoehtoina:

- *Inline (front/rear reference)*: ohjelma laskee annettujen raja-arvojen mukaan vaihtoehtoisia kiinnityspaikkoja tukivarren nivelpisteille. Tukivarsien etu- ja taka-nivelpisteet ovat samassa tasossa X- ja Y-koordinaateilla, ja niitä muutetaan siten, että molemmat pisteet pysyvät samassa linjassa. Ohjelma tekee laskelmat edempänä olevan (*front*) tai taaemman (*rear*) nivelpisteen mukaan, ja muuttaa toista nivelpistettä samaan suuntaan, saman verran.
- *Offset (front/rear reference)*: Kolmiotukivarren edempänä ja taaempana oleva nivelpiste eivät ole samassa tasossa. Tällä valinnalla ohjelma pitää kuitenkin nivelpisteiden välisen etäisyyden samana. Valitsemalla joko edempänä olevan (*front*) tai taaemman (*rear*) nivelpisteen, ohjelma laskee sen sijainnin muutoksella myöskin toisen nivelen sijainnin, säilyttäen nivelpisteiden välisen etäisyyden alkuperäisen kaltaisena.
- *Front (rear fixed)*: Tällä vaihtoehdolla ainoastaan edempänä olevaa nivelpistettä muutetaan. Takimmainen nivelpiste säilytetään alkuperäisellä paikallaan. Edempänä oleva nivelpiste vaihtelee ilmoitettujen raja-arvojen sisällä.
- *Rear (front fixed)*: Vaihtoehdolla taaemman nivelpisteen paikkaa muutetaan annettujen raja-arvojen sisällä. Edempänä oleva nivelpiste pidetään alkuperäisellä paikallaan.

Ikkunan alalaidassa on yhteenveto valituista asetuksista. Ikkunassa näkyvät kumpaa puolta autosta käytetään laskuihin, jolloin toinen puoli on identtinen. *Geometry|Config* -ikkunasta valittu kallistuskeskiön sijainnin määrittäminen. Valittu asetus pyörän sijainnille. Kallistuskeskiön sijainnin muutoksen liikkuminen, sekä kallistusakselin suunta. Nämä asetukset löytyvät *Geometry*- tai *Roll and bump* -välilehden *Config*-ikkunasta.

Chassis limits -ikkunassa ohjelmalle annetaan nivelpisteiden vaihteluarvot. Pisteiden Z-koordinaatin arvoa ei muuteta. Vaihteluarvot määritetään ikään kuin laatikoksi. Annetaan maksimi- ja minimiarvo X- ja Y-akselille. *Step*-kohtaan ilmoitetaan millä välillä halutaan

tuloksia laskea. Mitä enemmän pisteitä ohjelma joutuu laskemaan, sitä enemmän aikaa laskentaan tarvitaan. *Top pickup point* on heilahtelunvaimentimen yläpää. *Bottom pickup point* on alapään nivel, jota halutaan muuttaa, edellisen ikkunan vaihtoehtojen mukaan.

Vehicle-näppäimellä ohjelma lataa auton olemassa olevat sijainnit nivelpisteille. Mikäli *Geometry|Config*-ikkunasta on valittu korin nivelpisteiden kiinteä sijainti, ei ohjelma tee muutoksia heilahtelunvaimentimen yläpään korkeus asemaan. X-akselin suuntaan annettuja yläpään mittoja käytetään ainoastaan, mikäli *camber*-säätö on ilmoitettu sijaitseväksi heilahtelunvaimentimen yläpäässä. Muussa tapauksessa ei laskennalla ole merkitystä.

Strut limits/Upright limits -ikkunasta voidaan muuttaa MacPherson jousituksessa alapallonivelen paikkaa olka-akselissa. Ohjelmalle ilmoitetaan X-, Y- ja Z-koordinaattien vaihteluvälit, ja ohjelma laskee niiden perusteella eri mahdollisuuksia alapallonivelen sijainnille ja sen vaikutusta auton käyttäytymiseen.

Test limits -ikkunassa ohjelmalle ilmoitetaan, mitä testauksilla ja vaihtoehtoisilla nivelpisteillä halutaan saada aikaan. Ikkunaan voidaan ilmoittaa joko ympyrän halkaisija, jonka sisällä ohjelma voi nivelpisteen paikkaa muuttaa (*Top/Bottom pickup radius*). Ohjelmalle voidaan ilmoittaa minimi- ja maksimiarvo *camber*-kulman osalta, sisään ja ulosjoustossa, sekä staattisen kallistuskeskiön korkeus ja kallistuskeskiön liikkumisen arvo. Näiden arvojen perusteella ohjelma laskee annetuista nivelpisteiden vaihteluväleistä sijainnit, joissa nämä arvot toteutuvat.

Print-laatikon valitsemalla, saa ohjelmalta ulos tiedot kaikista kyseiseen kohtaan liittyvistä laskelmista. *Test*-laatikon raksimalla, ohjelma ilmoittaa onnistuneet variaatiot. *Test*-laatikoita voi valita niin monta kuin haluaa. Mikäli ohjelma ei löydä ensimmäisestä valitusta *Test*-kohdasta yhtään mahdollista sijaintia, ei se laske seuraavia *Test*-kohtia.

Calc-ikkunassa ohjelma laskee annettujen vaihteluvälien sisällä olevat vaihtoehdot. Ensimmäisenä ohjelma ilmoittaa, montako eri vaihtoehtoa on annetuilla rajoilla, ja seuraavana ohjelma ilmoittaa montako vaihtoehdoista täyttää annetut rajat. Tiedot voi tallentaa Exceliin tallentamalla tiedoston joko tekstitiedostona, taikka CSV-tiedostona.

Tools

Tools-välilehdellä on ohjelman käyttöä helpottavia työkaluja. *Datum*-ikkunassa voidaan muuttaa auton koordinaatiston nolla-akselien sijaintia. Voidaan muuttaa esimerkiksi maassa oleva koordinaatisto, auton tiettyjen kiintopisteiden perustaiseksi. Tämä voi helpottaa esimerkiksi tilanteessa, jossa autosta otetaan mitat omassa tallissa, tehdyllä aluslevyllä, mutta muutostyön suorittaa ulkopuolinen taho, jolle voidaan ilmoittaa kaikki halutut mitat tiettyyn auton kiintopisteeseen nähden. Näin ei tarvitse tehtyä mittaustasoa alkaa siirtämään, eikä valmistaa toista mittaustasoa, ja vaa'ittaa sitä uuteen paikkaan. Ohjelmalle määritetään uuden koordinaatiston nollakohtat vanhaa koordinaatistoa hyväksikäyttäen. Näin ohjelma laskee nivelpisteiden paikat uudelleen, uuden koordinaatiston mukaan. Olemassa olevaa akselia voidaan myöskin siirtää. Siirtäminen tapahtuu *Datum*-ikkunan toiselta välilehdeltä. Ohjelma laskee uudet koordinaatit siirretyn akselin perusteella.

SusProg 3D -ohjelman saa myöskin laskemaan tietoja suoraan Excel-työkirjaan. Vaihtoehdot Excelin ja SusProg 3D:n yhteensopivuudelle löytyvät *Tools*-välilehdeltä. Vaihtoehtoina on tietojen suora laskeminen Exceliin, tietojen vieminen ja nouto Exceliin. SusProg 3D voidaan yhdistää myöskin CMM-koneeseen, jolloin koordinaattien ilmoittaminen ohjelmalle helpottuu.

