

Maaston kulkukelpoisuus

Yleisesikuntaeversti L K a j e

JOHDANTO

Vaikeakulkuiset alueet maapallolla ovat samalla olleet suhteellisen rauhallisia seutuja, kun taas suuret valloitusodot ja kansainvaellukset ovat vyöryneet halki kuivien arojen, joilla erot teiden ja maaston välillä miltei hävisivät. Hevonen toimi tehokkaana liikunta-, kuljetus- ja taisteluvälineenä. Yhden aselajin taistelutaktiikka helpotti toimintaa, etenkin huoltoa, joten taatavan johdon alaisena kyettiin saavuttamaan suuri taktillinen liikkuvuus. Se vetää vertoja nykyiselle moottoriajoneuvojen aikakaudelle, mitä rasittaa monien aselajien käytöstä johtuva toimintakankeus ja huollon raskaus.

Eurooppalainen maasto kanalisoi liikenteen pääasiassa teille, joiden sotilaallinen merkitys siten tuli suureksi. Taktiikka mukautui olosuhteisiin, ja lopulta mentiin jo niin pitkälle, että taistelua välttämällä pyrittiin "manövreerauksella" saattamaan vihollinen kestävämpään tilanteeseen. Tuliaseiden kehitys muokkasi vähitellen maaperää järkevämmälle asennoitumiselle. 1700-luvun puolivälissä alkoi kehitysvaihe, joka muutti sekä yleisen asennoitumisen että taktiikan ja pakotti kiinnittämään yhä enemmän huomiota maastoon eikä yksinomaan teihin. Seurauksena oli ryntäys topografiseen kartoitukseen aluksi kiinteästi tiedusteluun liittyvänä. Kartografisessa mielessä viivoihin ja teihin kohdistunut mielenkiinto suuntautui nyt pintoihin, siis maastoon ja sen muotoihin, topografiaan.

Teknillisesti kehittyneissä maissa ollaan parhaillaan siirtymässä askelta pitemmälle. Topografista kartoitusta ei juuri enää suoriteta

uudiskartoituksena omilla alueilla. On otettu mukaan kolmas dimensio, syvyys: tunkeudutaan maan sisään ja oikeastaan myös ilmaan. Toinen maailmansota valtavine kuljetustarpeineen pakotti polkaisemaan toimintaan suuria organisaatioita tutkimaan maastossa liikkumiseen liittyviä ongelmia. Maaston kulkukelpoisuus riippuu erittäin paljon säätilasta ja tilastollisessa mielessä ilmasto-opillisista tekijöistä, ja usein oli näihin seikkoihin kiinnitettävä jopa päähuomio. Kulkukelpoisuutta alettiin siten ennustaa kuten säätilaa. Pioneeritoiminta asetti tietenkin omat lisävaatimuksensa, ja nyt on ydintaisteluvälineiden käytön uhka tuonut mukaan monia lisätarpeita, ennenkaikkea se pakottaa hajautettuun ja nopeaan liikkumiseen sekä teillä että maastossa.

Uusi tilanne oli monessa suhteessa yllättävä, siihen ei ollut varauduttu. Moottoriajoneuvojen kehittäminen on jopa nykypäiviin asti tapahtunut pääasiassa tunnonvaraisesti, kokeilemalla ja huomattuja erehdyksiä asteittain korjailemalla. Nyt on jo todettu, ettei tällä tavoin voida enää vastata kehityksestä, vaan on siirryttävä tieteellisemmälle pohjalle. Ensin on tietenkin tunnettava maasto ja sen vaikutukset kulkukelpoisuuteen ja sen jälkeen tehtävä välineet joko yleistä maastoliikkuvuutta tavoitellen tai erikoisolosuhteita varten. Kertynyt tutkimusaineisto on jo melko suuri, mutta sittenkin on katsottava, että työ on perustutkimuksenakin vielä puutteellinen. Kukin valtio joutuu alueensa luonteen mukaisesti päätyämään osittain erilaisiin ratkaisuihin, ja mahdolliset erehdykset tulevat kalliiksi. Etualalla ovat nyt siviilitarpeet. Omassa maassamme — ja muissakin Pohjoismaissa — on syntymässä suoranainen kriisi metsäalalla, kun hintojen lasku pakottaa rationalisoimaan puutavaran hakkuut ja kuljetukset, missä yhteydessä tapahtuu siirtymisen sesonkityöstä läpivuotiseen ammattityöhön. Ratkaisut kuljetusvälineiden osalta sitovat myös sotilaiden valinnanvapautta.

