



# VAKOLA

RUKKILA  
00001 HELSINKI 100  
90-5633 133

**VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS**  
**FINNISH RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY**

TUTKIMUSSELOSTUS No. 16

Hannu Hyvärinen - Jukka Ahokas

RUNKO - OHJATTAVIEN METSÄKONEIDEN

STABIILISUUS

## LATERAL STABILITY OF ARTICULATED FORESTRY MACHINES

### SUMMARY

The aim of this study was to throw light upon structural elements that affect on lateral stability of articulated forestry machines.

In addition of the structural factors the driver's possibilities of stabilizing the machine is also studied.

There are two main types of articulated machines, those with trunnion tube and those with oscillating front axle. Both types have highly complicated areas of stability and overturning axes. The most important structural elements that affect on stability of these machines are the place of the frame joint and the location of centre of gravity in the front and rear body.

A machine with oscillating front axle begins to overturn when the main part becomes unstable (main part = whole machine except oscillating axle). Either part of a machine with trunnion tube can become unstable and begin overturning. If there is no limitation in the trunnion tubes one part overturns alone. If the movement of the trunnion tube is limited the overturning body draws the other part along and the whole machine overturns. Both parts affect on stability of the other. The tandem wheels of rear axle resist turning and decrease stability of the front body at the same. Different rolling resistances of rear wheels can cause a side force on the front body and decrease its stability.

When driving a machine with oscillating front axle driver has a good possibility to improve stability by moving the boom of loader from side to side. When driving a machine with trunnion tube driver can improve stability of that part where the loader boom is fixed.

## RUNKO-OHJATTAVIEN METSÄKONEIDEN STABIILISUUS

### Tiivistelmä

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää runko-ohjattavien metsäkoneiden stabiilisuuteen vaikuttavat tekijät sekä ajotilanteessa että puun käsittelyvaiheessa. Rakenteellisten tekijöiden lisäksi on tarkasteltu myös kuljettajan osuutta koneiden stabiilisuuteen.

Runko-ohjattavat metsäkoneet voidaan jakaa rakenteellisesti kahteen päätyyppiin: keinuakseliset ja kiertyvärunkoniveliset koneet. Molempien stabiilisuus on melko monimutkainen sillä se muuttuu runkoa käännettäessä. Erityisesti kääntönivelen sijainti sekä etu- ja takarungon painopisteen paikka ovat ratkaisevia tekijöitä.

Keinuakselisen koneen kaatuminen alkaa, kun koneen pääosa, kone poislueutuna keinuakseli, menettää stabiilisuutensa. Kiertyvärunkoisen koneen kaatuminen voi alkaa joko etu- tai takaosasta, ja toinen osa tulee kaatumiseen mukaan vasta, kun kiertonivelen liikevara loppuu. Kumpikin osa vaikuttaa toisen stabiilisuuteen. Myös sellaiset tekijät kuin telin kääntövastus ja takaosan toispuoleinen vetovoima vaikuttavat kiertyvärunkonivelisen koneen etuosan stabiilisuuteen.

Ajotilanteessa keinuakselisen koneen kuljettajalla on hyvät mahdollisuudet vaikuttaa esim. kuormaimen asentoa muuttamalla koko koneen stabiilisuuteen. Kiertyvärunkonivelisen koneen toisen osan sivusuuntainen painonsiirto ei vaikuta toisen osan stabiilisuuteen. Esimerkiksi takaosassa olevan kuormaimen kääntämisellä sivulle voidaan parantaa vain takaosan stabiilisuutta.

Puun kuormausvaiheessa keinuakselin lukinta parantaa huomattavasti keinuakselisen koneen stabiilisuutta. Myös kiertyvärunkonivelsellä koneella paranee stabiilisuus työskentelytilanteessa, jos kiertonivel lukitaan. Tällä ei ole kuitenkaan yhtä suurta merkitystä kuin keinuakselin lukinnalla.

## 1. Johdanto

Tämä tutkimus perustuu diplomityöhön "Tutkimus monitoimimetsäkoneiden stabiilisuudesta". Tässä stabiilisuustarkastelut on laajennettu monitoimikoneiden lisäksi koskemaan myös muita runko-ohjattavia metsäkoneita. Esimerkkitapauksissa on käytetty seuraavia monitoimikoneita: Lokomo 961 S, Pika 75 ja Valmet 448.

Tämän työn tarkoituksena on yleisesti selvittää runko-ohjattavien metsäkoneiden stabiilisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Laskentayhtälöitä ei ole esitetty. Ne ovat tarvittaessa saatavissa edellä mainitusta lähteestä. Muut ko. aiheen lähteet on esitetty työn lopussa kirjallisuusluettelossa.

Koneiden stabiilisuutta tarkastellaan pääasiassa staattisissa tilanteissa ts. koneen liikeyssä hyvin hitaasti tai paikallaan ollessa. Tällöin dynaamiset voimat ovat pieniä ja niitä ei oteta huomioon. Dynaamisia tekijöitä on tarkasteltu lyhyesti omassa kohdassaan. Monitoimikoneiden ajonopeus on työskentelytavasta johtuen pieni. Kuorma- ja juontotraktoreilla ajetaan suuremmin nopeuksin, joten näiden koneiden dynaamisten tekijöiden osuus on merkittävämpi kuin monitoimikoneiden.

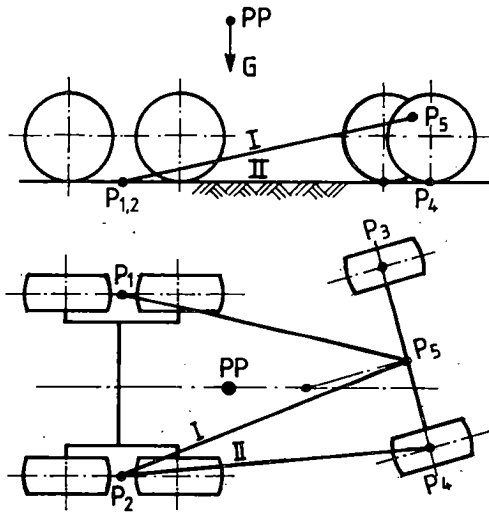
Koneiden stabiilisuuteen vaikuttavat maastotekijät ovat rinteen kaltevuus, estekorkeus, esteiden välinen etäisyys, maaperän kantavuus sekä maan ja renkaiden välinen kitkakerroin.

## 2. Runko-ohjattavien koneiden stabiilisuus

Runko-ohjattavien metsäkoneita on rakenteellisesti kahta perustyyppiä: keinuakseliset koneet ja kiertyvärunkoniveliset koneet.

## 2.1. Keinuakseliset koneet

Runko-ohjattavan keinuakselisen koneen stabiilisuus riippuu sen pääosan stabiilisuudesta. Pääosa on etu ja takarungon muodostama jäykkä kokonaisuus, johon keinuakseli kiinnittyy. Koneen pääosan tukipisteet on esitetty kuvassa 1. Ne ovat takatelien keskipisteissa maanpinnan tasossa  $P_1$  ja  $P_2$  ja keinuakselin nivelpisteessä  $P_5$ . Niistä muodostuu koneen pääosan tukipistekolmio  $P_1P_2P_5$ .

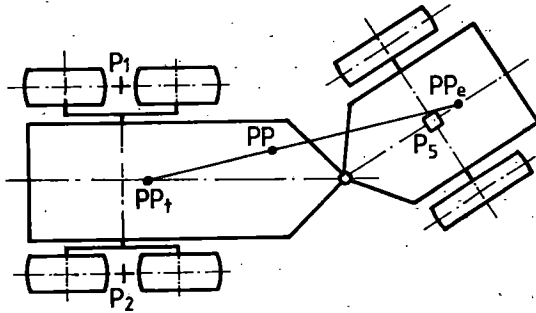


Kuva 1. Keinuakselinen kone, pääosan tukipisteet ja kaatumisakselit. I = ensimmäinen kaatumisakseli, II = toinen kaatumisakseli.

Koneen kaatuessa oikealle pääosan ensimmäisenä kaatumisakselina on suora  $P_2P_5$ . Kun keinuakselin kallistumisvara loppuu, se tulee kaatumiseen mukaan ja koko koneen kaatumisakselina on suora  $P_2P_4$ . Tällöin koneen stabiilisuus paranee hetkellisesti. Kuitenkin pääosalla voi usein olla nopeutta niin paljon, että se jatkaa kaatumista. Sellaisissa tapauksissa, joissa etuakseli on maaston epätasaisuuksista johtuen kallistunut lähellä rajoitinta, saattaa kaatuminen pysähtyä. Joka tapauksessa kaatumisen ensimmäisen vaiheen alkaminen on ratkaiseva tarkasteltaessa kaatumisvaaraa.