Tools-sivulta löytyy myös työkalu Mumford-linkin mitoittamiseen. Työkaluilla voidaan myöskin laskea ylätukivarren shimmilevyjen määrää ja vaikutusta auton pyöränkulmiin. *Xmbr*-ikkunassa voidaan ilmoittaa ohjelmalle erillinen poikittaistuki etuakselina. Ohjelmalta saadaan mitat tukivarsien nivelpisteille niin poikittaistuen nollakohtiin, kuin itse auton rungon nollakohtiin nähden. Viimeisinä kohtina on *Tools*-sivulla lehtijousen, sekä kierrejousen suunnitteluun tarkoitetut työkalut.

5 LOPUKSI

Opinnäytetyön tuloksena syntyi kaksi PowerPoint-esitystä (Liite 1 ja 2), sekä niitä tukevana tämä raportti. Tuotettujen kahden PowerPoint:n ensimmäinen osa on pääosin SusProg 3D -ohjelman esittelyä. Toinen osa keskittyy enemmän ohjelman käyttöön. Tässä luvussa käydään läpi raportin ja esitysten tekemistä, sekä raportin sisältöä, omaa työtä arvioiden.

5.1 Pyöräntuennan mittaaminen

Mittaus-luvussa käsiteltiin auton mittaamista valmistautuessa SusProg 3D:n käyttöön. Ohjelmisto vaatii toimiakseen pyöräntuennan tukivarsien nivelpisteiden koordinaatit, joten mittaaminen linkittyy kiinteästi ohjelman käyttöön. Mittaus-luku ei ole täydellinen ohje mittauksen suorittamiseen, mittausta on kuitenkin laajasti esitelty, ja luvun perusteella saadaan käsitys mittauksen kulusta. Kuvia mittojen otosta löytyy paljon SusProg 3D:n *Help* -kansioista. Jokaisessa tietojen käyttö ruudussa oleva *Help*-näppäin antaa paljon tietoa mittaamisesta, sekä kuvia mittojen ottamisesta. Mittaamisen periaatteen ymmärtäminen on kuitenkin saatu tässä työssä mielestäni hyvin esiin. Tämä työ jättää kuitenkin tilaa vielä toisellekin opinnäytetyölle, jossa mittaamista voisi vaikka käsitellä pääasiallisesti.

5.2 SusProg 3D:n käyttö

SusProg 3D:n käyttöä koskevassa luvussa käsitellään laaja-alaisesti ohjelman kaikkia toimintoja. Tässä luvussa oli vaarana tehdä siitä ainoastaan *Help*-osion suomennos. Tämän uhan huomasin heti työn alussa. Pyrin tekemään työn siten, että käyttöohjeiden sisään tulisi mahdollisimman paljon viittauksia käytännön esimerkkeihin. Tämä näkyy esimerkiksi täydentämällä ohjelman tietoruutujen selityksiä tiedolla komponenteista, joihin valintoja voidaan käyttää.

Ohjelmiston sisältö on niin laaja, että työssä käännettiin painopistettä enemmän perustietojen läpikäymiseen. Työssä on käyty perustietojen syöttäminen tarkasti läpi, mitä kukin vaihtoehto pitää sisällään. Laajuutta rajattiin siten, että työssä käydään tarkimmin läpi etuakselistolta MacPherson-joustintuen ja jäykän taka-akselin tietueet.

Lisäksi työssä on tutustuttu päällekkäisillä kolmiotukivarsilla varustetun auton erikoisuuksia. Tämä tuentatyyppi olisi sopinut myös työn pääaiheeksi. Päällekkäisissä kolmiotukivarsissa on kuitenkin se ”harmi”, että siinä etu- ja takatuenta eivät eroa toisistaan ohjelmalle ilmoittaessa ohjauslaitteet pois lukien mitenkään. Työssä onkin käsitelty pääasiallisesti kolmea pyöräntuentatyyppiä: MacPherson, jäykkä/vetävä akseli sekä päällekkäisillä kolmiotukivarsilla oleva tuentatapa.

Työssä käytiin läpi myös ohjelman edistyneempiä osia, kuten automatisoitua laskentaa ja painonsiirron vaikutuksia. Näihin toimintoihin ei kuitenkaan liiallisesti syvennytty, koska työn tarkoitus on nimenomaan auttaa ohjelman käytön aloittamisessa. Edistyneempien osien käyttö vaatii käyttäjältä jo huomattavasti enemmän ymmärrystä auton ajodynamiikasta.

Tähän työhön liittyen olisi mahdollista tehdä SusProg 3D:stä opinnäytetyö, jossa laadittaisiin harjoitustehtävä ohjelmalla tehtäväksi. Harjoitustehtäviä voisi tehdä useamman eri pyöräntuentaratkaisuille. Harjoitustehtävissä voitaisiin määrittää auton kallistuskeskiön perusteella tukivarsien sijainti ja tehdä työ toisinpäin, eli määrittää kallistuskeskiön sijainti tukivarsien perusteella. Tällöin ohjelmiston käytön ymmärtäminen olisi huomattavasti helpompaa, kun sitä pääsisi ohjatulla työllä tekemään käytännössä.

5.3 PowerPoint-esitykset

Esityksiä muodostui kaksi kappaletta. Ensimmäisessä osassa (Liite 1) käydään läpi ohjelman käyttötarkoitusta ja sen kilpailijoita, sekä mittaamisen perusteita. Ensimmäisen osan tarkoitus olikin vain esitellä pyöräntuennan suunnitteluohjelman käyttöä ja tarvetta. Myös on tärkeää tietää, mitä muita ohjelmia on tarjolla. Kilpailijoita ei kuitenkaan ole kovin tarkasti lähdetty esittelemään, vaan niiden esittely liittyy lähinnä ominaisuuksiin, joita joko on tai ei ole SusProg 3D:ssä. Myös ohjelmistojen hinnat on kerätty yhdeksi taulukoksi. SusProg 3D esittäytyy työssä vertailuista ohjelmistoista halvimmaksi (Taulukko 1).

Toisessa esityksessä (Liite 2) käydään läpi tietojen syöttöä ja ohjelman käyttöä. Esitys on tehty siten, että samalla kun esitystä käydään läpi, on opettajan mahdollista lukea tätä raporttia. Esityksessä on jokainen välilehti käyty erikseen läpi ja siitä löytyvät kuvat kaikista tarvittavista tietoiikkunoista.

Esityksessä on lopuksi vielä raapaistu pintaa ohjelman edistyneemmistä työkaluista, joiden avulla ohjelmasta saa sen täyden potentiaalin irti. Dioja voi täydentää loputtomasti puheella ja uudella tiedolla. Tämä on mahdollistettu tällä raportilla hyvin kattavasti. Tietoa on paljon, joten esimerkiksi opetustilanteessa on mahdollista laajentaa aihetta huomattavasti enemmän, kuin esitys itsessään näyttää.

LÄHTEET

Laine O. 1981. Autotekniikka Osa 2. 2. uusittu painos. Tampere. Oy Sonator Ab.

Lotus Cars 2020. Viitattu 25.5.2020 https://www.lotuscars.com/content/media/Shark_insert.pdf

OptimumG 2019a. Optimum Kinematics. Viitattu 25.5.2020 <https://optimumg.com/product/optimumkinematics/>

OptimumG 2019b. Students. Viitattu 28.5.2020 <https://students.optimumg.com/software/>

Performance Trends Inc 2020. Suspension Analyzer. Viitattu 25.5. 2020 <http://performancetrends.com/SuspAnzr.htm>.

SusProg 3D -ohjelmisto 2020a. *Help*-osio. Geometry. Axle. Housing, diff and hubs.

SusProg 3D -ohjelmisto 2020b. *Help*-osio. Spring, Shockabsorber & Antirollbar. Anti-roll bar dimensions.