Konstruktiopuolella on kehitys tähän asti kulkenut lähinnä moottoritehon lisäämisen merkeissä, mutta tällä tavoin ei ole saavutettu toivotua nopeuden lisäystä, mikä kuljetustehon parantamiseksi olisi tarpeen. Suurempiin nopeuksiin kuin noin 10 km/h ei maastossa yleensä kesäkelillä päästä ja äärimaksimi on noin 20 km/h, mitä enempiä ei kolonna-ajossa päästä ajourillakaan. Tienopeudeksiin on katsottava vain 25 km/h. Hevonen on oikeastaan vieläkin lyömätön maaston liikuntavälineenä. Moottoriajoneuvojen osalta ovat radikaaliset muutok-

set — uudet keksinnöt — tarpeen, ennenkuin on toivoa mainittavista nopeuden lisäyksistä. Mutta maastotutkimuksen tarvetta ja kulkukelpoisuuden ennustamista eivät mitkään keksinnöt pysty poistamaan, päinvastoin kokemus kaikilla aloilla osoittaa, että tekninen kehitys vain korostaa välineiden käyttöolosuhteiden tuntemuksen välttämättömyyttä. Tässä tapauksessa syyt tulevat olemaan ensi sijassa taloudellisia. Hyvää yleisajoneuvoa, kaikissa olosuhteissa — myös teillä — kelvollista ja erinomaista kuljetusvälinettä tuskin löydetään, vaan päädytään myös tyyppeihin, jotka soveltuvat kukin parhaiten vain erikoismaastoihin. Itse asiassa eriytymiseen johtava kehitys on täydessä vauhdissa. Teitten laadullinen paraneminen on vienyt siihen, että valmistetaan yhä raskaampia mutta taloudellisia tieajoneuvoja, jotka ovat miltei kelvottomia hyvässäkin maastossa, koska esim useista akseleista vain yksi vetää ja maavara saattaa olla pieni. Tienpinnan vetokitka on kumipyörillä nykyisin erittäin suuri mutta maastossa samoilla renkailla jokseenkin vähäinen, ja vierintävastus mitätöi sitäkin osan jopa usein kaiken. Pehmeällä maalla ovat tela-ajoneuvot parempia, mutta suomalaisessa maastossa koituvat runsaat kivikot niiden surmaksi. Paitsi lujia iskuja kivet aiheuttavat myös voimakkaita vääntöjä ja kuorman epätasaista jakaantumista kantopinnoille. Meikäläiset pyörämaastoajoneuvojen kehittäjät ovat päätyneet kokeilemaan nivellettyjä ajoneuvotyyppisiä, jotka pystyvätkin ylittämään miltei metrin korkuisia kiviä yksitellen. Kaikkien pyörien tulee silloin olla vetäviä.

Jotta ajoneuvo ylimalkaan voisi olla maastokelpoinen, tulee maaperän kantaa se mainittavasti murtumatta. Maaperän lujuuden ratkaisee ensi sijassa sen leikkauslujuus. Kitka mailla (karkeajakoisia maalajeja) lujuus kasvaa puristuspuheen mukana, koheesio mailla (hienojakoisia maalajeja) se on periaatteessa kuormituksesta riippumaton. Käytännössä enimmäkseen maaperät ovat sekamuotoja, niillä on myös kimmo-ominaisuuksia ja lisäksi koheesiovoimatkin kasvavat kuormituksen lisääntyessä. Kosteus vähentää savipitoisten maiden lujuutta, mutta lisää yleensä sitä hiekkamailla. Ajoneuvojen tärinä ja iskut rikkovat helposti maaperän koheesion, jolloin sen lujuus ainakin pintaosissa pienenee ja etenkin vetokitka vähenee.