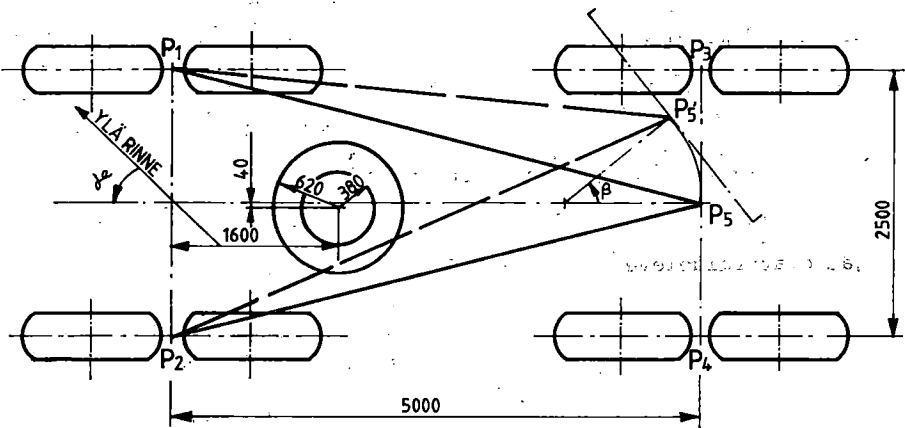
Keinuetuakselinen kone on stabiili niin kauan, kuin koneen pääosan painovektori  $G$  osoittaa tukipistekolmion  $P_1P_2P_5$  sisäpuolelle. Kaatuminen alkaa, kun koneen kallistuessa painovektori  $G$  osoittaa tukipistekolmion ulkopuolelle.

Koneen kallistumisen kaatumisrajalle aiheuttaa joko sivurinne tai sivurinne ja este. On huomattava, että myös rungon kääntökulma vaikuttaa koneen stabiilisuuteen. Tämä johtuu siitä, että pääosan tukipistekolmio  $P_1P_2P_5$  muuttuu runkoa käännettäessä. Tämä aiheuttaa sen, että samankorkeuisen esteen tai samansuuruisen rinneen vaikutus on erisuuri rungon kääntökulman muuttuessa. On myös otettava huomioon pääosan painopisteen siirtyminen runkoa käännettäessä. Tämä on esitetty kuvassa 2. Eräissä monitoimikoneissa on eturungon massa verrattuna takarungon massaan niin pieni, ettei painopisteen siirtymällä ole käytännön merkitystä. Tällaisia koneita ovat esim. Lokomo 961 S ja Pika 75.



Kuva 2. Keinuakselinen kone, koneen pääosan painopisteen paikka runkoa käännettäessä.  
PPe = eturungon painopiste, ilman keinuakselia  
PPt = takarungon painopiste,  
PP = pääosan painopiste

Varsinkin monitoimikoneiden pääosan painopisteen paikka muuttuu monitoimiosaa ja/tai puomistoa liikuteltaessa. Tällä on olennainen merkitys koneiden stabiilisuudelle. Kuvassa 3 on esitetty Lokomo 961 S:n painopisteen liikkuma-alue ja tukipistekolmiot kun runko on suorassa ja käännettynä. Sisempi ympyrä kuvaa painopisteen rataa, kun puomi on minimiulottuvuudella ja ulompi, kun puomi on maksimiulottuvuudella. Pääosan painopisteen korkeus on 1800 mm. Sen voidaan olettaa pysyvän vakiona puomiston eri asennoissa.



Kuva 3. Lokomo 961 S, pääosan painopisteen liikkuma-alue ja tukipistekolmiot.



Kuvassa 4 on esitetty kolme esimerkkitapausta Lokomo 961 S:n stabiilisuudesta. Kaatumiskulmat on laskettu koneen kääntyessä myöntärinteestä vastarinteeseen. Tämä on stabiilisuuden kannalta epädullisin ajotapa.

A: Puomi on puolivälissä suoraan eteenpäin. Runko suorassa

$\beta = 0$ , kaatumiskulman  $\alpha$  minimi on  $29^\circ$ . Runko täysin kääntynä  $\beta = 40^\circ$ , kaatumiskulman  $\alpha$  minimi on  $12^\circ$ . Molemmissa tapauksissa koneen suunta on hieman alaviistoon rinnekulma  $= 50 \dots 90^\circ$ . Jos rinteän yläpuolisen takatelin alla on 300 mm korkea este ja runko on täysin käännettynä vastarinteeseen, riittää  $6^\circ$  kalteva rinne koneen kaatumiseen.

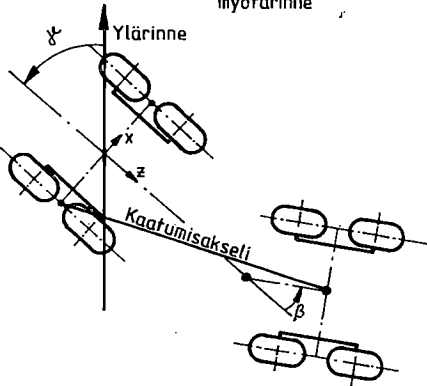
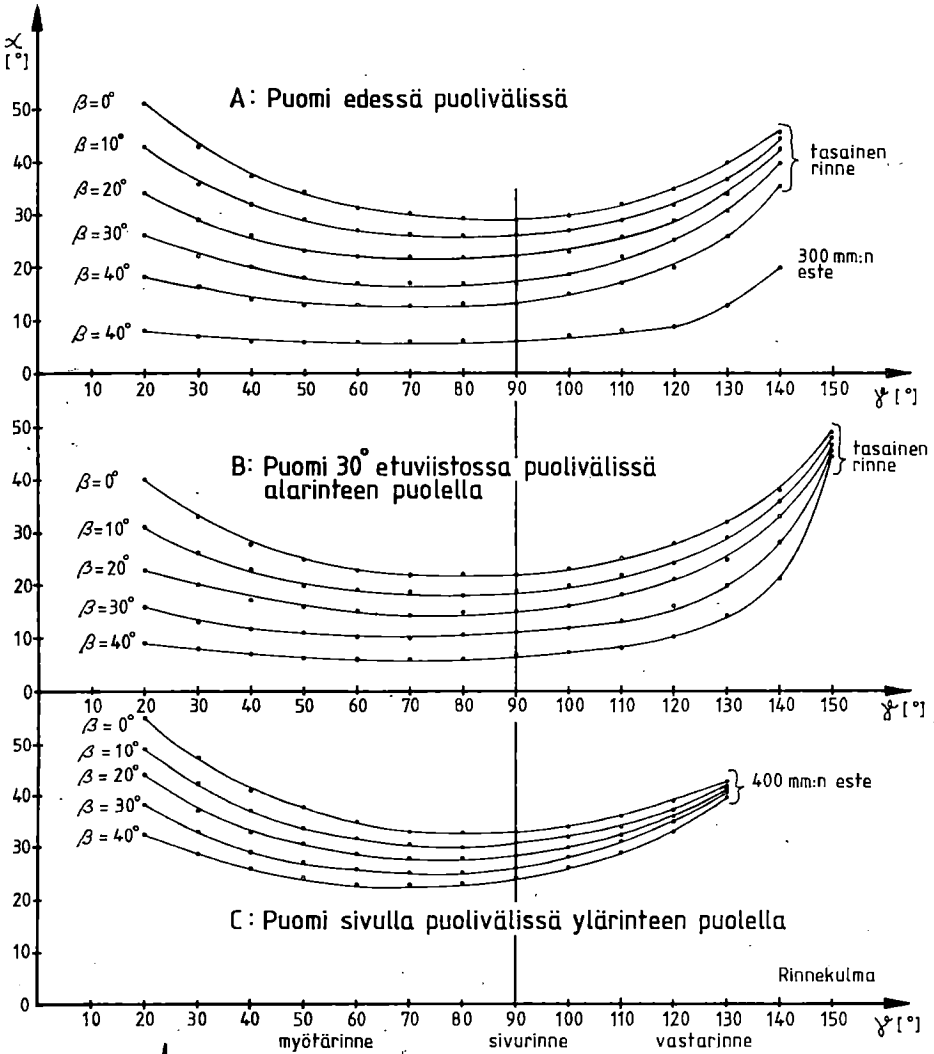
B: Puomi on puolivälissä noin  $30^\circ$  etuviistoon myöntärinteen puolella. Runko suorassa kaatumiskulman minimi on  $22^\circ$  ja runko täysin käännettynä vastarinteän puolelle  $6^\circ$ . Tilanne on vastoin koneen ajo-ohjetta.