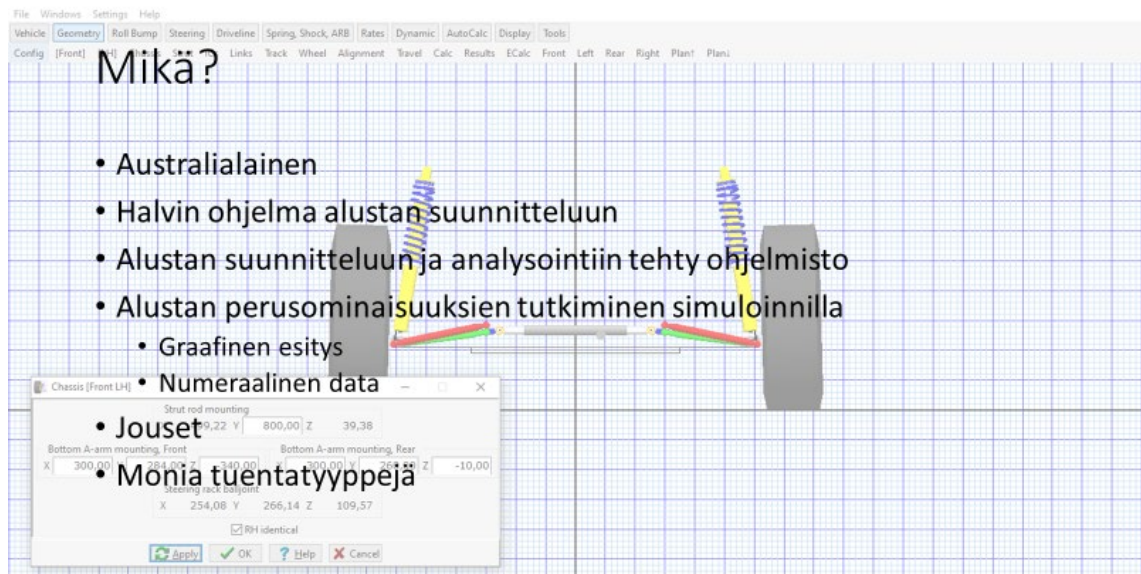
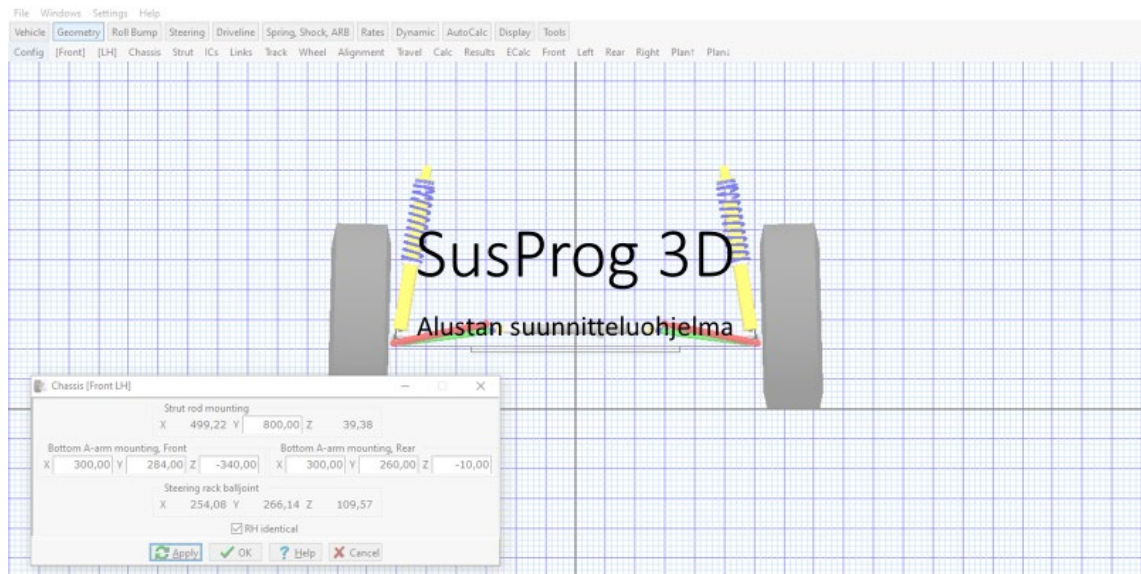
SusProg 3D -ohjelmisto 2020c. *Help*-osio. Geometry. Strut. Integral strut tube and knuckle.

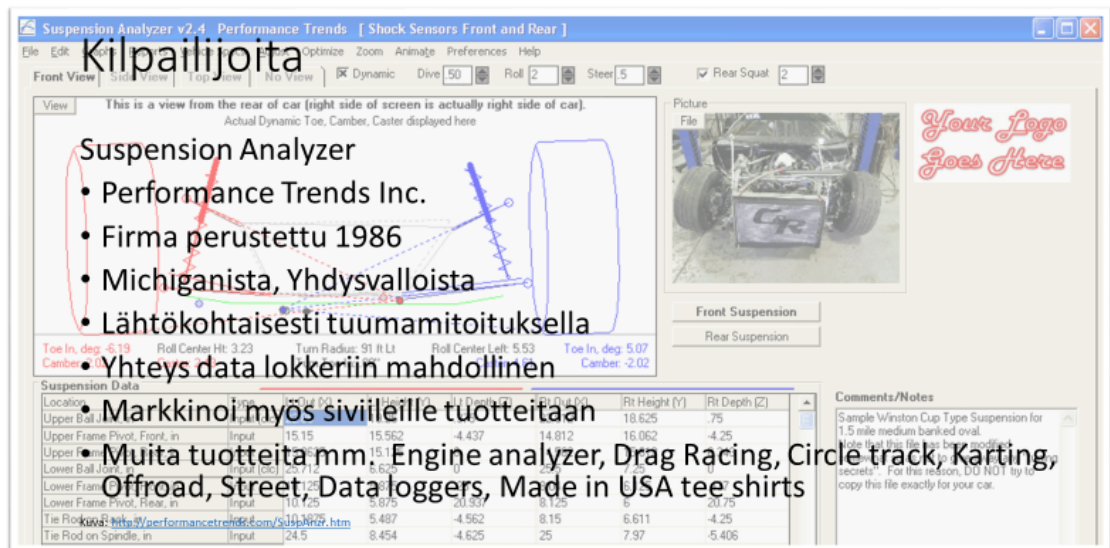
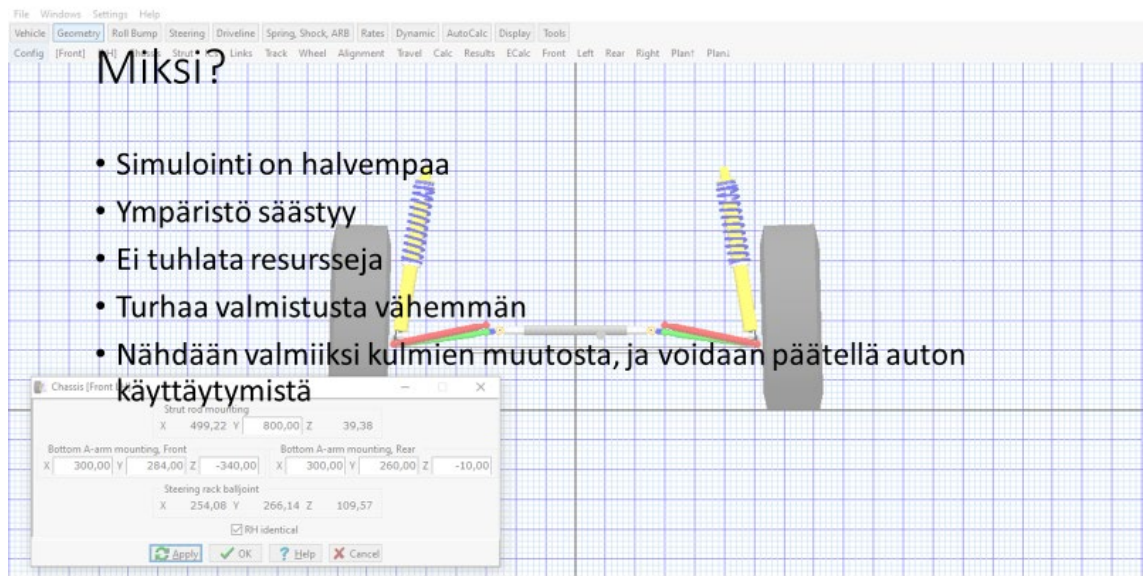
SusProg 3D -ohjelmisto 2020d. *Help*-osio. Geometry. Strut. Separate strut tube and knuckle.

