

Ajodynamiikka

Taustatyö "*kopterilain'*" muutosten perusteluiksi

Tammikuu 2006

Santtu Ahonen ja Risto Kaivola

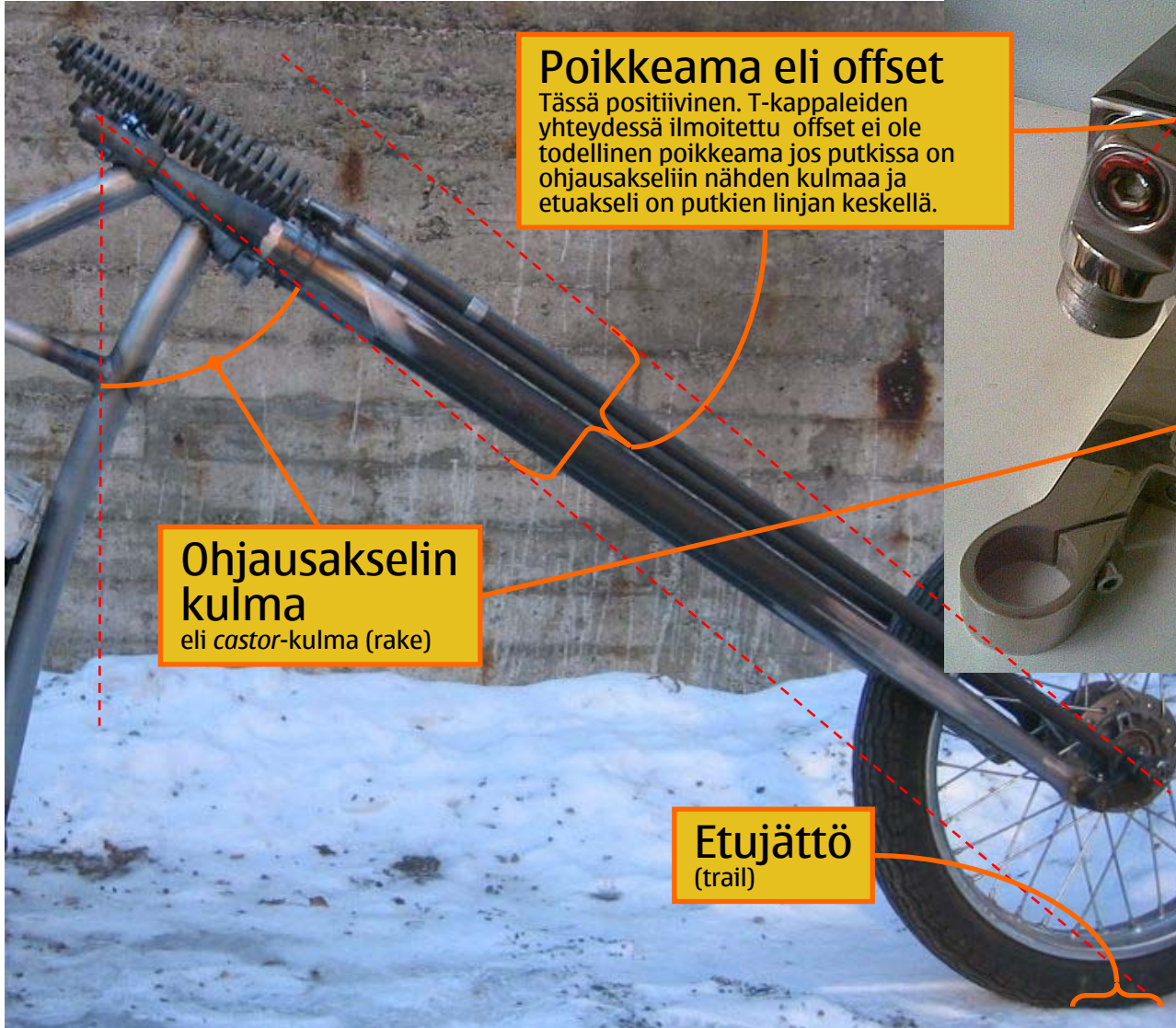


MMAF

Agenda - Ajogeometria lyhyesti

- Etujättö
- Heilahduksenvaimennus ja joustovarot
- Kääntyminen – Kallistusvarat ja kääntöympyrä
- Maavara
- Painopiste ja painon jakautuminen eri tilanteissa
- Jarrujen muutokset
- Rengasmuutokset
- Akseliväli ja muut enimmäismitat
- Erilaiset keularatkaisut
- Muut ajogeometriaan vaikuttavat tekijät ja säätämistarve
 - Värähtelytilat, wobble ja weave
 - Sorto, riisto
 - Erilaiset ohjausratkaisut ja niiden hyvät ja huonot puolet

Ohjausgeometrian terminologiaa



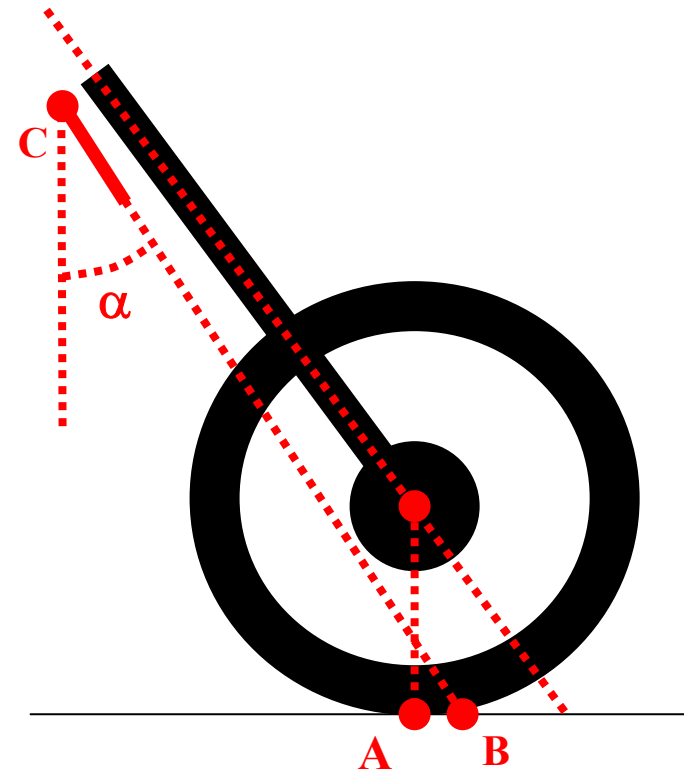
Poikkeama eli offset
Tässä positiivinen. T-kappaleiden yhteydessä ilmoitettu offset ei ole todellinen poikkeama jos putkissa on ohjausakseliin nähden kulmaa ja etuakseli on putkien linjan keskellä.