C: Puomi on puolivälissä suoraan sivulla vastarinteän puolella. Kuvaan piirretyt käyrät esittävät kaatumiskulmia, kun rinteän yläpuolisen takatelin alla on 400 mm korkea este. Runko suorassa kone kaatuu, kun rinteän kaltevuus on  $33^\circ$ . Runko täysin käännettynä kone kaatuu  $23^\circ$  kaltevassa rinteessä.

Keinuakselisen koneen stabiilisuuteen vaikuttavat rakenteelliset tekijät ovat raideleveys, runkonivelen paikka, keinuivelen korkeus maasta sekä pääosan, kone ilman keinuakselia, painopisteen sijainti.

Raideleveyden lisääminen nykyisestäään on tuskin mahdollista.

Rinteen kaltevuus



Kuva 4. Lokomo 961 S:n kaatumiskulmat

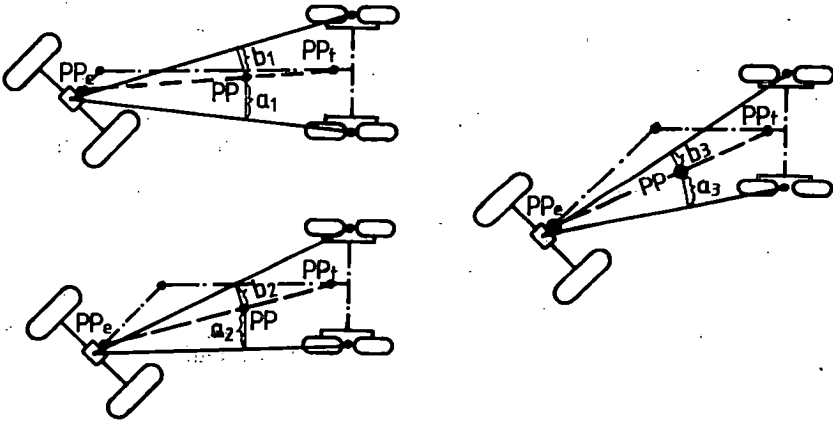
- $\alpha$  = rinteen kaltevuus = kaatumiskulma
- $\beta$  = ohjausnivelen kääntökulma
- $\gamma$  = koneen pääosan asento rinteeseen nähden = rinnekulma

Runkonivelen paikka vaikuttaa voimakkaasti stabiilisuuden muuttamiseen runkoa käännettäessä. Kuva 5 esittää tukipistekolmion muuttamista, kun nivelen paikkaa siirretään Stabiilisuuden mittana on painopisteen etäisyys kaatumisakselista. Mitä kauempana nivel on keinuakselista sitä enemmän stabiilisuus huononee:

$$b_1 > b_2 > b_3$$

Myös stabiilisuusero kasvaa:

$$\frac{b_1}{a_1} > \frac{b_2}{a_2} > \frac{b_3}{a_3}$$



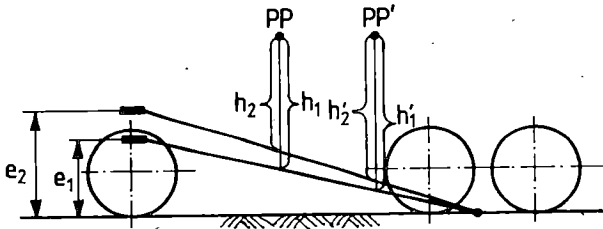
Kuva 5. Keinuakselinen kone, runkonivelen paikan vaikutus stabiilisuuteen

... 8 ...

Runkonivelen sijoittamisella eteen ts. eturungon lyhentämisellä on myös haitta-vaikutuksia, sillä takapyörät "oikaisevat" tällöin enemmän. Jos etu- ja takarungon pituudet olisivat samat, kulkisivat etu- ja takapyörät samaa uraa.

Rakeenteelliset tekijät määräävät melko tarkkaan keinunivelen korkeuden maasta. Nivelen korkeuden nostaminen "nostaa" tukipistekolmiota lähemmäksi painopistettä, kuva 6. Koneen stabiilisuus paranee niveltä nostettaessa sitä enemmän mitä kauempana pääosan painopiste on taka-akselista.

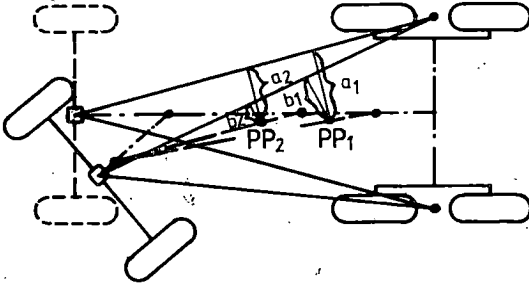
$$\frac{h_1}{h_2} > \frac{h_1'}{h_2'}$$



Kuva 6. Keinuakselinen kone, keinunivelen korkeuden vaikutus stabiilisuuteen

Pääosan painopisteen etäisyys taka-akselista vaikuttaa siihen, kuinka paljon stabiilisuus muuttuu runkoa käännettäessä, kuva 7. Jos pääosan painopiste on lähellä taka-akselia, stabiilisuus muuttuu vähemmän kuin painopisteen ollessa kauempana taka-akselista.

$$\frac{a_1}{b_1} < \frac{a_2}{b_2}$$



Kuva 7. Keinuakselinen kone, painopisteen paikan vaikutus stabiilisuuteen

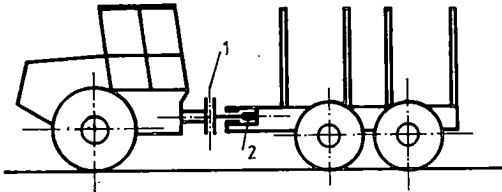
Mitä kauempana painopiste sijaitsee taka-akselista, sitä enemmän myös pääosan painopiste siirtyy sivusuunnassa. Tästä on sekä hyötyä että haittaa. Stabiilisuutta on helppo parantaa, kun sitä tarvitaan. Sivurinteessa ajettaessa kuormain ja/tai monitoimiosa pidetään vartarinteen puolelle käännettynä. Toisaalta kone ei kestä väärin ajoa kovinkaan hyvin. Lokomo 96l S:n stabiilisuus on tästä hyvä esimerkki, kuva 4 B ja C.

Painopisteen korkeus on tekijä, johon on melko vaikea vaikuttaa. Metsäkoneet tarvitsevat joka tapauksessa melko suuren maavaran selvitäkseen esteistä ja lumihangessa ajosta.

## 2.2. Kiertyvärunkoniveliset koneet

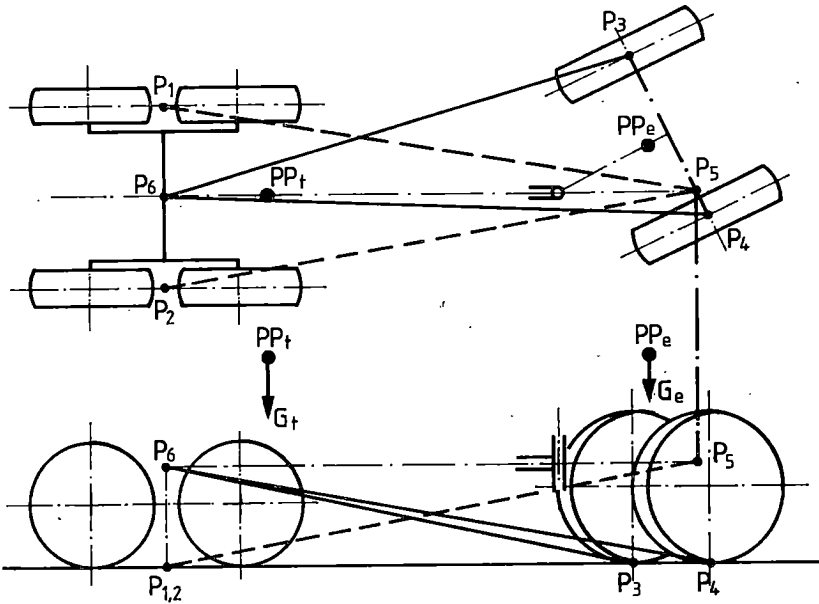
Koneen pituusakselin suuntainen nivel, joka sallii kiertoliikkeen etu- ja takaosan välillä jakaa koneen kahteen osaan, kuva 8. Ellei kiertoliikettä ole rajoitettu, voi toinen osa kaatua toisen jäädessä pystyyn. Voimat ja momentit välittyvät kiertonivelen läpi pysty- ja vaakatasossa. Kiertomomenttia ei välity, paitsi kiertonivelen laakerin kitkamomentin verran. Sillä ei ole kuitenkaan

merkitystä stabiilisuustarkastelujen kannalta.