SusProg 3D -ohjelmisto 2020e. *Help*-osio. Vehicle. Wheel and tyre.

SusProg 3D -ohjelmisto 2020f. *Help*-osio. Suspension geometry types. Live/de Dion/Rigid axle. Torque arm + 4 trailing links and birdcage + Panhard rod.

PowerPoint esitys: SusProg 3D -tutustuminen



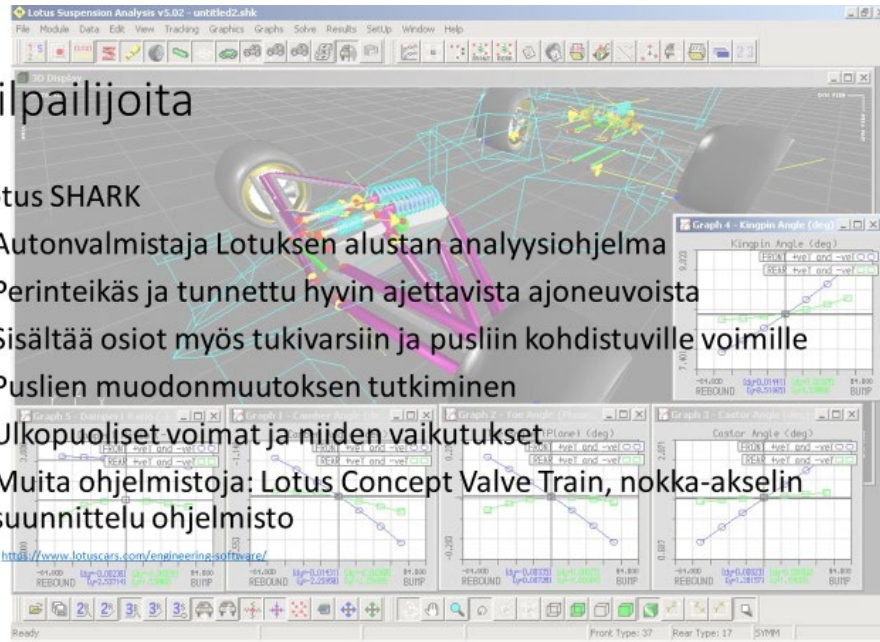


Kilpailijoita

Lotus SHARK

- Autonvalmistaja Lotuksen alustan analyysiohjelma
- Perinteikäs ja tunnettu hyvin ajettavista ajoneuvoista
- Sisältää osiot myös tukivarsiin ja pusliin kohdistuville voimille
- Puslien muodonmuutoksen tutkiminen
- Ulkopuoliset voimat ja niiden vaikutukset
- Muita ohjelmistoja: Lotus Concept Valve Train, nokka-akselin suunnittelu ohjelmisto

Kuva: <http://www.lotuscars.com/engineeringsoftware/>

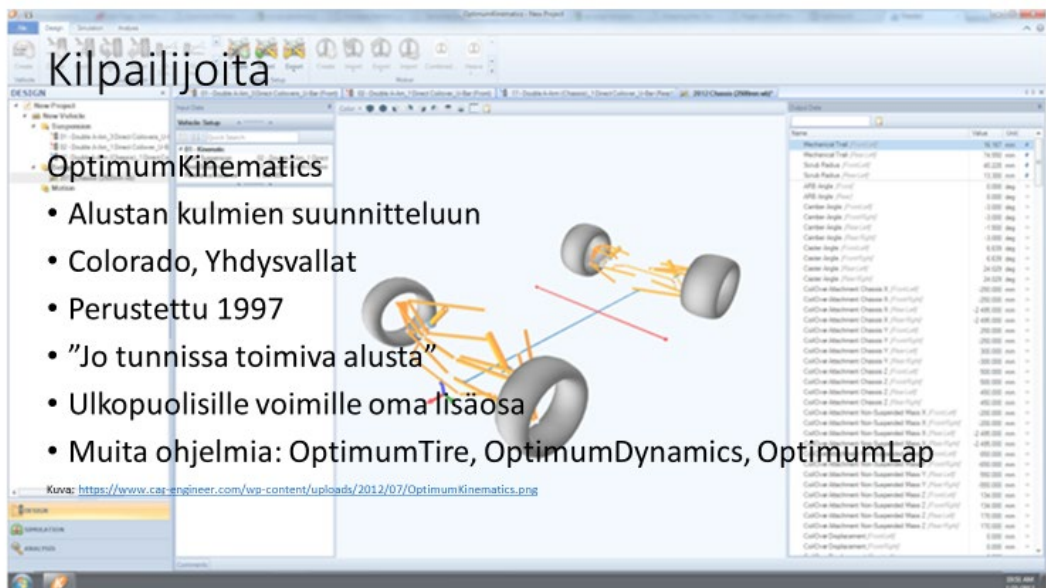


Kilpailijoita

OptimumKinematics

- Alustan kulmien suunnitteluun
- Colorado, Yhdysvallat
- Perustettu 1997
- ”Jo tunnissa toimiva alusta”
- Ulkopuolisille voimille oma lisäosa
- Muita ohjelmia: OptimumTire, OptimumDynamics, OptimumLap

Kuva: <https://www.cae-engineer.com/wp-content/uploads/2012/07/OptimumKinematics.png>

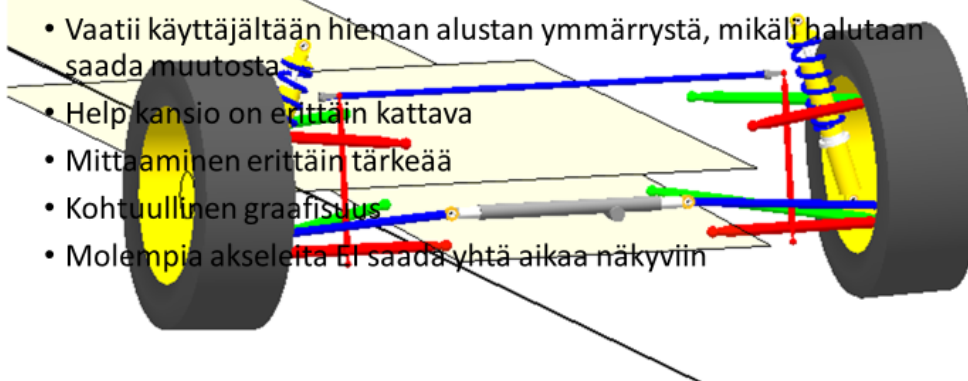


Hinta

	SusProg 3D	Suspension Analyzer	Lotus SHARK	Optimum Kinematics
Lisenssi	275€	365€	2696€/ vuosi	686€ / vuosi
Lisälisenssi	110€		Jatkuva lisenssi 10782€ + 1078€/vuosi	
Akateeminen lisenssi	138€		Ensimmäinen ilmainen	268€ / vuosi
Akateeminen lisälisenssi	55€		< 5 = 805€ < 10 = 1498€ < 15 = 2124€ /vuosi	2 = 450€ / vuosi 3 = 632€ / vuosi