Ohjausakselin kulma
eli *castor*-kulma (rake)

Etujättö
(trail)

Etujättö

- Tärkein ajettavuuteen vaikuttava tekijä yli ~20kmh nopeuksissa
- Oikea arvo tekee pyörän stabiiliksi
 - Väärin tehtynä vaarallinen
- Tällä hetkellä etujättö määrätään 5...10cm mittaiseksi
 - Tehdaspyörissä yli 10cm etujättöjä
 - Kokemus osoittanut sopivaksi käytännön ylärajaksi 15cm
 - Suzuki VS 1400 GLE 16,6cm jätöllä
- Iskunvaimennuksen vaikutus etujättöön
- Etujätön säätö
 - Säädettävät t-kappaleet tai castor-kulma, myös tehdaspyörissä
- Erilaiset keularatkaisut pyrkivät vaikuttamaan nimenomaan etujättöön



Kuvassa etujättö on pisteiden A ja B välinen etäisyys. Ohjausakselin (castor) kulma on merkitty α :lla. Huomaa että kulma α on yleensä eri kuin teleskooppiputkien ns. *keulakulma*.

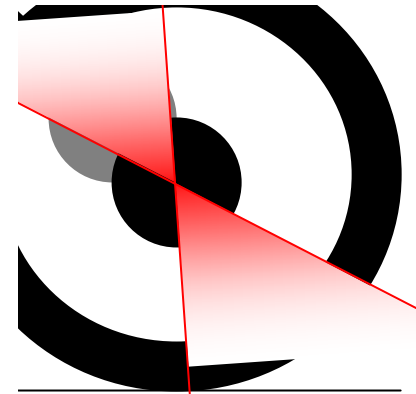
§ Etujätöstä tulee säätää asetuksella. Kokemusperäisesti tiedetään, että sopiva etujättö on 5-15cm. Harkinnan mukaan voidaan määrätä t-kappaleille ja ohjausakselin kulmalle vaatimus, jossa niiden säätö on voitava lukittava siten, että se ei voi ajossa muuttua.

Moottoripyörän käytös eri jätöillä

	Negatiivinen etujättö	Sopiva etujättö	Liian pitkä etujättö
Nopeus 0-20 km/h	Jäykkä ohjaus eli ikään kuin aliohjaa. Tangon kääntäminen nostaa runkoa, tämä keskittää ohjausta.	Ohjaus kevyt ja neutraali. Maavara laskee vähän ohjauksen ääriasennossa.	Yliohjaa. Ohjaus kolahtaa tankkiin pysäköidessä ja runko laskee voimakkaasti.
Nopeus 20-40 km/h	Ohjaus pidettävä ajosuunnassa käsivoimin. Yhdellä kädellä ei juuri uskalla ajaa. Kuin ajaisi yksipyöräisellä.	Ohjaus kevyt ja neutraali, myös ilman käsiä ajaminen luonnistuu hyvin. Jätön pituudella ei juuri vaikutusta.	Ohjaus tuntuu melko normaalilta, mutta on äkkiväärä; ensin ei tahdo kääntyä ja sitten on menossa nurin.
Nopeus 40+ km/h	Ohjaus ei itsestabiloi, pyörä värähtelee. Voi lingota kuskin ja pyörän ennalta arvaamattomaan suuntaan.	Lyhyellä jätöllä ohjaus herkkä ja nopea, pitkällä vakaa. Vastaohjaus ja kaarreajo toimii odotetusti.	Hyvin raskas ajaa, saattaa esiintyä voimakkaita värinöitä, vastaohjaus vaatii hartiavoimia. Ajettavissa.

Heilahduksenvaimennus

- Etuakselin jousto- eli liikesuunnan on oltava tietyissä rajoissa, jotta ohjaus ei pyri kuopissa vääntämään
- Tuotantopyörissä 3° ... 25° , yksittäis- ja piensarjavalmisteteissa jopa yli 60°
- Kulma muuttuu riippuen muusta alustan liikkeistä ja ohjauksen asennosta, myös erilaiset ohjausgeometriat (teleskooppi, tele-lever, girder jne.) vaikuttavat tähän
- *Jäykkä perä* ja pienet joustovarot vähentävät kulman muutoksia
- Erilaisissa keularatkaisuissa tämä kulma ei ole vakio

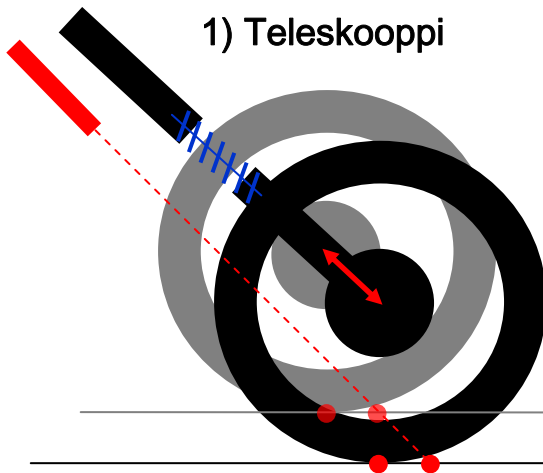


Etuakselin joustosuunnan tulee olla tietyissä rajoissa ja se ei saa olla negatiivinen. Ohjausakselin kulman on osuttava tähän haarukkaan.

§ Etuakselin heilahduksenvaimennuksen suunnasta voidaan harkinnan mukaan uutena säädöksenä määrätä, että se on oltava 3° ja 60° välissä.