Kuva 8. Kiertyvärunkonivelinen kone. 1. ohjausnivel,  
2. kiertonivel

Kuvassa 9 on esitetty kiertyvärunkonivelisen koneen etu- ja takaosan kaatumisakselit. Etuosan kaatumisakselit ovat etupyörien ja maan kosketuspisteiden  $P_3$  ja  $P_4$  ja pisteen  $P_6$ , joka sijaitsee taka-akselin keskellä kiertonivelin korkeudella, väliset suorat. Takaosan kaatumisakselit ovat telien maanpinnassa olevien keskipisteiden  $P_1$  ja  $P_2$  ja pisteen  $P_5$ , joka sijaitsee kiertonivelin jatkeen ja etuakselin pystytason leikkauspisteessä, väliset suorat. Kiertyvärunkonivelisen koneen kaatuminen voi alkaa joko etu- tai takaosasta ja toinen osa tulee kaatumiseen mukaan vasta silloin, kun kiertonivelin liikevara loppuu. Kumpikin osa kaatuu siis erikseen ja kaatuminen alkaa silloin, kun osan painovektori suuntautuu stabiilisuuskolmion ulkopuolelle.



Kuva 9. Kiertyvärunkonivellinen kone, etu- ja takaosan kaatumisakselit  
————— etuosan kaatumisakselit  
----- takaosan kaatumisakselit

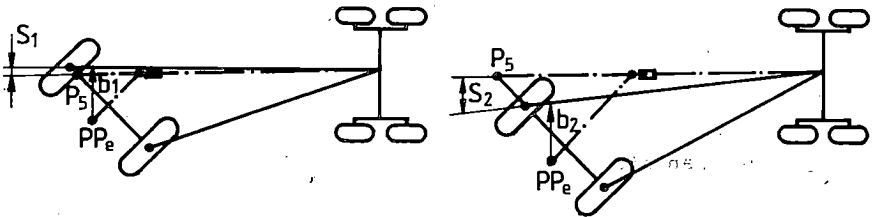
Etuosan stabiilisuuskolmio muodostuu pisteistä  $P_3$ ,  $P_4$  ja  $P_6$  ja takaosan pisteistä  $P_1$ ,  $P_2$  ja  $P_5$ . Runkoa käännettäessä takaosan stabiilisuuskolmio ainoastaan pitenee hieman. Sen sijaan etuosan stabiilisuuskolmio kääntyy sivulle ja kapenee. Samalla etuosan painopiste lähenee jompaa kumpaa kaatumisakselia siitä riippuen onko painopiste etuakselin etu- vai takapuolella.

Tarkasteltaessa etu- ja takaosan stabiilisuutta on otettava huomioon osien keskinäinen voimavaikutus. Se on sitä suurempi mitä kauempana ko. osan painopiste on akselistaan.

Etuosan tukipiste takaosassa on piste  $P_6$ . Jos etuosan painopiste on etuakselin takapuolella, voiman suunta pisteessä  $P_6$  on alas-

päin ts. se on takaosaa stabiloiva voima. Etuosan painopisteen ollessa etuakselin etupuolella, pisteessä  $P_6$  vaikuttavan voiman suunta on ylöspäin, joten se pyrkii kaatamaan takaosaa.

Takaosan tukipiste etuosassa on piste  $P_5$ . Yleensä takaosan painopiste on taka-akselin etupuolella. Tällöin voima vaikuttaa etuosassa pisteessä  $P_5$  alaspäin. Rungon ollessa suorassa se vaikuttaa keskellä etuosaa ja parantaa siten stabiilisuutta. Käännettäessä runkoa siirtyy piste  $P_5$  sivuun etuosan keskilinjalta. Tällöin takaosan voima aiheuttaa erisuuret pyöränkuormat etupyörille. Se on kuitenkin stabiloiva voima niin kauan, kuin piste  $P_5$  pysyy etuosan stabiilisuuskolmion  $P_3, P_4, P_6$  sisäpuolella. Jos koneen eturunko on niin pitkä, että käännettäessä piste  $P_5$  siirtyy etuosan stabiilisuuskolmion ulkopuolelle, kuva 10, aiheutuu tästä kaatava momentti etuosaan.

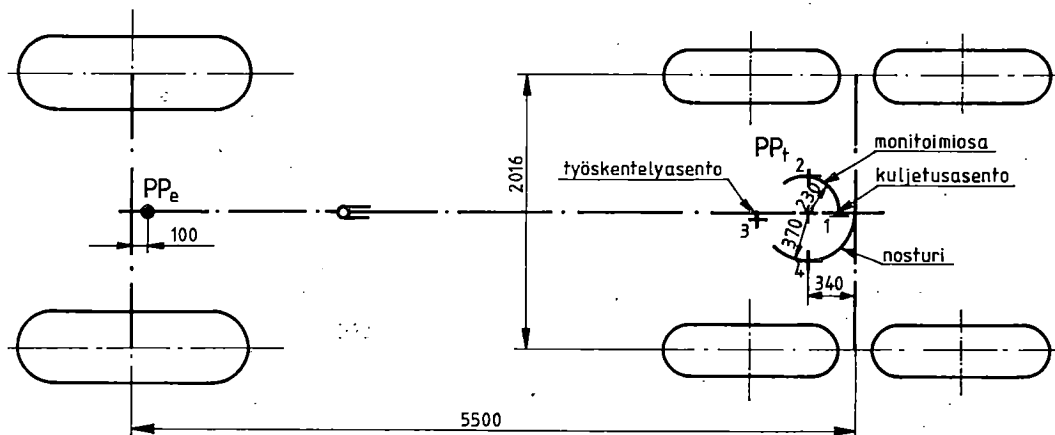


Kuva 10. Kiertävärunkonivelinen kone, kääntönivelen paikan vaikutus tukipisteen  $P_5$  paikkaa.  
A: Piste  $P_5$  etuakselivälillä; takaosan tukivoima etuosaa stabiloiva  
B: Piste  $P_5$  etuakselivälin ulkopuolella, takaosan tukivoima etuosaa kaatava



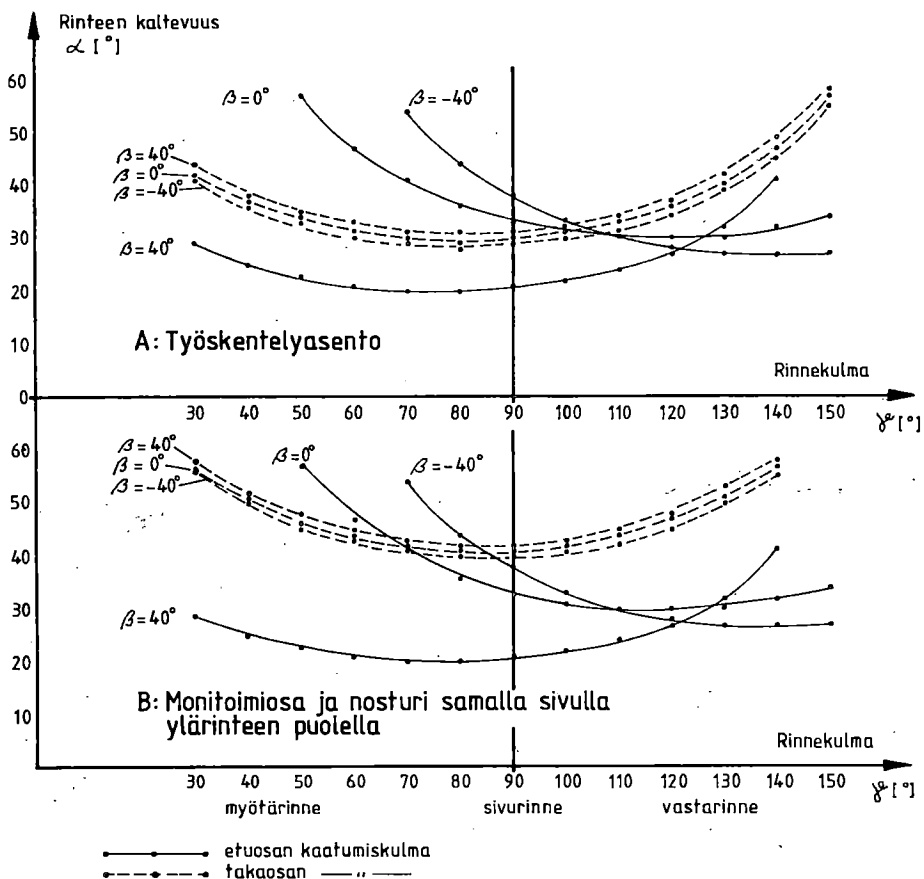
Nosturilla ja/tai monitoimiosalla voidaan parantaa sen osan staabiilisuutta, jossa se sijaitsee. Tällaisella painonsiirroilla ei ole vaikutusta toisen osan staabiilisuuteen.