Ajoneuvojen moottorivoima on nykyisin yleensä aina riittävä, mutta vetokitka voi olla hyvinkin rajoitettu. Se riippuu paitsi kivennäismaa-

perän leikkauslujuudesta myös maan ylimmän pintakerroksen laadusta (risut, varvut, sammaleet, humus ym) ja kosteudesta, adheesiosta ajoneuvon ja maan kosketuspintojen välillä sekä tähän liittyen (kuitenkin ehkä luultua vähemmän) renkaiden ja telojen laadusta. Talvisin olisi ehkä palattava "vanhan ajan" kapeisiin renkaisiin paremman maakosketuksen ja siten edullisemman vetokitkan saavuttamiseksi. Ajoneuvon bruttovetovoima vähenee vierintäkitkan takia, mikä pääasiassa johtuu maaperää vastaan suoritetusta työstä, näkyvänä merkinä syvempi tai matalampi telojen tai pyörien ura maastossa. Vierintävastus on keskimäärin 10 % ajoneuvon painosta, mutta sen "tiliin" voidaan panna myös vähäisempien esteiden ylittämiseen ja yleensä liikkeen ylläpitämiseen tarvittava voimareservi. Maastossa liikuttaessahan voiman tarve jatkuvasti vaihtelee, ja nämä vaihtelut on voitettava joko voimareservillä tai nopeuden antamalla liike-energialla.

Maaston mikroesteiden merkitys on etenkin meillä niin suuri ja niiden vaikutukset niin erikoislaatuisia, että tässä yhteydessä tekisi mieli puhua neljännestä dimensiosta, joka on erikseen kartoitettava. Tälle dimensiolle ollaan todellisuudessa vasta hakemassa mittaa tai mittoja. Nämä mikroesteet muodostuvat pääasiassa korkeusvaihteluista, usein kivistä, mutta pienuutensa takia niitä on mahdotonta ja hyödytöntäkin tavalliseen tapaan kartoittaa. Etenkin pyöräajoneuvot ovat herkkiä pienillekin esteille, koska niiden tiheys, jyrkkyys ja korkeus totuttomalle silmälle melko huomaamattomista rajoista lähtien tekee liikkumisen mahdottomaksi. Tela-ajoneuvot taas — yhtä salakavalasti — alkavat kolhiintua riikki iskuista kiviin tai jäävät "mahastaan kiinni". Talvi tasoittaa esteitä, mutta estää samalla niiden näkymisen, joten kesäisin kerätyt ennakkotiedot ovat sitäkin tärkeämpiä. Mikroesteet, kartoilla näkyvät korkeusvaihtelut ja suot ovat estemielessä tavallaan helpommin hallittavissa, sillä ne eivät aiheuta yllätyksiä.

Kulkukelpoisuustekijöille kokonaisuutena on yritetty löytää vähintään mahdollista määrää täsmällisen merkityksen omaavia mittoja; mutta niiden luku tulee varsin suureksi kuitenkin tyydyttämättä nähtävissä olevia tarpeita. Tehtävä on toistaiseksi liian mutkikas. Sotilaan tärkein mitta on aika, siis tässä nopeus, siviilillä taas raha. Valitettavasti nopeus riippuu paitsi ajoneuvotyypistä (esim pyörä- ja tela-ajoneuvot) myös ajoneuvon muusta rakenteesta (vetävät akselit, rengaskoko, telojen

leveys ja pituus jne). Tulokset saattavat lisäksi muuttua, jos tarkastellaan vain yhden välineen — esim ase— liikkuvuutta maastossa tai jatkuvaa kolonnaliikennettä, mitä huolto tietenkin edellyttää. Edellisen ratkaisee lähinnä pintakerros, jälkimmäisen varsinainen mineraalimaaperä. Ylimalkaan ollaan suuren probleeman edessä jo siinä, miten lopulliset tiedot — jos ne ovat olemassa — voidaan järkevällä tavalla esittää tarvitsematta valmistaa esim karttoja jokaiselle kulkuvälineelle erikseen, mikä tietenkin on liian työlästä.