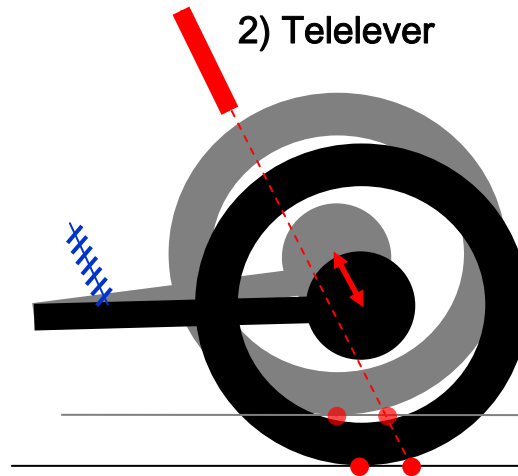
Tyypillisimmät keularatkaisut

1) Teleskooppi



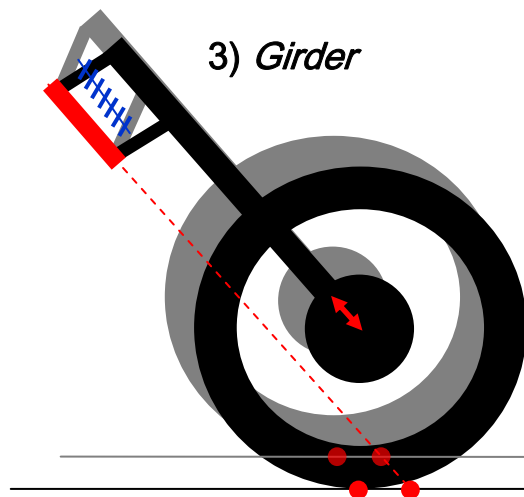
Yleisin keularatkaisu. Etujätön ja ohjausgeometrian hallinta hankalaa koska etujättö muuttuu, yleensä pienenee, ajotilanteen mukaan. Jarrutuksessa keula *sukeltaa*.

2) Telelever



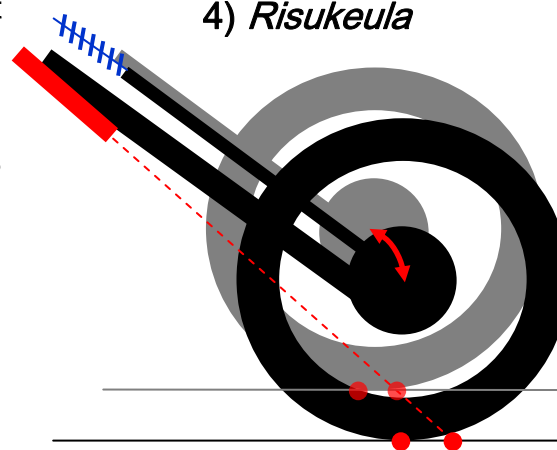
Etujättö ei juuri muutu eri ajotilanteissa. Pyörä ei sukella jarrutuksessa. Jousitus ei osallistu ohjaukseen joka on hoidettu vivustolla. Pieni jousittamaton massa.

3) Girder



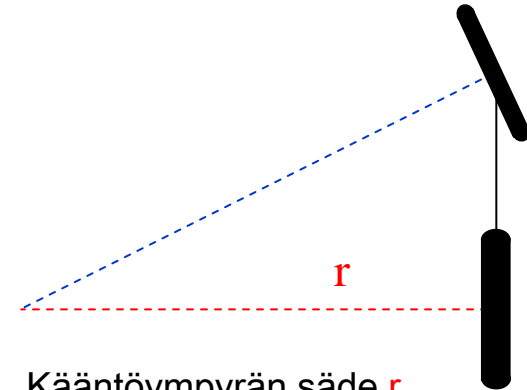
Samat ongelmat kuin teleskoopilla, kuitenkin iskunvaimennus paremmin hoidettavissa suurilla keulakulmilla. Pieni jousittamaton massa.

4) Risukeula

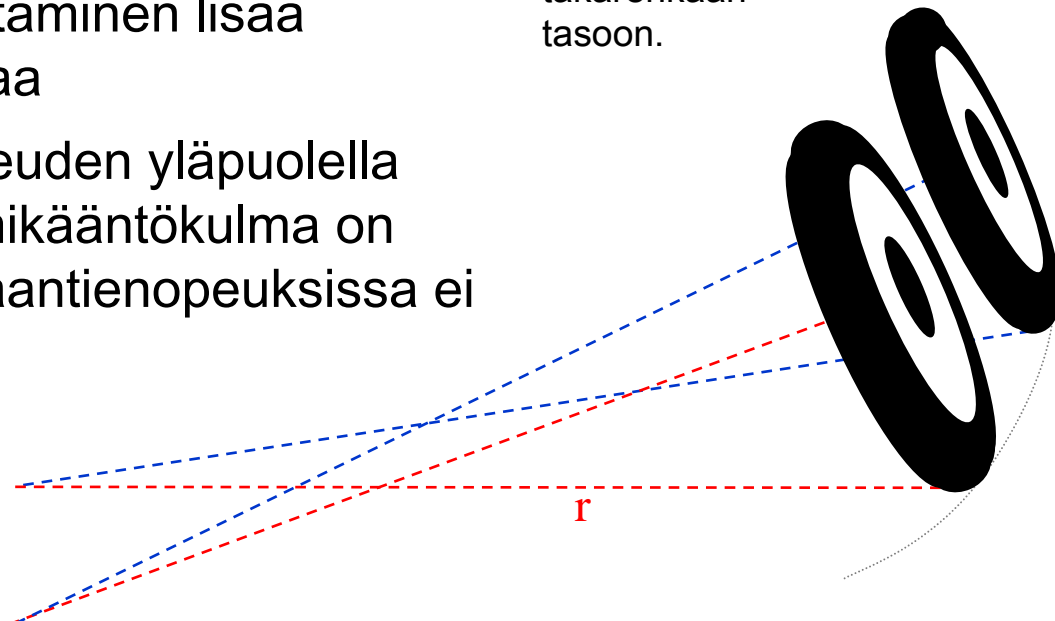


Etujättö muuttuu vähän eri ajotilanteissa. Keula pääsee oikeuksiinsa vasta suuressa kulmassa. Pyörä *sukeltaa* jarrutuksessa. Pieni jousittamaton massa.