Kuvassa 11 on esitetty Valmet 448:n etuosan painopisteen paikka ja takaosan painopisteen liikkuma-alue erikseen nosturia ja monitoimiosaa liikutettaessa.

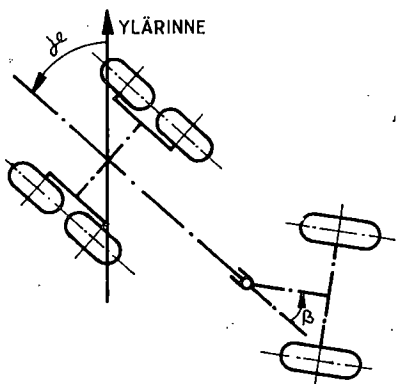


Kuva 11. Valmet 448, etu- ja takaosan painopisteen paikka

Kuvassa 12 on esitetty kaksi esimerkkitapausta Valmet 448:n etu- ja takaosan staattisista kaatumiskulmista.



Kuva 12. Valmet 448, kaatumiskulmat  
 $\alpha$  = rinteen kaltevuus = kaatumiskulma  
 $\beta$  = ohjausnivelen kääntökulma  
 $\gamma$  = koneen pääosan asento rinteeseen nähden = rinnekulma

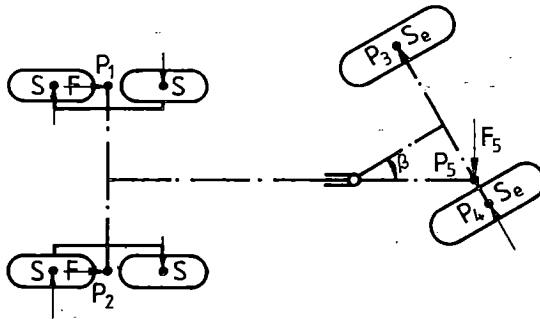


A: Kone on työskentelyasennossa ts. nosturi ja monitoimiosa vastakkaisilla sivuilla. Etuosan kaatumiskulman minimi eturunko täysin vasempaan käännettynä vastarinteen puolelle,  $\beta = +40^\circ$ , on  $20^\circ$ . Tällöin takarunko on alaviistoon,  $\gamma = 70^\circ \dots 80^\circ$ . Runko suorassa,  $\beta = 0$ , etuosan kaatumiskulman minimi on  $30^\circ$ . Takarungon suunta on tällöin hieman vastarinteeseen,  $\gamma = 110^\circ \dots 130^\circ$ . Kun eturunko on käännetty täysin oikeaan,  $\beta = -40^\circ$  myötärinteen puolelle, kaatumiskulman minimi on  $27^\circ$ . Takarungon suunta on tällöin melko paljon vastarinteeseen  $\gamma = 130^\circ \dots 150^\circ$ . Takaosan kaatumiskulmiin ei rungon käännöllä ole juuri vaikutusta. Kaatumiskulman minimi on välillä  $31^\circ \dots 28^\circ$  koneen suunnan ollessa hieman myötärinteen puolelle.

B: Monitoimiosa ja nosturi ovat käännetty samalle sivulle vastarinteen puolelle. Etuosan kaatumiskulmat ovat samat kuin edellisessä kohdassa. Takaosan kaatumiskulmat ovat  $42^\circ \dots 41^\circ$ .

Ajotilanteessa telin kääntövastuksella ja takaosan erisuurilla vetovoimilla on oma vaikutuksensa kiertyvärunkonivelisen koneen etuosan stabiilisuuteen.

Käännettäessä telin etupyörä joutuu luistamaan sisäänpäin ja takapyörä ulospäin. Tästä aiheutuu voimapari, joka vastustaa koneen kääntymistä ja joka aiheuttaa etuosaan pisteeseen  $P_5$  sivuttaisen voiman, kuva 13. Tästä aiheutuu etuosaan kaatava momentti. Se huonontaa stabiilisuutta käännettäessä sivurinteestä vastarinteeseen ja parantaa stabiilisuutta käännettäessä myötärinteeseen.



Kuva 13. Telin kääntövastus

Ajattaessa vaikeassa maastossa takatelien vierimisvastukset vaihtelevat. Tästä aiheutuu takaosan toispuoleinen vetovoima, joka aiheuttaa sivuttaisen voiman etuosaan pisteeseen  $P_5$ . Suurimmillaan tällainen toispuoleinen vetovoima on esim. toisen telin tarttuessa esteeseen. Siitä aiheutuva etuosaa kaatava momentti ei ole kovin suuri. Pahimmillaan sen vaikutus on silloin, kun etuosan stabiilisuus muutoin on huonoimmillaan ts. sivurinteestä vastarinteeseen käännettäessä.

Kiertyvärunkonivelisen koneen takaosan stabiilisuus ei muutu merkittävästi runkoa käännettäessä. Etuosan stabiilisuus sen sijaan muuttuu. Etu- ja takaosan stabiilisuuteen vaikuttavat koneen rakenteelliset tekijät ovat etu- ja takaraidaleveys, etu- ja takarungon pituus, kiertonivelen korkeus maasta sekä etu- ja takaosan painopisteen sijainti.

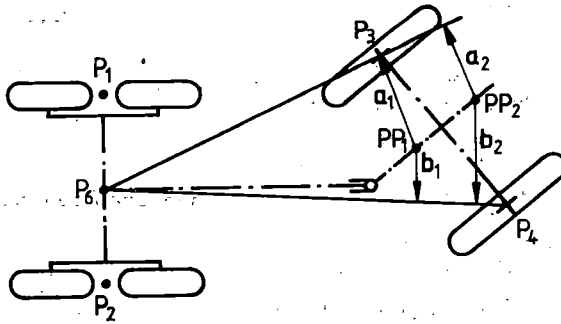
Raidelevyden lisääminen nykyisestä on tuskin mahdollista.

Etu- ja takarungon pituuksien suhteen vaikutus ilmenee kuvasta 10. Jotta takaosa ei aiheuttaisi kaatavaa momenttia etuosaan kun

runko on käännettynä, pitäisi pisteen  $P_5$  pysyä etuakselivälillä.

Kiertonivelen nostaminen parantaa takaosan stabiilisuutta samoin kuin keinuetuakselisen koneen keinunivelen nosto, kuva 6. Se heikentää kuitenkin etuosan stabiilisuutta, koska takaosasta tulevat sivuttaisvoimat vaikuttavat tällöin korkeammalta. Nostamisen vaikutus on kuitenkin pieni. Esimerkiksi Valmet 448:a ei kiertonivelen nostaminen 100 mm vaikuta käytännössä ollenkaan etu- eikä takaosan stabiilisuuteen.

Etuosan painopisteen paikka pituussuunnassa vaikuttaa voimakkaasti etuosan stabiilisuuden muuttumiseen runkoa käännettäessä, kuva 14.