SusProg 3D

- Hyvä yhdistettävyyys Exceliin
- Voidaan yhdistää myös CMM laitteistoon
- Vaatii käyttäjältään hieman alustan ymmärrystä, mikäli halutaan saada muutosta
- Help kansio on erittäin kattava
- Mittaaminen erittäin tärkeää
- Kohtuullinen graafisuus
- Molempia akseleita ei saada yhtä aikaa näkyviin



Mittaaminen

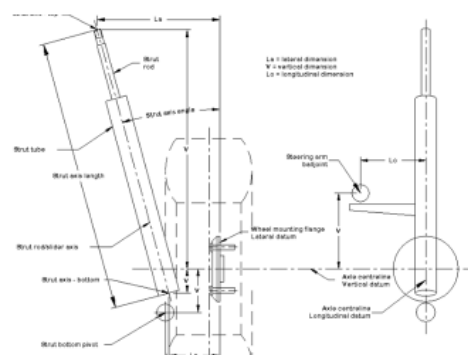


- Vaatii tasaisen alustan
- Korin asemoiminen ajokorkeuteen
- Korin koordinaatiston nollakohdat kannattaa merkitä alustaan
- Ajoneuvon paikka kannattaa merkitä alustaan parista kohtaan
 - Esim. reikä helpapellissä, jonka kohta pitää osua alustan tiettyyn kohtaan
 - 2 tai 3 kohtaa on riittävä
 - Pituus ja leveys suunta
- Mittaaminen onnistuu kotikutoisestikin
- Rakennuslaser nopeuttaa työtä huomattavasti



Mittaaminen

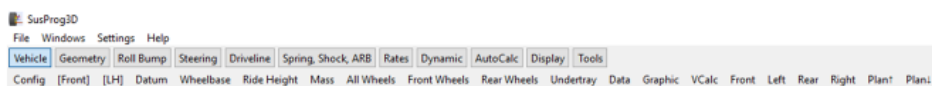
- Akselistot mitataan erikseen
- Mitattava myös joustoliikkeen minimi ja maksimi arvo
- Olka-akselin kiinnikkeet mitataan vanteen kiinnityspintaan, sekä laakerin pysty- ja vaakaleikkaukseen
- Erillinen mittausjigi auttaa mittaamisessa
- Jäykkä taka-akseli mitataan pyöränlaakerin pysty- ja vaakaleikkaukseen, sekä akselin keskikohdan mukaan
- Ohjauksen C-Factor = iskunpituus/ratinkierrokset
- Kallistuksenvakaajan mitat
- Renkaiden mitaus



PowerPoint esitys: SusProg 3D -käyttäminen

SusProg 3D

Ohjelmiston käyttö



Perusnäköymä

- Vehicle: alustan perustiedot, renkaiden koot, massat, korin asento ja sijainti.
- Geometry: alusrakenteet, korin kiinnityspisteet, akseliston puoleiset kiinnityspisteet, kallistuskeskiö, tukivarsien pituudet, joustoliikkeen rajoitukset, raideväli sekä akseliväli.
- Roll Bump: keskittyy auton joustoliikkeeseen
- Steering: ohjausvaihteen sijainti, raidetankojen pituudet sekä pyörien kääntökulmat
- Driveline: vetävien akselien asetukset, kampiakselin ja kardaanin sijainti
- Spring, Shock, ARB: Jousien suuret ja sijainnit, sekä kallistuksenvakaimen asetukset
- Rates: Näyttää kootusti eri komponenttien arvot
- Dynamic: laskee auton parametreja liikkeen aikana, muilla välilehdillä tulokset ovat staattisista tilanteista
- AutoCalc: laskee automaattisesti haluttuja arvoja, suurempina kokonaisuuksina
- Display: ohjelman graafisuuden valintoja
- Tools: työkaluja auton käyttäytymisen mallintamiseen, ja tulosten ulos ottamiseen.

Settings

- Unit: käytettävä yksikkö
- Motion ratio: iskunvaimentimen ja renkaan liike
- Axis system: koordinaatiston asettaminen
- Wheel mounting flange: ET mittaus
- Wheel toe measurement: aurauksen ilmoitus tyyli
- Angular units: DD.dd, desimaali vai DD°MM', aste minuutteja
- Display: ruudukon koko ja väri sekä taustaväri

Laskenta

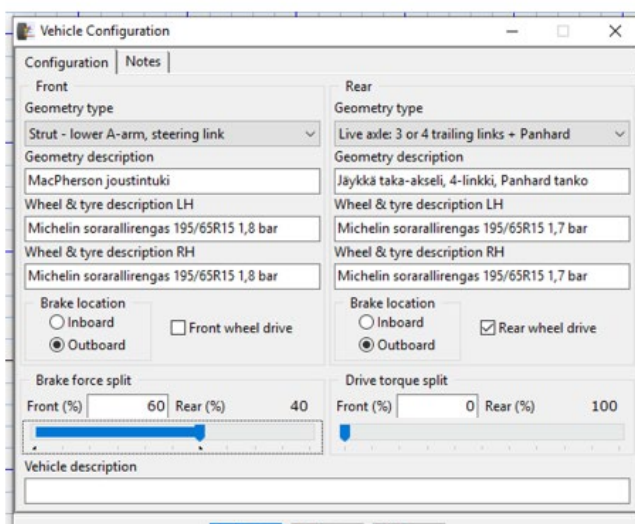
- Jokaisessa tietojen syötön ikkunassa **MUISTA:**
 1. Apply: hyväksyy muutokset
 2. Ok: sulkee ikkunan
 3. Calc: laskee muutokset
- Calc toimintoja on kolme
 - Vcalc: laskee koko auton
 - Ecalc: laskee auton pään (etu/taka)
 - Calc: laskee pelkän välilehden

Display

- Graafiseen esitykseen liittyvät valinnat
- Control: raksi näkyviin haluttavat komponentit ja kulmat
- [Hold/NoHold]: resetoiko laskennan yhteydessä katsannon
- [Both/LH/RH]: kumpi puoli vai molemmat näkyvissä
- [Chassis/Wheel]: korkeutta säädettäessä paikallaan olevan valinta
- Print: tulostaa graafisen näkymän
- Jokaisessa välilehdessä:
 - Katsannot: Front, Left, Rear, Right, Plan \uparrow sekä Plan \downarrow
 - [Front/Rear]

Vehicle

- Config: valitaan alustan tyyppi



Vehicle

- Datum: koordinaatiston nollakohdat

Vehicle

- Ride height: korin ajokorkeus, ja referenssi pisteet

Vehicle

- Mass: korin painot

Vehicle Mass and Centre of Gravity			
Corner weights (unsprung)		Corner weights (vehicle)	
LH	RH	LH	RH
Front	33,000 kg	33,000 kg	250,000 kg
			26,04 %
Rear	63,000 kg	61,000 kg	230,000 kg
			23,96 %
		Total vehicle mass 960,000 kg	
Front		Left side	
Total unsprung	66,000 kg	Total unsprung	96,000 kg
Total sprung	434,000 kg	Total sprung	384,000 kg
Total	500,000 kg	Total	480,000 kg
Distribution	52,08 %	Distribution	50,00 %
Rear		Right side	
Total unsprung	124,000 kg	Total unsprung	94,000 kg
Total sprung	336,000 kg	Total sprung	386,000 kg
Total	460,000 kg	Total	480,000 kg
Distribution	47,92 %	Distribution	50,00 %
Centre of Gravity			
Vehicle			
X	0,00	Y	540,00
Z	1150,00		
Chassis (sprung mass) [RH]			
X	-1,86	Y	598,48
Z	1047,27		
Chassis (sprung mass) datum coordinates [RH]			
X	-1,86	Y	598,48
Z	1047,27		
<input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Help"/> <input type="button" value="Cancel"/>			