- Etupyörän kääntökulma määrää ohjaukulman ja kääntöympyrän koon kun pyörä on pystyssä
- Likimääräinen ohjaukulma voidaan laskea ohjaustangon kääntökulman, akselivälin, ohjauksakselin kulman ja moottoripyörän kallistuskulman funktiona
- Kallistuksessa kaartosäde projisoituu vaakatasoon → kallistaminen lisää todellista ohjaukulmaa
- Stabiilin ~20kmh nopeuden yläpuolella ohjaustangon maksimikäntökulma on harvoin oleellinen, maantienopeuksissa ei koskaan

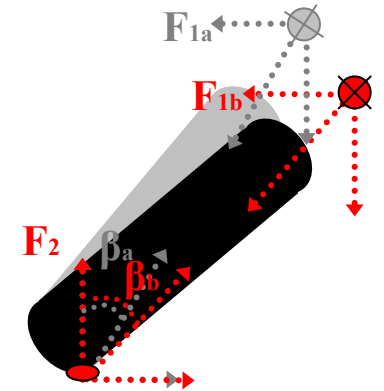


Kääntöympyrän säde r pienenee jos pyörää kallistetaan pystyasennosta. Säde r projisoituu etu- ja takarenkään tasoon.



Kallistuminen ja kallistusvarat

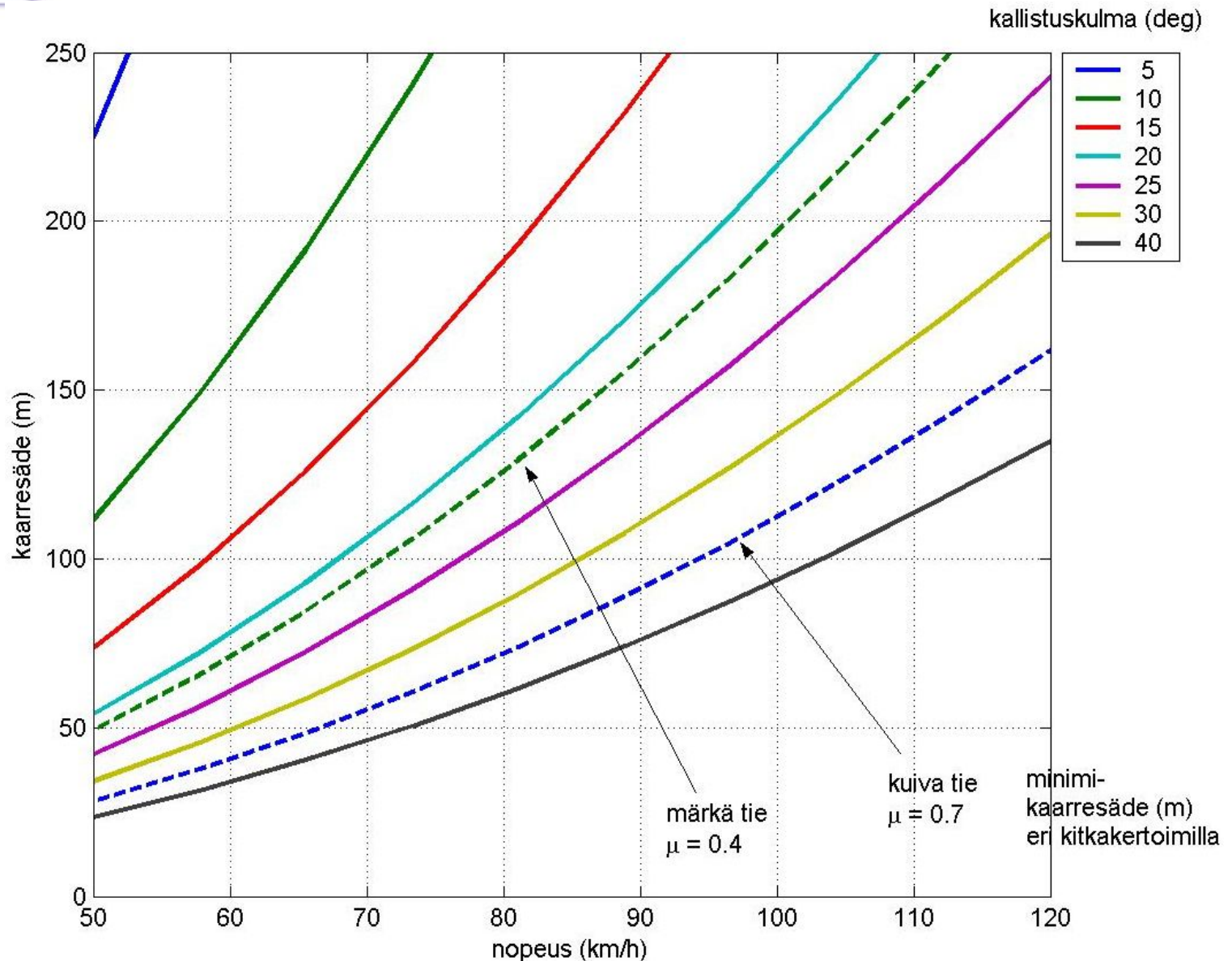
- Kallistusvaroista ei tällä hetkellä säädetä
- Kallistuskulma, ajettavan mutkan säde ja ajonopeus ovat toisistaan riippuvia suureita
 - Tarvittava kallistuskulma riippuu keskihakuvoiman suuruudesta
- Ajossa ensin maahan ottava osa pitää olla joustava
 - Vaarallisia: runko, muut kiinteät osat, erityisesti painopisteen alapuolella
 - Suhteellisen vaaraton: joustava jalkatappi tai äänenvaimennin
 - Tien epätasaisuudet, jarrutus ja jousituksen voimakas vaihtelu aina vaarallista



Keskihakuvoima $F_1 = \text{massa} \cdot \text{nopeus}^2 / \text{säde}$.
Maan vetovoima $F_2 = \text{massa} \cdot g$. Kallistuskulma β voidaan laskea kun tunnetaan nopeus ja kaartein säde.

§ Kallistusvaroista tulisi säätää asetuksella. Sopiva vähimmäiskallistusvara määritellyllä kuormalla on esimerkiksi 20° . Ensimmäisenä maahan saa osua joustava kappale.