Kuva 14. Kiertyvärunkonivelinen kone, etuosan painopisteen paikan vaikutus

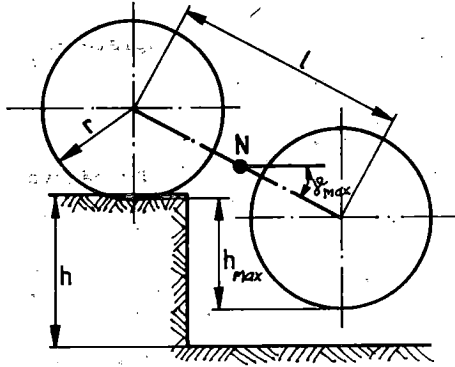
Sivurinteessä ajettaessa, jos etuosan painopiste  $PP_1$  sijaitsee etuakselin takana, lähestyy se vastarinteeseen kääntyttäessä kaatumisakselia  $P_4P_6$  ja loittonee kaatumisakselista  $P_3P_6$ . Painopisteen ollessa etuakselin etupuolella,  $PP_2$ , käy päinvastoin. Etuosan stabiilisuuden kannalta on näin ollen edullista, jos painopiste sijaitsee etuakselin etupuolella.

Takaosan painopisteen sijainti pituussuunnassa vaikuttaa sekä taka- että etuosan stabiilisuuteen. Mitä kauempana takaosan painopiste sijaitsee taka-akselin etupuolella, sitä suuremmat ovat takaosan voimavaikutukset etuosaan, näin varsinkin sivurinteessä. Myös takaosan stabiilisuus huononee kun takaosan painopiste loittonee taka-akselista. Kuitenkaan takaosan painopiste ei saa sijaita aivan lähellä taka-akselia tai sen takana, sillä tällöin etuosan stabiilisuus heikkenee ajettaessa vastarinteeseen, koska takaosasta välittyy etuosaan nostava voima.

### 3. MUUT KONEEN STAATTISEEN STABIILISUUTEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

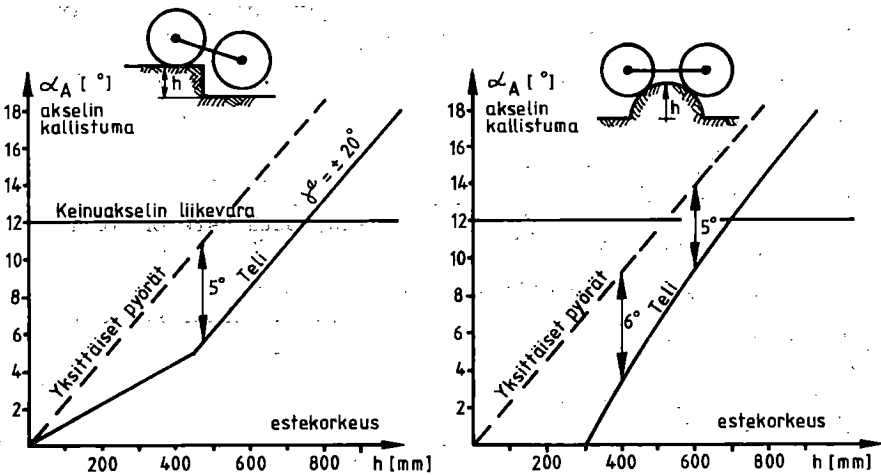
#### 3.1. Telipyörät

Teoriassa teli puolittaa akseliston kallistuman yksittäiseen pyörään verrattuna. Näin tapahtuu edellyttäen, että este on niin lyhyt, etteivät telin molemmat pyörät nouse sen päälle. Telin kiertokulma on rajoitettu, joten esteen ollessa tarpeeksi korkea, toinen pyörä nousee ilmaan, kuva 15.



Kuva 15. Teli

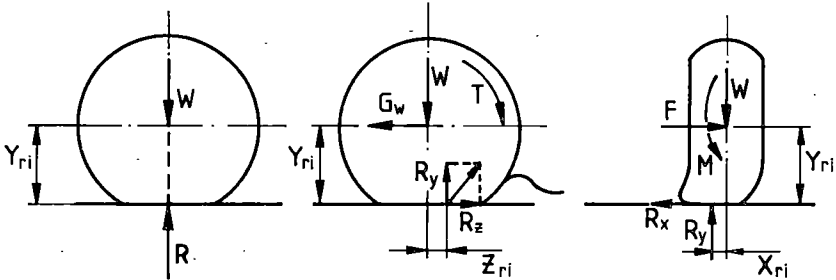
Telin mitoitus ratkaisee, kuinka suuria esteitä ylitettäessä siitä saadaan täysi hyöty, kallistuman puolitus. Ratkaisevia tekijöitä ovat telin pituus  $L$ , renkaiden säde  $r$  sekä maksimikiertokulma. Kuvaan 16 on piirretty Pika 75:n teliakselin sivuttaiskallistuma, kun telin toinen pyörä on esteen päällä ja kun molemmat pyörät ovat puoliympyrän muotoisen esteen päällä.



Kuva 16. Pika 75, teliakselin sivuttaiskallistuma

### 3.2. Renkaiden ominaisuudet

Kuva 17 esittää kumirenkaan tukipistettä eri tilanteissa. Kun renkaaseen vaikuttaa vetovoima ja -momentti, tukipiste siirtyy keski-kohdan etupuolelle. Sivuvoiman vaikuttaessa tukipiste siirtyy keskilinjasta sivuun.



Kuva 17. Renkaan tukipiste eri tilanteissa

Sivurinne aiheuttaa painon siirtymistä alapuolisille renkaille. Niihin vaikuttavat pysty- ja sivuvoimat kasvavat. Koneen lisäkallistuma syntyy pääasiassa renkaiden pystyjoustosta. Esimerkiksi Valmet 448:n lisäkallistuma  $15^\circ$  sivurinteessä on n.  $1,2^\circ$  ja  $30^\circ$  sivurinteessä n.  $2,5^\circ$ . Se ei ole kovin merkittävä tekijä alle  $15^\circ$  sivurinteessä.

Renkaan sivuttainen jousto siirtää tukipistettä ja samalla kaatumisakselia keskemälle konetta. Valmet 448:ssa mitattiin  $30^\circ$  sivukallistuksessa 35 mm sivujousto. Tämä vastaa noin  $0,5^\circ$  kaatumiskulman pienennystä.

### 3.3. Pintapaineet

Koneen maastokelpoisuus riippuu paljolti pyörien ja maan välisistä pintapaineista. Ne ratkaisevat kuinka pehmeässä maastossa kone



pystyy liikkumaan. Koneen stabiilisuuden kannalta pintapaineet ovat merkittäviä sivurinteessä, jolloin painoa siirtyy enemmän alapuolisten pyörien kannettavaksi, ja tasaisella silloin, kun toinen puoli on kantavalla alustalla, esim. kivi tai kanto, ja toinen puoli pehmeällä. Mitä suuremmat pintapaineet ovat sitä suurempi on kaatumisvaara näissä tilanteissa.

Taulukossa 1 on esitetty eri maalajien kantavuuksia.

Kolmen monitoimikoneen pintapaineet pyörävarustuksin puomistot/monitoimiossa optimiasennossa ovat seuraavat: Pika 75 n. 100 kPa, Lokomo 961 S ja Valmet 448 n. 120 kPa. Teloilla varustettun ovat näiden koneiden pintapaineet hieman alle 60 kPa. Täysin kuormattujen kuormatraktoreiden pintapaineet ovat samaa luokkaa.

Työtilanteessa Lokomo 961 S:n ja Pika 75:n pintapaineet voivat telavarustuksen kanssa olla yli 100 kPa. Valmet 448:n maksimi on n. 80 kPa.

Vertaamalla edellisiä arvoja maalajien kantavuuksiin, voidaan todeta, että suoperäisessä maastossa liikuttaessa telavarustus on välttämätön. Kuitenkaan sekään ei estä koneita uppoamasta, joten kuljettajan oikea kulku-uran arviointi on tässä suhteessa merkittävä.

Taulukko 1. Maalajien kantavuuksia

Maan pinnan laatu	Kantavuus kPa
moreeni, kuiva	400...800
" kostea, hienorakeinen	200...500
" kostea, karkearakeinen	300...600
sora, kuiva	300...700
" kostea	400...800

hiekkä, kuiva <sup>1)</sup>	150...250
" kostea	300...500
savi, kuiva	400...1200
" kostea <sup>1)</sup>	200...300
" märkä <sup>1)</sup>	50...150
suo, puita kasvava <sup>1)</sup>	40...70
" muut <sup>1)</sup>	10...40
lumi, vastasatanut <sup>2)</sup>	10...30
" vanha, liikkumaton, -10...-20°C	50...100
" tiivistynyt, -10...-20°C	200...500
" kovaksi tiivistynyt, -10...-20°C	400...800
jää	1000...2500

1) Kantavuus huononee ajokertojen lisääntyessä.

2) Kantavuus paranee ajokertojen lisääntyessä.