Tässä esitettävä tutkimus on huomattavasti lyhennelty siitä, mikä alun perin on jätetty Suomen Sotatieteelliselle Seuralle.

HITAUSVOIMAT LIKKUVUUTTA LISÄÄMÄSSÄ

Kulkukelpoisuusksymyksiä käsiteltäessä tyydytään yleensä tutkimaan staattisia voimia ja niiden tasapainoja, jolloin joudutaan havaitsemaan, että varsin mitättömienkin kohoutumien pitäisi oikeastaan toimia esteinä. Käytäntö kuitenkin osoittaa toista, ja syynä on tärkeätä osaa näyttelevien hitausvoimien liikettä auttava vaikutus.

Kun autonpyörä sattuu kiveen, on vastus tavallisesti alussa kaikkein suurin — sikäli kuin esteen aiheuttaman nousukulman tangentti kelpaa estevaikutuksen mitaksi — joten jo muutaman sentin nousu merkitsee helpotusta, ellei pyörää rasittava kuormitus jousituksesta riippuen kohtuuttomasti kasva. Jos pyörän osalle tulee p % ajoneuvon bruttokuormituksesta ja esteen korkeus metreissä on h , tarvitaan esteen ylittämiseksi ajoneuvon nopeus (m/s), joka saadaan likiarvona kaavasta

$$(1) \quad v = \sqrt{\frac{hp}{5}}$$

Tasakuormituksessa tulisi 4-pyöräajoneuvolle $p = 25$ %. Jos estekorkeus on $0,1$ m, tarvitaan sen ylittämiseen nopeus $0,7$ $m/s = 2,5$ km/h . Jos esteeseen osuu 2-pyörää, voimme merkitä $p = 50$ %, jolloin vaadittava nopeus olisi 1 $m/s = 3,6$ km/h . Estekorkeus $0,2$ m edellyttää yhden pyörän osalta nopeutta 1 m/s ja kähdelta pyörältä $1,4$ $m/s = 5$ km/h . Viimeiset arvot alkavat olla jo harhauttavia. Nimenomaan kivisellä maalla saattaa pienipyöräisellä vaunulla olla vaarallista ajaa suuremmalla nopeudella kuin 1 m/s . Vierintävästus alkaa selvästi kasvaa jyrkissä

10—20 cm:n esteissä ja pystysuora, pyörän säteen korkuinen este pysäyttää (tai rikkoo) vaunun. Varoitusrajaksi kelpvannee estekorkeus, joka on puolet tai kolmannes pyörän säteestä.

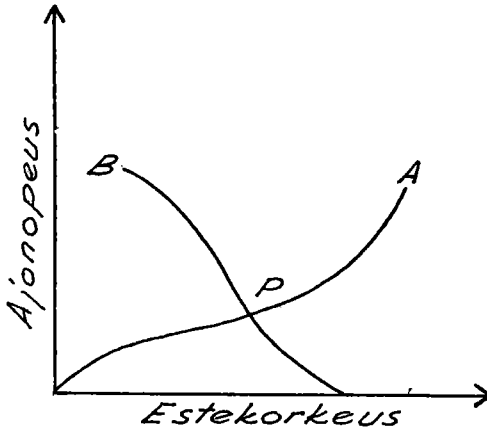
Jos ajoneuvo on pysähtynyt esteeseen, on sen yleensä otettava vauhtia esteen ylittämistä varten, koska yritys muuten epäonnistuisi. Jos ajoneuvon nettovetovoima on w % bruttokuormasta ja muut merkinnät ovat kuten edellä, tarvitaan estekorkeuden h ylittämiseksi vauhtimatka