Kallistuminen nopeuden funktiona



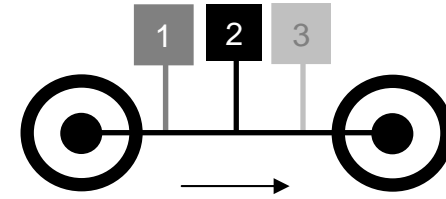
Maavara

- Minimimaavaraksi säädetään nykyään 80 mm
- Pelkkä maavaran säätely ei takaa riittävää kääntyvyyttä
 - Maavara keskilinjalla voi olla matala
 - Matala maavara linjan sivussa rajoittaa kallistusvaroja ja siten haittaa kääntyvyyttä erityisesti maantienopeuksissa
- Maavaraa tulee säätää jatkossakin, esineiden ja esteiden ylittäminen pitää olla mahdollista

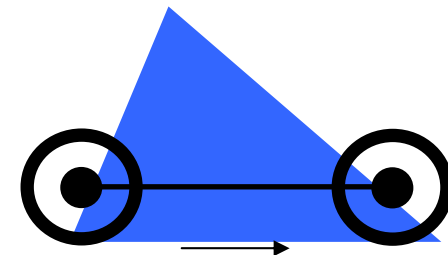
§ Maavarasta tulee säätää asetuksella kuten tähänkin asti. Sopiva minimimaavara on kuten tähänkin asti 80 mm.

Painon jakautuminen eri tilanteissa

- Painonjakauman osalta kaksi päähuolta
 1. Pyörän kippaaminen etu- tai takakautta
 2. Riittävä etu/takajarruteho
- Osoitettavissa laskelmin kun painopisteen paikka ensin mitataan
- Kokemuksen mukaan painonjakauma etu- ja takapään välillä on 30%-70% rajoissa
- Muuttuu ajossa ja kuorman, kyytiläisen jne mukaan
- Kuvaajat ($9,8 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ G}$) antavat painopisteen (mkp) korkeuden/akseliväli



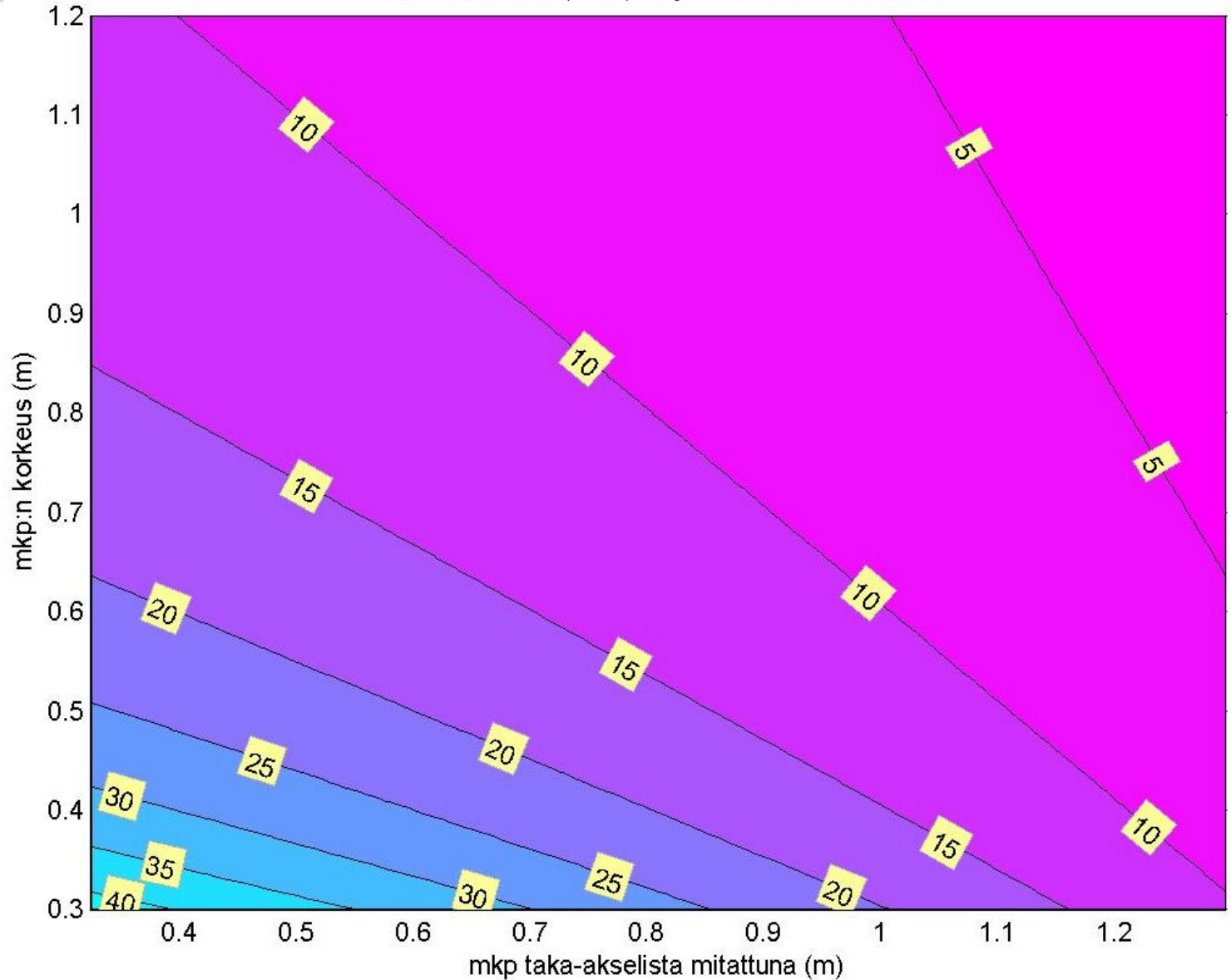
Painopiste ei vaikuta kokonaisjarrutustehoon, vain jarruvoiman jakautumiseen etu/takapyörälle



Alue jolla painopiste voi sijaita niin, että ajoneuvo ei mene etu- tai takakautta ympäri