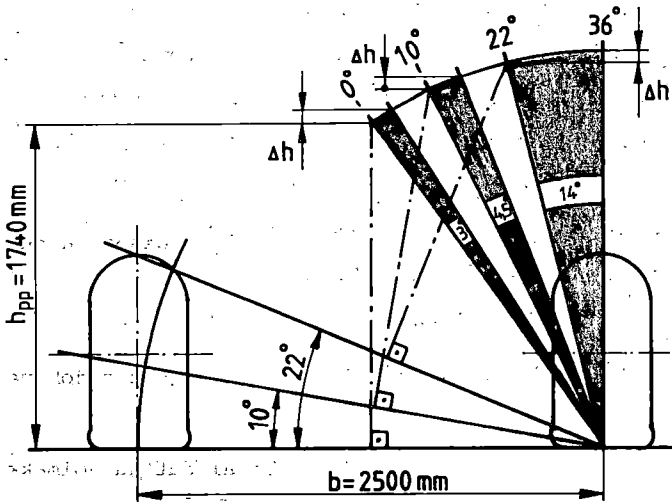
#### 4. DYNAAMISTEN TEKIJÖIDEN VAIKUTUS

Metsäkoneen liikkuessa siihen kohdistuu staattisten kallistumien lisäksi dynaamisia heilahduksia. Stabiilisuuden kannalta vaarallinen dynaaminen sivuttaisheilunta voidaan jakaa kahteen tyyppiin syntyvän perusteella: yksittäisestä aiheuttama vapaa heilahdusliike ja peräkkäisten epätasaisuuksien aiheuttama resonanssiheilahtelu.

Vapaa heilahdusliike syntyy, kun koneeseen kohdistuu iskuja ajoradalla olevista suurehkoista esteistä kuten kivistä, kannoista ja puunrungoista. Heilahdusliikkeen taajuus on koneen etu- ja/tai takarungon ominaistajuus, joka metsätraktoreissa on 2...3 Hz. Monitoimikoneissa tämä on ilmeisesti hieman pienempi suuremmasta massasta johtuen.

Peräkkäiset maanpinnan epätasaisuudet voivat aiheuttaa voimakkaasti vahvistuvan heilahtelun, jos herätteen taajuus on yhtä suuri kuin koneen ominaistajuus. Käytännössä maastossa ajettaessa koneen sivuttaisheilahtelu muodostuu vapaan ja pakotetun heilahtelun mielivaltaisesta yhdistelmästä.

Koneen heilahtelua sivurinteessä voidaan tarkastella tutkimalla millaisia energiämääriä sivuttaisheilahduksiin sisältyy. Ajettaessa vakionopeudella esteen yli kohdistuu koneeseen isku, jonka sisältämä energiämäärä on sama sekä tasaisella että sivurinteessä. Koneen kallistuessa sen painopiste nousee ja potentiaalienergia muuttuu. Juuri tähän potentiaalienergian muutokseen häviää iskun sisältämä kineettinen energia. Kuvassa 18 on esitetty Pika 75:n sivuttaisheilahduksen graafinen likimääräistarkastelu. Lähtökohdaksi on oletettu  $3^\circ$  dynaaminen heilahdus vaakasuoralla alustalla esteen yli ajettaessa. Potentiaalienergian muutosta kuvaa tällöin matka  $\Delta h$ , jonka painopiste nousee. Koneen ollessa  $10^\circ$  sivurinteessä vastaava potentiaalienergian muutos merkitsee  $4,5^\circ$  sivuttaisheilahdusta ja  $22^\circ$  sivurinteessä se riittää kaatamaan koneen.



Kuva 18. Sivuttaisheilahduksen laajeneminen

Koneen kaatumisen aiheuttavana tekijänä voi olla myös sen joutuminen sivuluisuun ja törmääminen esteeseen. Sivuluisun mahdollisuus ja vaarallisuus alkaa vasta yli 15<sup>o</sup> sivurinteessä. Alkutilanteena sivuluisulle voi olla myös jyrkkää rinnettä laskeutuminen. Jos kone joutuu tällöin pitkittäisluisuun on aina olemassa vaara sen kääntymisestä sivuluisuun. Jyrkkiä rinteitä noustaessa ja laskeuduttaessa on vältettävä viistoon ajamista.

Pienestä ajonopeudesta johtuen kaarreajon keskipakovoiman merkitys ei metsäkoneissa ole suuri. Se tuntuu kuitenkin silloin, kun runko-ohjattavan koneen stabiilisuus on heikoimmillaan, ts. runko käännetyinä.

#### 5 KULJETTAJAN VAIKUTUSMAHDOLLISUUDET

Metsäkoneilla joudutaan pakostakin ajamaan suhteellisen pahoissa paikoissa. Kuljettajalla on kuitenkin mahdollisuuksia pienentää koneen kaatumisvaaraa eri tavoin. Oikealla ajoreitin valinnalla voidaan pienentää koneen staattisluonteisia kallistumia. Myös sivuluisu ja koneen toispuoleinen uppoaminen voidaan useimmiten välttää. Tilanteen mukaan tarpeeksi pienen ajonopeuden käytöllä on mahdollisuus pienentää dynaamisia heilahduksia. Tällä on merkitystä varsinkin sivurinteessä. Myös kuljettajaan kohdistuvat rasitukset ovat maastoajossa paljon ajonopeudesta riippuvia.

Monitoimikoneiden staattista stabiilisuutta on mahdollisuus muuttaa siirtämällä nosturin ja/tai monitoimiosan asentoa. Erityisesti kei-  
nuetuakselisisissa koneissa tämä on tehokas keino, kuva 4 C. Sen sijaan kiertyvärunkonivelisellä on mahdollista parantaa ainoastaan sen osan stabiilisuutta, jossa nosturi/monitoimiosa on kuva 12 B. Kuormatraktoreiden kuormainta voidaan käyttää samaan tarkoitukseen.

Siihen voidaan ottaa lisäpainoksi esim. tukki.

Kuljettajien mukaan "takapuolituntuma" on tärkeä tekijä maastoajossa. Se ilmoittaa milloin kone on lähellä kaatumisrajaa. Ilmeisesti tämä tuntuma perustuu ainakin osittain siihen, että koneen dynaamisista voimista aiheutuva heilahtelu laajenee lähestyttäessä kaatumisrajaa, vrt. kuva 18.

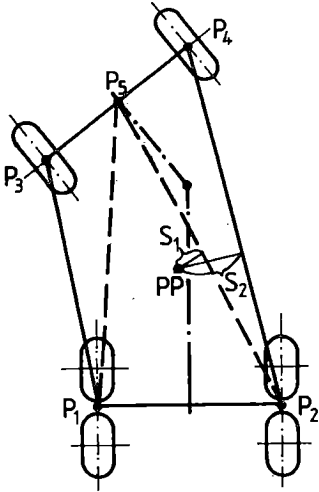
Koneen ketteryys, kääntösäde/takapyörien oikaisu, ratkaisee, voidaanko este kiertää vai joudutaanko ajamaan sen yli. Näkyvyydellä ohjaamosta on merkitystä siinä, ajetaanko kone vahingossa vaaralliseen paikkaan esim. kuoppaan tai pehmeikköön.

#### 6. TYÖTILANTEEN STABIILISUUS

Monitoimikoneen tehokkaan työskentelyn edellytyksenä on hyvä stabiilisuus puuta käsiteltäessä. Samoin kuormatraktorilta vaaditaan kuormausvaiheessa hyvää stabiilisuutta.

Keinuakselisen koneen stabiilisuus muuttuu voimakkaasti runkoa käännettäessä. Työtilanteen stabiilisuutta on mahdollisuus parantaa huomattavasti keinuakselin lukinnalla. Tällöin koneen tukipisteinä ovat pyörien ja maan kosketuspisteet. Kuvassa 19 on esitetty keinuakselisen koneen tukipisteet, kun keinuakseli on vapaa ja kun se on lukittu. Stabiilisuuden mittana on painopisteen etäisyys kaatumisakselista. Lukitulla ja lukitsemattomalla keinuakselilla varustetulla koneella on stabiilisuusvarren ero suurimmillaan rungon ollessa käännettynä.