$$(2) \quad s = \frac{ph}{w}$$

Estekorkeus 0,1 m nettovetovoimalla 25 % ja samoin 25 % kuormituksella edellyttää yhden pyörän tapauksessa vauhtimatkaa 0,1 m ja kahden pyörän joutuessa esteelle 0,2 m. Kun w on 5 %, ovat vastaavat vauhtimatkat 0,5 m ja 1 m. Estekorkeuksien kaksinkertaistuessa tekevät vauhtimatkat samoin. On merkillepantavaa, että pikku esteiden ylittämiseksi tarvittavat vauhtimatkat ovat varsin pieniä, joten vähäiselläkin voimareservillä tullaan sikäli toimeen. Mutta "vauhditon" yritys edellyttää tavallisesti niin suuria vapaita voimia, ettei niitä läheskään aina ole käytettävissä, koska vapaa vetovoima maastossa on heikon vetokitkan takia vähäinen.

Tarkastamme vielä kaavamaista piirrosta 1, jossa pystyakselina on ajonopeus ja vaakaa-akselina oikealle kasvava estekorkeus. Käyrä A kuvaa ajonopeutta, jota olisi käytettävä, jotta este voitaisiin vauhdilla ylittää. Voimme pitää käyrän muotoa aluksi funktiona estekorkeuden neliöjuuresta, jolloin vain nostotyö määrää tarvittavan energian, mutta estekorkeuden kasvaessa käyrä alkaa kaartua ylös, lopulta jyrkästikin, kuten on osoitettavissa. Syynä on vierintävastuksen kasvu, mikä taas on seurauksena suurentuneesta maanpintapuristuksesta. Käyrä B kuvaa nopeutta, jolla esteelle uskalletaan ajaa ajoneuvoa, kuormaa tai henkilöitä vahingoittamatta. Konstruktöörin väittämän mukaan loppuu ensin kuorman tai henkilöiden sietokyky. Kun jousitus "lyö pohjaan", on aika viimeistään vähentää nopeutta, ja kun A käyrä kaartuu jyrkemmin ylös, on nopeus pudotettava kutakuinkin nolnaan. Täyden esteen rajaa ei silti ainakaan tasamaalla vielä ole saavutettu, mikäli ajoneuvon kaikki pyörät ovat vetäviä, mutta voidaan sanoa viimeistäänkin oltavan "matelurajalla". Käyrien leikkauspiste P merkitsee kohtaa, jolloin

esteistä aletaan selvittää vain kaasua lisäämällä tai vaihteita muuttamalla, mutta rinnemailla ollaan jo "matelurajalla" tai liike pysähtyykin, ellei vapaata vetovoimaa riitä.



Piirros 1

Käyrien muoto riippuu myös esteitten pituudesta ja ajoneuvotyypistä. Jollakin estepituudella ajoneuvo alkaa kokonaisuutena heilahdella pakottaen vähentämään nopeutta. Vaikka edellä esitetty yleiskuva sopii lähinnä pyöräajoneuvoille, pätee se riittävästi tela-ajoneuvojenkin suhteen. Käyrä B on tarkoituksella piirretty melko matalaksi myös vasemmasta päästään, mikä johtuu lisääntyneestä tehonkulutuksesta, iskujen koventumisesta vauhdissa sekä erinäisistä maastollisista syistä, mm rinneistä, kasvillisuudesta, näkyvyydestä ym.

Huollon kannalta arveluttavaan mateluun siirtyminen tapahtuu kumpuilevassa maastossa ehkä jo pisteessä P, jos esteiden tiheys on riittävä, joten niitä ei voida kientää. Piste P siirtyy oikealle, kun pyörän läpimitta tai telojen pituus kasvaa tai jousto paranee. Pitemmälle menevä tarkastelu edellyttää jo syvällisempää teorian ja kaluston tuntemusta.