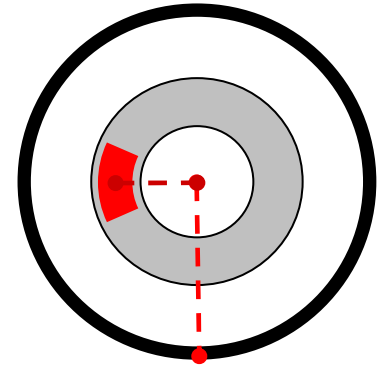
§ Painopisteestä tai painonjakaumasta ei ole tarvetta säätää erikseen. Erityisen lyhyiden pyörien kohdalla, tai jos akseliväliä lyhennetään, voidaan kuitenkin vaatia, että tarvittavat painopistelaskelmat on tehty.

max.hidastuvuus (m/s^2) etujarrulla, akseliväli 1.62m



Jarrujen muutokset

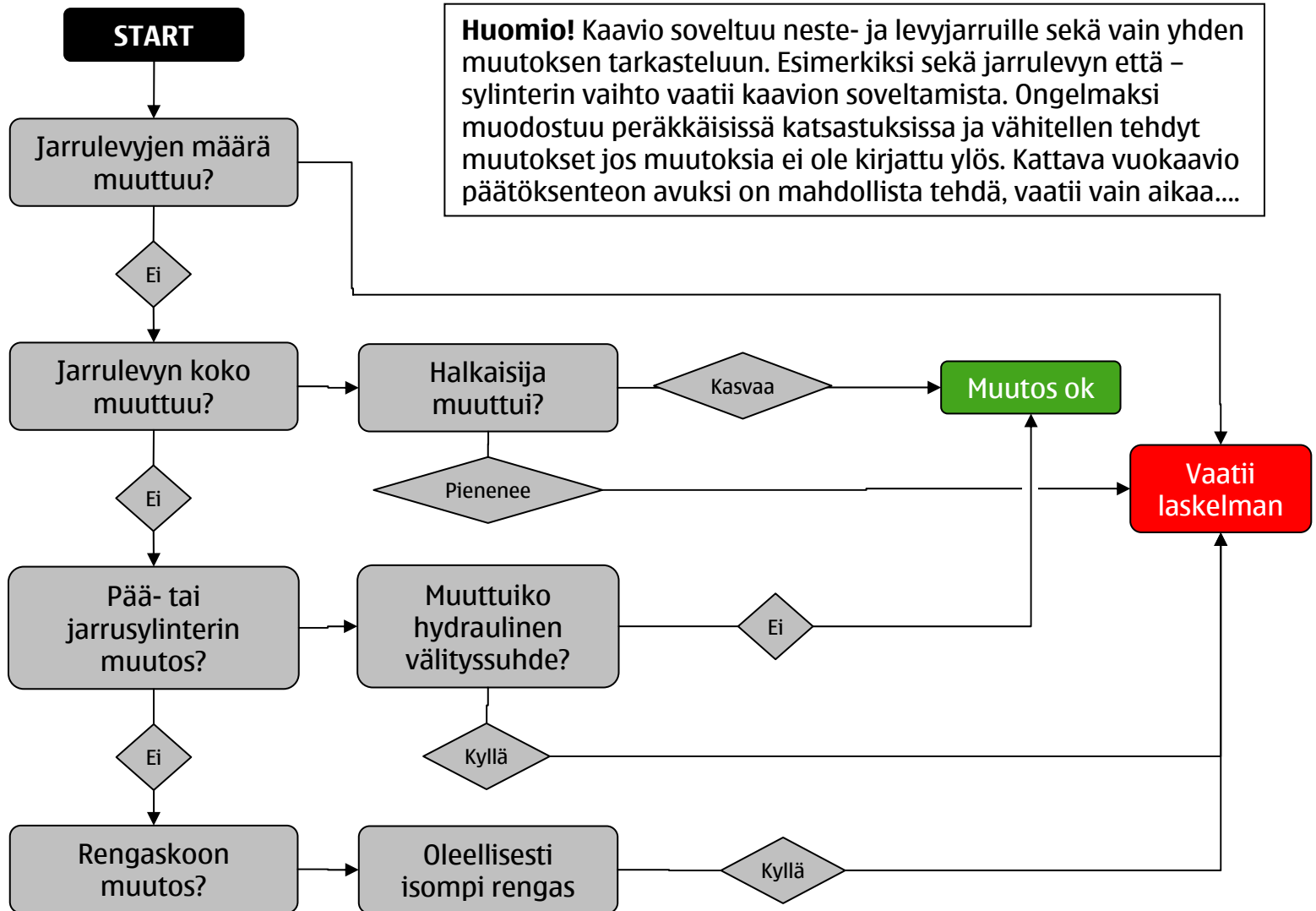
- Muutokset pyrkivät yleensä parantamaan jarrujen tehoa ja/tai tuntumaa
- Erittäin yleistä vaihtaa teräspunosletkuihin
 - Yleensä suositeltavaa (pl. yhdistelmä- ja älyjarrut)
- Jarrutuntuman parantamiseksi halutaan toisinaan muuttaa hydraulista välityssuhdetta
- Pääsääntö muutoksille: Jarruteho ei saa merkittävästi heikentyä
 - Pää- ja jarrusylinterien sekä jarrulevyn ja renkaan halkaisijan suhteiden, sekä kitkapinta-alan pysyttävä oleellisilta osiltaan samoina
- Yhdistelmä- ja älyjarrujen muutokset vain hyväksytyillä osilla
 - Tämä tarve muuttuu ajan myötä tarjonnan kasvaessa



Jarrupalan kitka siirtyy jarrusatulasta tiehen vivun välityssuhteella jossa akseli on vivun tukipisteenä ja varsi jarrupinnan keskiosan sekä pyörän säteen mitta.

§ Jarrumuutokset tulee muutoskatsastaa pl. muiden kuin älyjarrujen letkujen vaihto. AKE määrittää tarkemmat ohjeet ja laskelmavaatimukset jarrumuutoksille.