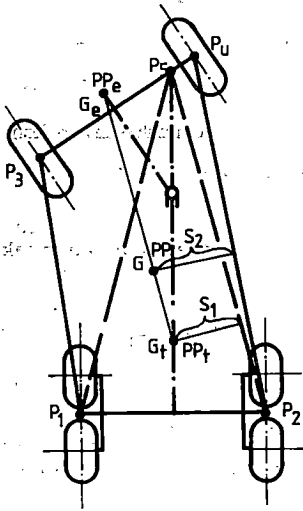
$$s_1 < s_2$$



Kuva 19. Keinuakselinen kone,  
koneen tukipisteet ja kaatumis-  
akselit  
PP = koneen pääosan painopiste  
(ilman keinuakselia)  
---- lukitsematon keinuakseli  
— lukittu keinuakseli

Kiertyvärunkonivelisen koneen takaosan stabiilisuus ei juuri muutu runkoa käännettäessä. Jos kuormain on takaosassa ja kiertonivel ei ole lukittavissa, työtilanteen stabiilisuus on kokonaan takaosan stabiilisuuden varassa. Jos kiertonivel lukitaan, tukipisteiksi tulevat pyörien ja maan kosketuspisteet ja stabiilisuus lasketaan koko koneen painon ja painopisteen perusteella. Kuvassa 20 on esitetty koneen tukipisteet, kun kiertonivel on vapaa ja kun se on lukittu. Vastaavat kaatumisakselit on myös merkitty kuvaan.

Stabiilisuusvarsien  $S_1$  ja  $S_2$  pituusero ei ole kovin merkittävä. Kuitenkin kiertonivelen ollessa lukittu on stabiilisuusmomentti suurempi, koska laskentapainona on koko koneen paino.



Kuva 20. Kiertyvärunkonive-  
linen kone, koneen tukipisteet  
ja kaatumisakselit  
---- kiertonivel vapaa  
—— kiertonivel lukittu

Kiertoniveleen lukinta lisää kuormaus/puunkäsittelytilanteessa kuljettajaan kohdistuvia rasituksia, sillä tällöin takaosan heilahdetut välittyvät suoraan etuosaan. Vapaa kiertonivel on tässä suhteessa eristävä tekijä etu- ja takaosan välillä.

## 7. YHDISTELMÄ

### 7.1. Keinuetaukselliset koneet

Runko-ohjatun keinuetauksellisen koneen stabiilisuus huononee voimakkaasti runkoa käännettäessä. Eturungon pituus ja koneen pääosan, kone ilman keinuetauksellia painopisteen paikka ovat ratkaisevimmat tekijät. Mitä pitempi eturunko on sitä enemmän stabiilisuus muuttuu runkoa käännettäessä, kuva 5, ts. lyhyt eturunko on edullinen. Stabiilisuus muuttuu myös sitä voimakkaammin mitä kauempana pääosan painopiste on taka-akselista. Painopisteen pitäisi olla mahdollisimman takana stabiilisuuskolmion leveällä osalla. Tämä pätee erityisesti konetyyppeihin, joissa on suhteellisen kevyt etuosa, koska näiden pääosan painopiste ei siirry sivusuunnassa merkittä-

västi runkoa käännettäessä. Konetyypeissä, joissa on raskas eturunko, ohjaamo, moottori jne: ovat siinä, on edullista, jos eturungon painopiste on mahdollisimman edessä. Tällöin pääosan painopiste siirtyy voimakkaammin sivusuunnassa stabiilisuuskolmion mukana runkoa käännettäessä, joten stabiilisuus muuttuu vähemmän.

## 7.2. Kiertyvärunkoniveliset koneet

Rungon käännöllä on melko voimakas vaikutus eturungon stabiilisuuteen. Sen suuruus riippuu paljon eturungon painopisteen paikasta. Eturungon stabiilisuuteen vaikuttavat myös takaosasta kietonivelen läpi välittyvät pysty- ja sivuvoimat. Pystyvoimien vaikutus on sitä suurempi mitä pitempi eturunko on. Sivuvoimien vaikutus on taas sitä suurempi mitä korkeammalla kiertonivel on. Takaosan telin kääntövastuksen synnyttämä sivuvoima huonontaa etuosan stabiilisuutta käännettäessä sivurinteestä vastarinteeseen ja parantaa stabiilisuutta käännettäessä myötärinteeseen. Sijoittamalla etuosan painopiste etuakselin etupuolelle kumoutuu telin kääntövastuksen vaikutus ja stabiilisuuden muutos on pienin mahdollinen.

Takaosan stabiilisuus ei huonone runkoa käännettäessä. Takaosan stabiilisuus on sitä parempi mitä taaempaan painopiste on. Myös takaosan voimavaikutukset etuosaan ovat sitä pienempiä mitä lähempänä painopiste on taka-akselia. Painopiste ei kuitenkaan saa olla aivan lähellä taka-akselia, sillä tällöin etuosan stabiilisuus huononee voimakkaasti ajettaessa vastarinteeseen.

## 7.3. Telin ja telojen käyttö

Stabiilisuuden kannalta telin suurin hyöty on sen sivuttaiskallis-



tusta vähentävä ominaisuus esteen ylityksessä. Keinuakselisessa koneessa riittää, jos taka-akselilla on telipyörät. Sen sijaan kiertyvärynkönivelisessä koneessa saataisiin merkittävä hyöty, jos myös etuakselilla olisi telipyörät.

Käyttämällä teloja telin kanssa päästään huomattavan pieniin pintapaineisiin. Teloilla on myös merkittävä koneen painopistettä alentava vaikutus johtuen telojen suhteellisen suuresta massasta ja alhaisesta sijainnista.

#### 7.4. Akselien ja runkonivelen lukinta työskentelyä varten

Keinuakselisen koneen stabiilisuus paranee puunkäsittelyvaiheessa merkittävästi, jos keinuakseli lukitaan. Se on usein tehokkaan työskentelyn edellytys.

Kiertyvärunkönivelisen koneen stabiilisuus paranee hieman, kun kiertonivel lukitaan. Tällä on kuitenkin myös haittavaikutuksia, sillä tällöin kuljettajaan kohdistuvat heilahtelut voimistuvat.

## CONCLUSIONS

### Tractors with oscillating front axle

Stability weakens strongly during turning. Length of the front body and location of centre of gravity of the main body are the most important factors. The longer the front body is the more the stability changes during turning. This means the fact that a short front body is advisable. The longer the distance from the centre of gravity of the main body to the rear axle is, the more the stability changes. The centre of gravity of the main body should locate as much to the rear as possible. However, if a tractor has a heavy front body, it is advisable that the centre of gravity of the front body is as far to the front as possible. In that case the stability changes less because the centre of gravity of the main body moves with the stability triangle.

During working or loading it is advisable that the oscillating front axle can be locked. That improves stability strongly.

### Tractors with trunnion tubes

The stability of the front body changes quite strongly during turning. Location of the centre of gravity of the front body affects mostly on the change of stability. It is advisable that the center of gravity should be to the front of the front body. Then the stability of the front body changes least.

The stability of the rear body does not change during turning. The closer the centre of gravity is to the rear axle the better the stability is. However the center of gravity should not be quite close to rear axle or behind it because this has negative affect on the stability of the front body.

During working or loading the stability of the tractor improves slightly if the trunnion tube can be locked. However this is disadvantageous as vibration of the driver becomes more severe.

## KIRJALLISUUS

AHOKAS J., ALTONEN M.: Tutkimus maataloustraktorin vetovoimasta. VAKOLA Tutkimusselostus 14/1975 Helsinki.

BERG H., LINDBERG T.G., Sandell J.: Avverkning med fällare - läggare. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten Redogörelse, N:o 9 1974, Stockholm.

GIBSON H.G., ELLIOT K.G., PERSSON S.P.E.: Side Slope Stability of Articulated Frame Logging Tractors. Journal of Terramechanics, Vol. 8 N:o 2 1971, s. 65...79, Pergamon Press, Great Britain.

HERMANSSON S.: Fordonsteknik. Försvarets materialverk Hjulfordonsbyron, Stockholm 1974.

HYVÄRINEN H.: Tutkimus monitoimimetsäkoneiden stabiilisuudesta. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Helsinki 1977.

KÄTTÖ J.: Metsätraktorin rakenteen vaikutus ajajan ja kuorman heilumiseen. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Helsinki 1971.

LINDBERG T.: Sidostabilitet hos ramstyrda fordon. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten redogörelse, N:o 1 1976, Stockholm.

SPENCER H.B., GILFILLAN G.: An Approach to the Assessment of Tractor Stability on Rough Sloping Ground. Journal of Agricultural Engineering Research. Vol 21, N:o 2 1976, s. 169...176.

Terrängmaskinen DEL 2, Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stockholm.