Vauhdin tärkeä merkitys on siinä, että se tasaa voiman sekä nopeuden tarpeen. Vierintävastus maastossa ei koskaan ole jatkuvasti sama, mutta vauhti ja jousitus yhdessä "tasoittavat" maaston sitä paremmin

mitä suurempi nopeus on, koska sama energiatarve suuremmilla nopeuksilla aiheuttaa pienemmän nopeuden muutoksen kuin vähäisemmillä nopeuksilla. Vaunun runko voi "tuntea" suuria rasituksia, mutta kuorma ja henkilöt ovat levossa vaunuun nähden joutumatta alltiiksi rasituksille, ellei nopeus selvästi hidastu. Jarrutusten tulisi siis tapahtua tasaisilla kohdilla eikä esteissä, mikä johtaa voimakkaaseen heittelemiseen. Varsinaisen mäkiavastuksen voittamiseen vauhdin avulla on maastossa vähän mahdollisuuksia, kun se taas teillä voi tarjota tilaisuuden käyttää suurempia kuormiakin. Vauhtipaikkojen tilapäinen tasoittelu maastossa on kuitenkin tärkeämpää kuin rinteiden silittely. Liukkaissa savikoissa vetokitka häviää, mutta vauhti voi viedä yli, mikäli koheesiota on riittävästi, jotta vaunu ei ehdi vajota liian syvälle. Ohjattavuus voidaan kuitenkin menettää. Liian epätasaisessa (takapainoisessa) kuormituksessa ohjattavuus voi vauhdissa myös kadota, mutta jarrutus on omiaan palauttamaan sen, koska paino silloin siirtyy eteenpäin.

Jatkuvuusvoimien hyväksikäyttö merkitsi samaa kuin nopeuksien hyväksikäyttö energiareservinä. Käsitteenä nopeus (m/s, km/h) on tullut toisaalta liiankin yleiseksi sotilassanastossa, ja siitä koituvat haitat jäävät huomaamatta. On osoitettavissa, että esim nopeuksien keskiarvoilla ei juuri koskaan ole mielekästä merkitystä. Nopeusmittarien ilmaantuminen autoihin on vienyt ajatukset ja käytännön harhateille. Kello on oikeampi "nopeusmittari", ja olisi parempi puhua esim nopeudesta 10 min/km kuin 6 km/h. Otamme yksinkertaisen esimerkin. On koeajettu kolme kertaa maaston läpi 2 km:n matka, josta puolet on hyvin vaikeata ja toinen puoli helppoa maastoa. Tulokset: 1.koe, vaikea osuus 50 min, helppo 10 min; 2.koe, vastaavat ajat 60 min ja 12 min; 3.koe, 40 min ja 8 min. Vaikean osuuden keskimääräinen ajoaika on 50 min ja helpon 10 min ja näiden keskiarvo — kaikissa suhteissa oikea — on 30 min/km (= 2 km/h). Vaikean osan nopeudet taas ovat 1,2 km/h, 1 km/h ja 1,5 km/h, joiden keskiarvo on 1,23 km/h. Helpon osan nopeudet ovat 6 km/h, 5 km/h ja 7,5 km/h, joten keskiarvo on 6,17 km/h. Loppukeskiarvoksi tulee noin 3,7 km/h, mikä tietenkin on peräti väärä. Oikea tulos saataisiin harmoonisen keskiarvon laskuperiaatteella, mutta sen käytön opetteleminen on tarpeetonta. Sotilaskäytössä olisi laskettava yksinkertaisesti vain aikoja ja niiden keskiarvoja. Silloin tulokset ovat mielekkäitä.