Jarrumuutoslaskelmien päätöskaavio



Renkaiden muutokset

- Ajogeometrian puolesta ei tarvetta säätää erikseen jos säädetyt parametrit (maavara, jättö, kallistusvarat jne.) pysyvät sallituissa rajoissa
- Jarrumuutosten tarve laskettava jos rengaskoko kasvaa
- Fyysisiä rajoituksia heilahduksen vaimennuksen ja pyöränkoteloiden kokojen osalta
- Koot merkitty otteeseen → muutoskatsastus
- Enduroiden muuttaminen *Super-motoiksi* yleistynyt
 - Vaihtoehtoisen rengaskoon merkintä rekisteriotteeseen, mahdollisia lisäehtoja esim. jarruille (esim. jarrulevyn halkaisija merkitään otteeseen)

§ Rengaskokojen muutoksista voidaan jättää raja-arvot säätämättä. Muutoksista tietyn rajan yli tulee kuitenkin tehdä merkintä otteeseen (muutoskatsastus). Muutosmerkinnän raja-arvoiksi nykyrajat ovat sopivia. Vaihtoehtoinen rengaskoko pitää voida merkitä otteeseen.

Akseliväli ja muut enimmäismitat

- Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä (1257/1992, 27a §) määrittelee moottoripyörälle enimmäismitat
- Akselivälin mittoja ei ole tarpeen säätää asetuksessa silloin kun ajogeometrian oleelliset parametrit täyttyvät
 - Pois lukien akselivälin lyhentäminen joka voi johtaa vaarallisen ajoneuvon painonjakauman muuttumisen takia
- Myös painon merkittävä kasvu voi tarvita uudet jarru- ja painonjakaumalaskelmat
- Akseliväli on merkitty rekisteriotteeseen → Toisiovedon säätövara suurempi muutos vaatii muutoskatsastuksen
 - Säätövara 4cm, muutoskatsastuksen raja 4cm; Säätövara 8cm, muutoskatsastuksen raja 8cm...

§ Akselivälin muutoksille ei tule säätää rajoituksia. Muutokset on kuitenkin katsastettava, muutoskatsastuksessa tarkistetaan että muut säädetyt mitat ja raja-arvot ovat sallituissa rajoissa.

Mittaus ja todentaminen

- Säädettyjen vaatimusten täyttyminen on voitava todentaa helposti tallissa, konttorilla ja tien päällä
- **Etujättö** – Vaikein mitattavista suureista. Käytäntö on osoittanut, että tätä ei osata kaikilla konttoreilla
- **Etuakselin heilahduksenvaimennuksen suunta** – Helppo todentaa varsinkin yleisimpien keularatkaisujen kanssa. Kulmamitta tarvitaan vain lähellä äärimittoja.
- **Maavara** – Pala kakkua! Siis 8cm korkea palanen...
- **Kallistusvara** – Voidaan helposti todeta ajamalla moottoripyörä 20° rampin kulmaan tai yksinkertaisella lankulla ja kulmamittarilla
- **Painopiste** – Tarvitaan laskin, mittanauha ja vaaka. Ei onnistu tien päällä, tallissa ja konttorilla ok.

Avoimia kysymyksiä ja ongelmia

- Mitä parametreja tulisi muutoskatsastuksen yhteydessä merkitä rekisteriotteeseen (vakiotietojen lisäksi)?
 - Mitkä yksityiskohdat?
- Onko ajokokeen vaatiminen tarpeellista tai mielekästä?
- Onko testien vaatiminen tarpeellista?
 - Maksut ja saatavuus voivat johtaa katsastusten välttelyyn jos testejä ei koeta mielekkäiksi
- Minkälaiset jarrujen teräspunosletkut ovat ok?
 - Puristetut? Vain ammatti- tai tehdastekoiset? Kierreliitoksin? → Kaikki asiallisin komponentein tehdyt pitää sallia (pl. älyjarrut), muuten näitä ei käytännössä katsasteta.
- Muutoskatsastusten käytännöt
- Katsastaminen toiseen ajoneuvoluokkaan? Trike eli kolmipyörä? Sivuvaunu, irrotettava? Vaatimukset näissä tapauksissa?

Yhteenveto:

- Asetuksessa tulisi säätää yksiselitteiset raja-arvot:
 - Etujätölle
 - Etujousituksen toimintasuunnalle
 - Kallistusvaralle
 - Maavaralle
 - Jarrumuutoksille
- Muuntelun säätelystä tulisi poistaa
 - Akselivälin pituuden muutosrajat
 - Haarukan kulman muutosrajat
 - Rengaskokojen suhteet ja enimmäismuutokset
 - Jäykkäperän rakenteelliset nopeusrajoitukset
- Kaikkien pyörien säädöillä voidaan vaikuttaa merkittävästi ajo-ominaisuuksiin eikä tätä voi / kannata yrittää estää

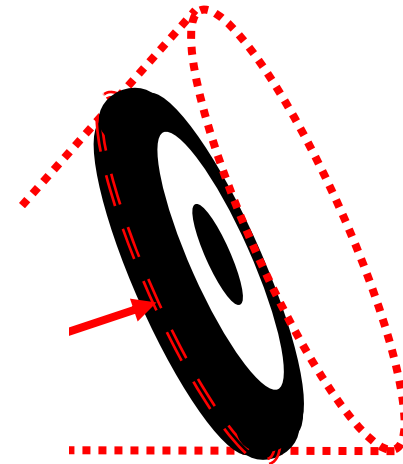
Insinööri on viisas. Kunnes tosielämä opettaa insinööriä, jolloin insinööristä tulee hetkeksi nöyrä. Niin moottoripyörän kuin veneenkin rakentamista voidaan insinöroidä loputtomasti. Kokenut ja perinteitä vaaliva veneenrakentaja osaa kuitenkin varmasti tehdä merikelpoisen veneen myös ilman insinööriä...

Lähteet:

- ÅSTRÖM K.J, Bicycle dynamics and control, 2004
- AHONEN S, Miksi ja miten moottoripyörä kääntyy, 1999
- ROBINSON J, Motorcycle tuning: Chassis, Great Britain, 1994
- ALPPIVUORI K / VTT, ”Chopper”-moottoripyörien liikennetekniset ominaisuudet, 1991
- LÖTJÖNEN O / TKK, Moottoripyörän ajomekaniikan perusteet, 1987/2
- FOALE T, Basic principles of balancing, Steering for the future and Misc. possibilities. Rake angles & anti-pitch bars, 1985

Lisämateriaali

- Värähtelymuodot eri nopeuksissa
 1. Epästabiili 0...~20kmh – Ei juuri hyrrävoimia, ajo tasapainoilulla oman massan avulla
 2. Stabiili ~20...~40kmh – Hyrrävoimat toimivat, sivuvoimien häiriöt vaimenevat etujäätön ja ohjaukulman ansiosta
 3. Näennäisstabiili yli ~40 kmh – Erilaisia värähtelyjä erityisesti 1/10...1/5 Hz alueella, pääosin kuskille huomaamattomia. Kolme motoristien tuntemaa ilmiötä: *tankslapper*, *wobble* ja *weave*
- Sortokulma, riistovero ja lipsuminen
- Ohjaus eturenkaalla, veto joko etu- tai takarenkaalla



Mutkassa moottoripyörän kumi sekä sortaa että lipsuu.