Vehicle

- All Wheels: kaikkien renkaiden mitat
- Front/Rear Wheels: etu tai takarenkaiden mitat erikseen

Wheel and Tyre [All]			
Wheel			
Rim diameter	381,00 mm	<input checked="" type="radio"/> in	15,000
Rim width	152,40 mm	<input checked="" type="radio"/> in	6,000
Rim mounting offset	17,00 mm	<input type="radio"/> in	0,669
Tyre			
Tyre tread width	170,00 mm	<input checked="" type="radio"/> mm	6,693
Tyre section width	200,00 mm	<input type="radio"/> in	7,874
Tyre rolling radius	303,00 mm	<input type="radio"/> in	11,929
Tyre diameter	635,00 mm	<input checked="" type="radio"/> mm	25,000
Tyre spring rate	0,00 N/mm	<input type="radio"/> lb/in	
Wheel fitment			
Spacer thickness	0,00 mm	<input checked="" type="radio"/> mm	0,000
Description			
Michelin sorarallirengas 195/65X15"			
<input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Help"/> <input type="button" value="Cancel"/>			

Vehicle

- Undertray: aluslevyn mitat, ei pakollisia

Front undertray reference, Front			Front undertray reference, Rear								
X	350,00	Y	190,00	Z	-450,00	X	350,00	Y	210,00	Z	450,00
Centre undertray reference, Front			Centre undertray reference, Rear								
X	610,00	Y	210,00	Z	450,00	X	610,00	Y	210,00	Z	2000,00
Rear undertray reference, Front			Rear undertray reference, Rear								
X	400,00	Y	210,00	Z	2000,00	X	400,00	Y	210,00	Z	3500,00

RH identical

Apply OK Help Cancel

Geometry

- Config: mitä mittoja halutaan antaa, missä on mikäkin tukivarsi kiinni

Front: Strut - lower A-arm, steering link

Rear: Live axle: 3 or 4 trailing links + Panhard

Longitudinal links

4 link

4 link (LH birdcage)

4 link (RH birdcage)

3 link (no top LH link)

3 link (no top RH link)

Longitudinal link orientation

All links leading

All links trailing

Top links leading / bottom links trailing

Top links trailing / bottom links leading

Panhard rod mounting

LH on chassis, RH on axle

RH on chassis, LH on axle

LH on chassis, RH on birdcage

RH on chassis, LH on birdcage

Instant centre location

Suspension link mounting points

Swing axle lengths and roll/pitch centre heights

Wheel location and alignment

Wheel location + alignment

Strut mntg + wheel alignment

Bottom A-arm + wheel alignment

Strut mntg Z + bottom fr + wheel alignment

Strut mntg Z + bottom rt + wheel alignment

[Strut mntg + Wheel location + alignment]

[Strut mntg + bottom A-arm + wheel alignment]

[Strut mntg + bottom A-arm + steering + wheel camber]

Strut mntg + bottom A-arm + wheel toe

Strut mntg + bottom A-arm + steering linkage + turn

Track/Wheelbase reference point

On ground

Wheel centre / axle

Wheel location and alignment

Axle alignment

All top and bottom links + Panhard link

Track/Wheelbase reference point

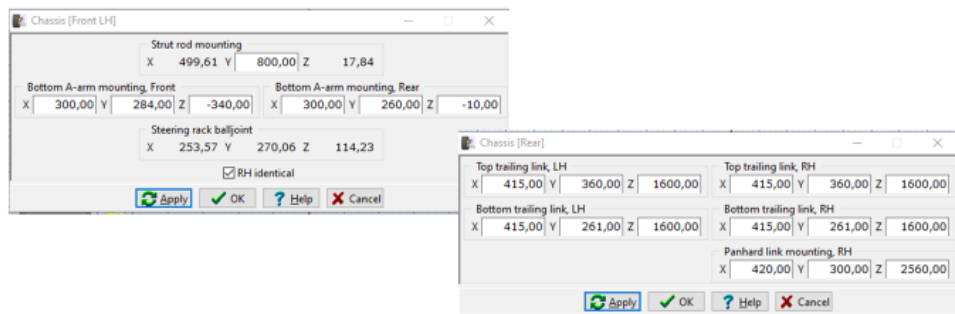
On ground

Wheel centre / axle

Apply OK Help Cancel

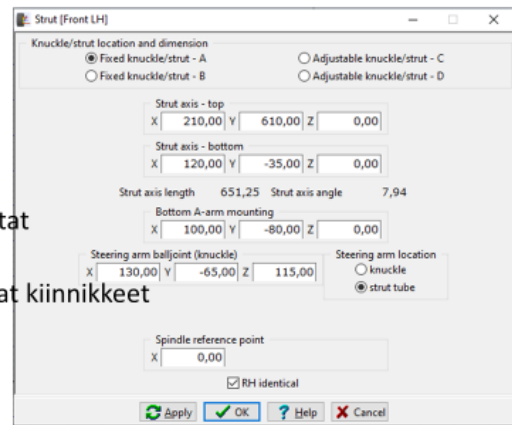
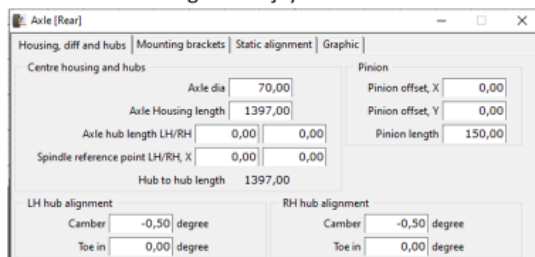
Geometry

- Chassis: korinpuoleisten nivelten paikat
- etu, ja taka-akseli ilmoitetaan erikseen



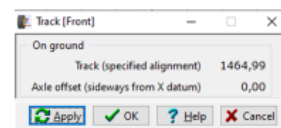
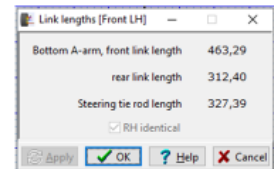
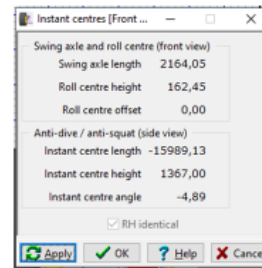
Geometry

- Strut/Upright/Axle: mitat akselista
 - MacPherson: annetaan joustintuen mitat
 - Erillisjousitus: olka-akselin mitat
 - Jäykkä taka-akseli: akselissa kiinni olevat kiinnikkeet
 - Live axle: jäykkä vetävä akseli
 - Rigid axle: jäykkä akseli



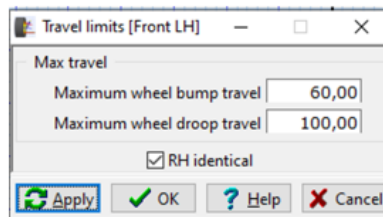
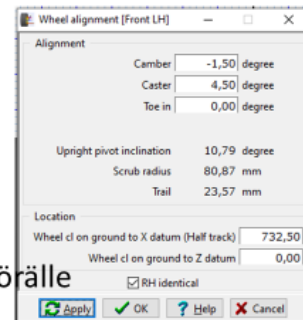
Geometry