MAASTON ESTEET

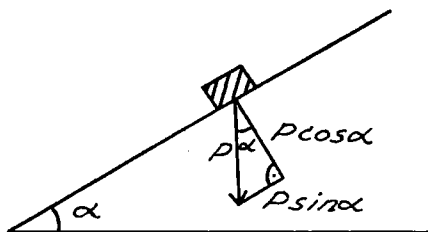
Meikäläinen maasto on suuressa määrin "satunnaista", mikä ensinnäkin merkitsee, että ei ole sääntöä sille, missä päin toinen kukkula toiselta katsottuna on. Laakso- ja harjanneprofiilien kesken ei ole systemaattisia eroja, isoja kukkuloita on vähemmän kuin pieniä. Matemaattisesti ilmaistuna kukkulat (ja rotkot) sijoittuvat maastoon Poissonin lain mukaan ("sinne tänne, mihin sattuu") ja kaikkien maastopisteiden korkeusjakautuma riittävän suurella alueella lähenee normaalijakautumaa. Suuremmat suo- ja vesipinnat katkaisevat em satunnaisuuden, ja isojen peltoalueiden satunnaisuusluonne on korkeusvaihtelultaan toinen kuin ympäröivissä metsissä. Tätä eroa voidaan käyttää hyväksi luokitteluperusteena.

Tyypillisenä rinteenä on pidettävä sellaista, missä ajoneuvo kunakin hetkenä kokonaisuudessaan nousee ylös samassa rinnekuilmassa. Jos kohoutumat ovat pieniä, joutuvat esim auton etu- ja takapyörät nousemaan ylös erilaisissa kulmissa. Periaatteellinen ero makro- ja mikrokorkeusvaihtelujen kesken kulkukelpoisuusmielessä onkin juuri tässä. Jos mikrovaihtelut ovat niin pieniä, etteivät ne pyöräajoneuvonkaan alla mainittavasti tunnu, voimme pitää maaperää homogeenisena, ellei maalaji vaihdu (esim hiekasta saveksi). Käytännöllisistä syistä lienee makroesiintyminä pidettävä sellaisia, jotka on todettavissa 1:20 000 kartoilla oikeakaavaisina. Mikroesiintymiä voidaan kartalta arvailla suuremmalla tai pienemmällä varmuudella tai löytää symbolien perusteella. Näkymättä voi jäädä esiintymiä, joiden suurin vaakaulottuvuus on 20—30 m, joskus enemmänkin ja korkeusvaihtelut suunnilleen kymmenesosa, 2—3 m. Homogeenisina voitaneen pitää soraa ja sitä hienojakoisempia maalajeja, harvemmin moreenia.

Rinnevastuksen (R_r) laskeminen on perin helppo tehtävä (piirros 2). Ajoneuvon bruttokuormituksesta P aiheutuu maanpintaa vastaan kohtisuora, puristava komponentti $P \cos \alpha$ ja rinteen suuntainen komponentti $P \sin \alpha$, jolloin α on rinnekaltevuus. Rinnevastus on ilmeisesti

$$(3) \quad R_r = P \sin \alpha = P \cos \alpha \tan \alpha = \frac{P \cos \alpha}{100} \alpha (\%)$$

Rinnekaltevuus ilmoitetaan yleisesti tangenttiprosentteina, jonka vuoksi tämä on otettu yllä mukaan. Esim $\tan 10^\circ = 0,176 = 17,6\%$. Käytännössä siniprosentit ovat 12° :een saakka yhtä suuria ($\tan 12^\circ = 0,213$, $\sin 12^\circ = 0,208$). Pyöräajoneuvot eivät yleensä kykene maastossa nousemaan jyrkempiä kuin 30% :n rinteitä ($= 17^\circ$) eivätkä tela-ajoneuvot jyrkempiä kuin 45% :n (25°) rinteitä.