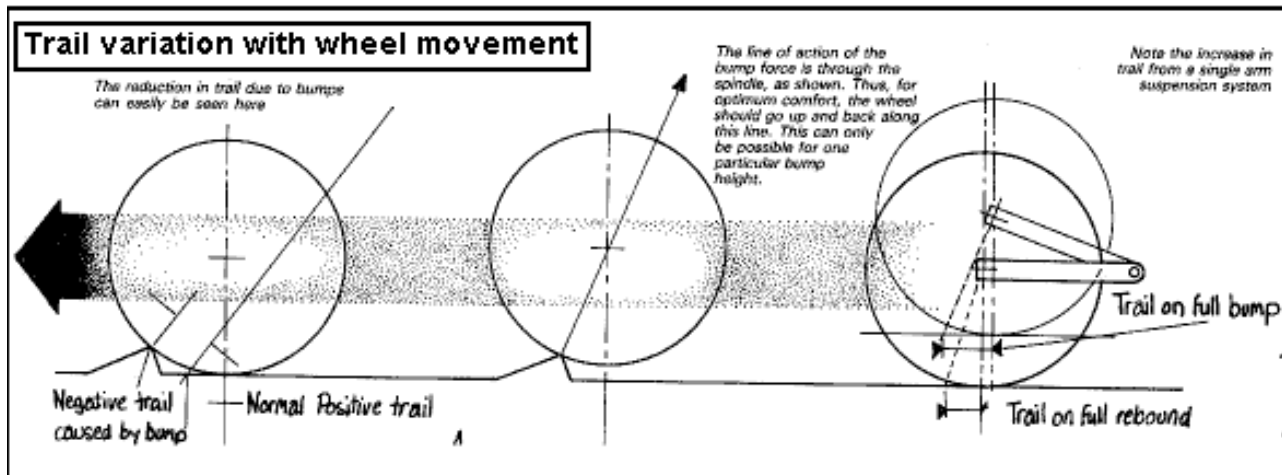
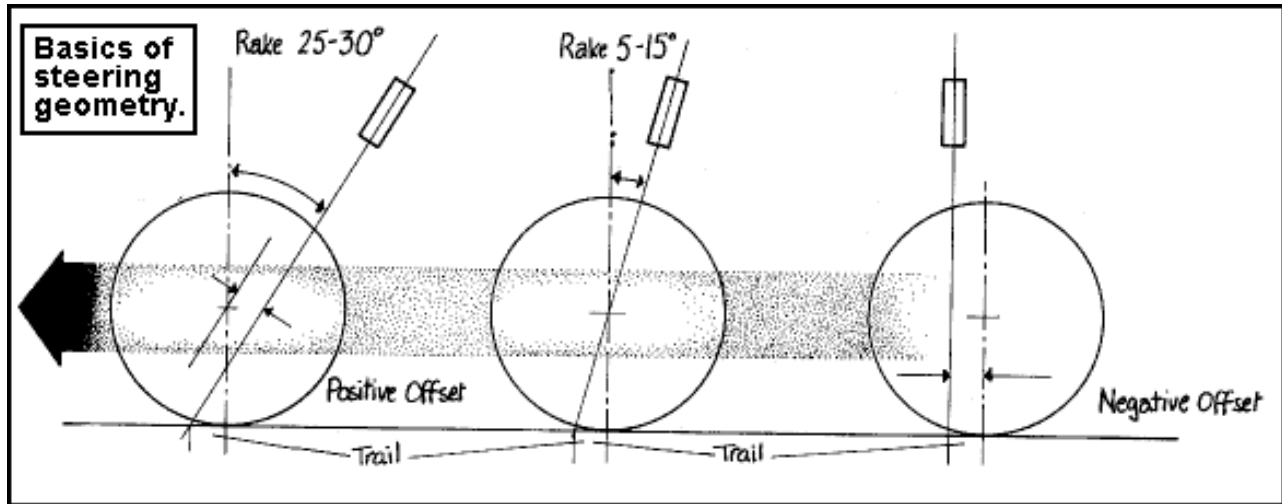
§ Ohjauksen on tapahduttava eturenkaalta, taka-ohjausta ei voida maantieliikenteeseen edelleenkään sallia.

§ Vedosta ja voimansiirrosta taka- tai eturenkaalla ei tarvitse säätää erikseen.

Tankslapper, wobble ja weave

- Hallitsemattomia värähtelyjä, jotka voivat kaataa pyörän
- Heräte yleensä etu- tai takapyörästä
- Rungon tai muun rakenteen ominaistaajuus osuu herätteeseen → hallitsematon värähtely
- Vanhemmissa pyörissä, kuluneilla renkailla, epätasapainossa olevilla vanteilla, löysillä ohjaus/pyörän/haarukan laakereilla, kuluneilla etuputkilla tms.
- Wobble ja weave:
 - Rungon vaimennuksen lisääminen
 - Rungon jäykistys nostaa ominaistaajuutta mutta ei välttämättä pienennä heilahduksien rajuutta
- Tankslapper:
 - Ohjausiskunvaimennin –yleinen sporttipyörissä
 - Etujätön muutos, yleensä kasvattaminen

Offset & trail variation



§ Off-setistä ei ole tarpeen säätää asetuksella.

Ääriesimerkkejä etujätöstä takaohjauksella



Ohjaukelvoton pyörä

- Etujättö on negatiivinen
- Ajoneuvolla voisi ajaa takaperin jos istuimen ja ohjaustangon paikka vaihdettaisiin



Ajettava pyörä

- Etujättö on lähes nolla
- Hyvin kiikkerä ajaa, mutta kuitenkin hyvin ajettavissa