- IC: kallistuskeskiön mitat
 - Mikäli ei määritellä, ei tarvitse täyttää
- Links: tukivarsien pituudet
 - Mikäli ei määritellä, ei tarvitse täyttää
- Track: raideväli
 - Mikäli ei määritellä, ei tarvitse täyttää



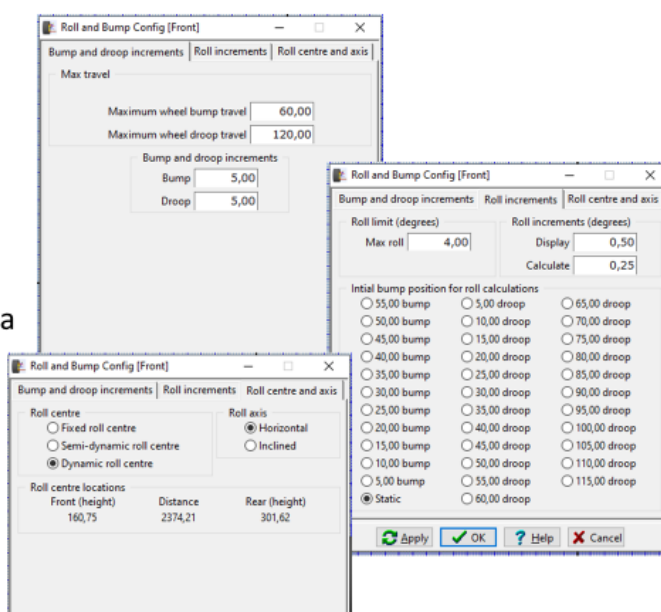
Geometry

- Wheel alignment: pyörän suuntaus
- Travel limits: maksimi sisään ja ulosjousto pyörälle



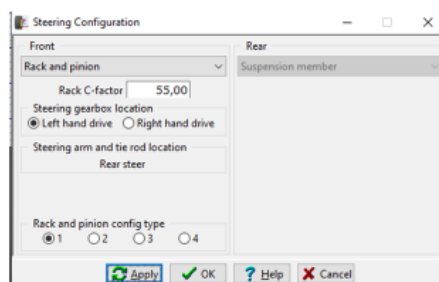
Roll Bump

- Config
- Maksimi arvot sisään ja ulosjoustolle, ohjelman laskentaväli
- Maksimi kallistuskulma ja laskentaväli
- Kallistuskeskiön liikkeen hallinta
- Täytetään etu- ja taka-akselille erikseen



Steering

- Config:
 - Rack and pinion: hammastanko
 - Pitman arm: simpukka ohjaus
- C-factor = hammastangon iskunpituus/ohjauspyörän kierrokset
- Alimmat vaihtoehdot ovat hammastangon graafista esitystä varten



Steering

- Rack location: hammastangon sisäpään sijainti
- Steering arm: hammastangon sisäpään sijainti navan suhteen
- [Fixed, Chassis, ChassisX/Y/Z tai Upright]: bump steer ilmiön ehkäisemiseksi, mitä suuretta muutetaan
- Toe turn: renkaan maksimaalinen kääntökulma, ulommasta renkaasta

Driveline

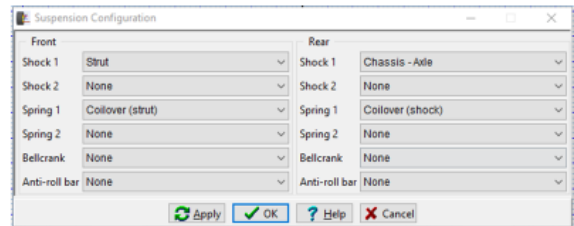
- Config: Kardanin ja vetonivelten tyyppi
- Gearbox: kampiakselin takapäen sijainti
- Hub: ulomman vetonivelen etäisyys vanteen kiintospinnasta
- Length: kardanin pituus (laskennallinen annetuista mitoista)
- [Auto/Fixed]: muuttaa sisäpään vetonivelen sijaintia siten, että vetoakseliin tulee mahdollisimman vähän räsitusta

Spring Shock ARB

- Config: Iskunvaimentimien tyyli ja kiinnitys

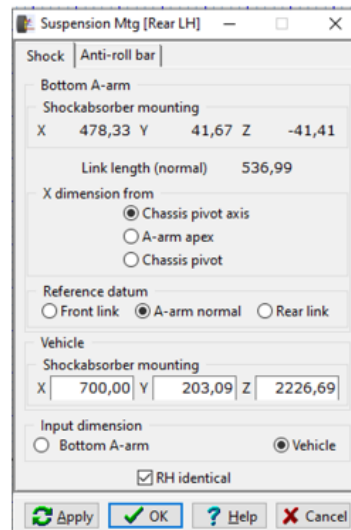
Huom! Mahdollista ilmoittaa useampi iskunvaimennin tai jousi tietyillä jousitustyypeillä

Chassis: korinpuoleinen kiinnitys



Spring Shock ARB

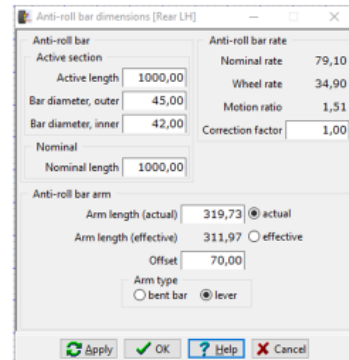
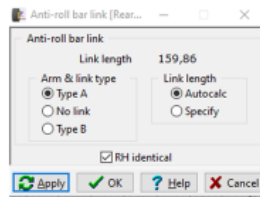
- Susp: tukivarteen tuleva kiinnitys
- Input dimension: valinnalla Vehicle, annetaan tämä mitta auton koordinaatteihin katsoen
- Bottom A-arm: antaa mitan tukivarren korinkiinnikkeiden välisen akselin, alapallonivelen sekä tukivarren linkkien tason suhteen
- Mahdollistaa tukivarren valmistuksen jigissä



Spring Shock ARB

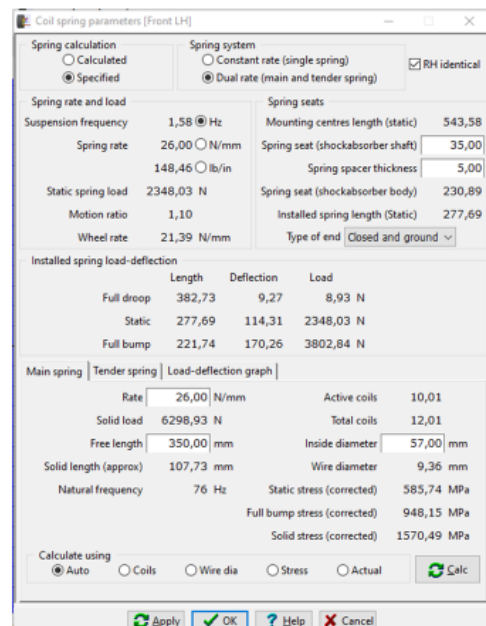
ARB: kallistuksen vakaimen kiinnitys

Link: kallistuksen vakaimen välitangon pituus



Spring Shock ARB

- Spring: jousen parametrit
- Vaihtoehtoina:
 - Spesifioitu tai laskettu
 - Yksi jousi apujousella tai ilman
 - Jousen pään muotoilu
 - Automaattinen jousen jäykkyyden laskeminen
 - Eri tietojen syöttö ohjelmalle
- Calculated: ilmoitetaan jäykkyys ja jousilautasten paikka
- Specified: käytetään alaosan jousilaskuria



Rates

- Yhteen koottuna eri arvoja
- Paino
- Jousitus
- Jousituksen liike
- Tällä sivulla voidaan esimerkiksi painon siirtämisen vaikutuksia tutkia

Dynamic

- Parameters:
 - jousituksen ja rengastuksen arvot kerättynä,
 - saadaan myöskin annettua maksimi G -voimat
 - valitsemalla Custom, voi arvoja muokata, ilman että tallennetut arvot muuttuvat
 - Madollista saada CSV tiedostona tulokset

	Front	Rear
Tyre rolling radius, mm	287,00	287,00
Tyre rate, N/mm	0,00	0,00
Spring rate in bump (at wheel), N/mm	0,00	0,00
Spring rate in roll (at wheel), N/mm	0,00	0,00
Spring base width, mm	1560,00	1579,98
Anti-roll bar rate in roll (at wheel), N/mm	0,00	0,00
ARB base width, mm	1560,00	1579,98
Roll centre height - minimum, mm	122,11	85,53
Roll centre height - step, mm	0,00	0,00
Roll centre height - maximum, mm	122,11	85,53
Track, mm	1560,00	1579,98
Wheelbase, mm	2265,00	

Data source: Vehicle Custom

Roll direction: LH RH

Lateral acceleration, G: Minimum

Lateral acceleration, G: Step

Lateral acceleration, G: Maximum

Additional results file format: None MS Excel (CSV)

Buttons: Save as, Open, Open with...

Torsional stiffness unit (Metric) | Torsional stiffness unit (Imperial)

Apply, OK, Help, Cancel

Dynamic

- Mass: ajoneuvon massat
- Dynamic Calc: laskee Parameters ikkunan tiedoilla G –voimien vaikutuksia
 - painon siirtyminen
 - kallistuminen
- Dynamic Results: näyttää tulokset teksti tiedostona
- PitchCalc: laskee pitkittäisen kallistuskeskiön
- PitchResult: näyttää lasketut arvot
- Pitch data: voi syöttää 20 data pistettä, kuinka etu ja takajousitus käyttäytyvät
- Pitch Graphic: näyttää pitkittäisen kallistuskeskiön liikkeen valitussa Pitch data pisteessä

AutoCalc

- Annetaan ohjelmalle tietyt reunaehdot
 - Kuinka paljon tukivarren kiinnitys saa muuttua
 - Mitä pitää kallistuskeskiön sijainnin olla
- Laskee eri vaihtoehtoja annettujen raja-arvojen puitteissa

Tools

- Voidaan muuttaa koordinaatiston nolla akseleita
- Excel yhteensopivuus työkalut
- Mumford tangon laskenta
- Kierre- ja lehtijousten laskenta
- Poikittaistuen asetukset
- Camber shimmi levyjen lisäys

SusProg 3D:n tukemat pyöräntuentatyytit

Description	Kuvaus	Tiedot	Etu	Taka
Double A-arm, toe link	Päällekkäiset kolmiotukivarret, raidetanko	Klassinen epäsymmetrinen tukivarsi	X	X
Lower A-arm, upper virtual A-arm, toe link	Alempi kolmiotukivarsi, virtuaalinen ylempi kolmiotukivarsi, raidetanko	Esim. Porsche GT3 takajousitus	X	X
Lower A-arm, upper parallel links, trailing link	Alempi kolmiotukivarsi, ylhäällä kaksi poikittaista tukivartta, yksi pitkittäinen tukivarsi	Esim. Plymouth Prowler		X
Upper A-arm, lower virtual A-arm, toe link	Ylempi kolmiotukivarsi, alempi virtuaalinen kolmiotukivarsi, raidetanko	Esim. Mitsubishi Galant -etujousitus	X	X
Upper A-arm, lower trailing and lateral links, toe link	Ylempi kolmiotukivarsi, alhaalla pitkittäis- ja poikittaistukivarsi, raidetanko	Esim. Mitsubishi Galant -takajousitus		X
Upper and lower lateral links, twin trailing links, toe link	Poikittais- ja pitkittäistukivarsi ylhäällä ja alhaalla, raidetanko	Esim. Corvette C4 -takajousitus		X
Upper and lower virtual A-arms, toe link	Ylhäällä ja alhaalla virtuaaliset kolmiotukivarret, raidetanko	Esim. Mercedes-Benz-monilinkki-takajousitus	X	X
Upper transverse leaf spring, lower reversed A-arm and trailing link	Poikittainen lehtijousi, käännetty alakolmiotukivarsi, pitkittäistuki	Esim. Triumph GT6		X
Upper lateral link, lower reversed A-arm, twin trailing links	Ylhäällä poikittaistukivarsi, alhaalla käännetty kolmiotukivarsi, kaksi pitkittäistukivartta	60-luvun urheilu- ja kilpa-auton takajousitus		X

Lower lateral link, lower reversed A-arm, Twin trailing links	Alhaalla poikittaistukivarsi, ylhäällä käännetty kolmiotukivarsi, kaksi pitkittäistukivartta	Vaihtoehtoinen 60-luvun urheilu- ja kilpa-auton takajousitus		X
Upper lateral link, lower parallel links, twin trailing links	Poikittaistukivarsi ylhäällä ja alhaalla, kaksi pitkittäistukivartta	Käännetyn kolmiotukivarren variaatio		X
Ford integral link	Fordin integroitu jousitus	Käytetty 2015 Mustangissa sekä muissa Fordin alustoissa		X
Ford twin I-beam	Fordin kahden I -palkin jousitus	Kaksi poikittaista ja kaksi pitkittäistukivartta. Käytetty Fordin pakettiautoja maastoautoissa	X	
Volkswagen twin trailing links	Volkswagenin kaksi pitkittäistukivartta	Käytetty kupla volkkareissa	X	
Jaguar IRS	H-tukivarsi alhaalla, vetoakseli	Vetoakselilla tehdään camber säätö		X
H-arm and camber control link	H-tukivarsi alhaalla, camber-säätö erillisellä tangolla	Esim. Ford Thunderbird		X
Porsche 928		Taka-tuenta		X
Semi-trailing arm		"pitkittäiset kolmiotukivarret"		X
Semi-trailing arm, camber control and toe control links	"pitkittäiset kolmiotukivarret", camber- ja raidetanko	Esim. Mazda RX7		X
Trailing arm, upper and lower lateral links	Pitkittäistukivarsi, poikittaistukivarret ylhäällä ja alhaalla	Esim. '84 Chevrolet Corvette, BMW E36		X
Trailing arm, upper and lower lateral links, toe link	Pitkittäistukivarsi, poikittaistukivarret ylhäällä ja alhaalla, raidetanko	Esim. Honda Civic ja Integra takajousitus		X

MacPherson strut	MacPherson-joustintuki		X	X
Strut lower "virtual A-arm, toe link	MacPherson-joustintuki virtuaalisella kolmiotukivarrella, raidetanko	Esim. jotkin BMW-mallit	X	X
Tri-link strut	Yksi pitkittäinen, kaksi poikittaista tukivartta			X
Live axle	Vetävä, jäykkä akseli	Vaihtoehtoisia tuentatyyppjä useita		X
Rigid axle	Jäykkä akseli	Vaihtoehtoisia tuentatyyppjä useita	X	X
de Dion axle	de Dion -akseli	Vaihtoehtoisia tuentatyyppjä useita	X	X