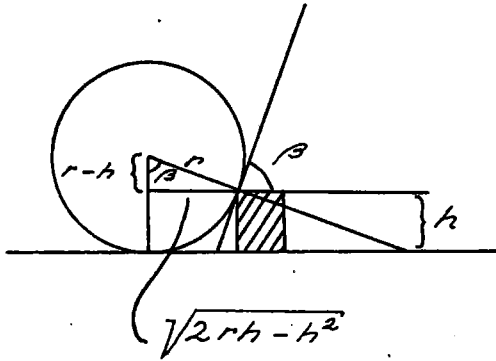
Piirros 2

Vapaa vetokyky riippuu suuressa määrin rinnevastuksesta. Tätä kysymystä käsitellään tuonnempana erikseen. Suurilla kuormilla ei ole turvallista ajaa jyrkkiä rinteitä enempää ylös kuin alaskaan. Raja on enimmäkseen $n 15^\circ$:n (27%) tienoilla. Mitä jyrkempi rinne on sitä välttämättömämpää on ajaa rinnettä suoraan ylös tai alas, sillä ajoneuvon vakavuus on herkin sivuheilahtelulle. Staattinen vakavuus on yleensä aina riittävä. Sivukallistuman haitallinen raja on $n 10^\circ$:n tienoilla (reki ei kuitenkaan siedä juuri lainkaan kallistumaa). Telaketjuajoneuvot kykenevät periaatteessa liikkumaan hyvinkin kaltevia rinteitä, mutta painon siirtymä vääntöjen ohella tekee iskut sitäkin kohta-lookkaammiksi.

Itsenäisen Suomen ensimmäinen Sotilastopografia (Rainesalo, 1921) totesi lyhyesti: "Taktiikka opettaa maaston vaikutuksesta sotajoukkojen toimintaan seuraavaa: pienetkin, alle 4° :n kaltevuudet voivat, jos vain ovat kyllin laajat, tarjota suojaa joukoille, ja siis on hyödyllistä voida kartalla nähdä ne. Alle 6° kaltevaa rinnettä voivat kaikki aselajit kulkea; 10° :n rinne on vaivalloinen tykistölle ja kuormastolle. 15° :n mäkeä voi ratsuväki kulkea vain hajallaan, 20° — 30° :n kaltevuus on jo vaikea jalkaväelle hajallisessakin järjestyksessä. Yli 30° :n rinnettä voivat vain

yksityiset jalkamiehet kulkea, jos siinä on pensaita, mihin tarttua; 45°:n kaltevuus on jo yleensä mahdoton kulkea.”

Suot ovat tyypillisiä makroesteita, joiden esteluonne muistuttaa vierintävastuksen ja mikroesteiden sekoitusta. Ratkaiseva merkitys on suon syvyydellä, pohjan laadulla (kova-pehmeä, tasainen-epätasainen), kasvillisuudella juurineen sekä vetisyydellä. Muilla pyörajoneuvoilla kuin traktoreilla ei niihin ole — korpea lukuunottamatta — juuri menemistä ilman lisätoimenpiteitä. Kevyet panssarivaunut kykenevät liikkumaan soilla turvekerroksen päällä, raskaammat jäävät kiinni, jos kova pohja on 60 cm syvemmällä, koska vaunun keskiosa alkaa kantaa, joten vetokyky häviää tai vaunu uppoaa pohjalla olevaan kuoppaan tai rimpeen. Jos suon ympäristömaasto on tasaista, on yleensä myös suon pohja tasainen.



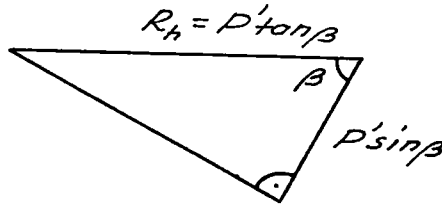
Piirros 3

Siirrymme mikroesteiden tarkasteluun. Kun pyörä sattuu jyrkkään esteeseen, kiveen, kantoon tai juureenkin, jonka korkeus on h , sen on noustava aluksi ylöspäin kulmassa β (piirros 3), jonka määrää pyörän sivuaja kosketuspisteessä. Jos pyörä vetää (tai on kyseessä tela-ajoneuvo), vastaa tilanne rinnevastustapausta, jossa rinnekulma on β (telaajoneuvoilla kuitenkin pienempi). Ellei pyörä itse vedä, on työntövoima

vaakasuora (tai rinteessä sen suuntainen). Työnnöllä on kumottava kaavan (3) mukaan voimakomponentti $P' \sin \beta$, missä P' on nyt pyörän kuorma. Tarvittavan voiman suuruudeksi, mikä samalla merkitsee estevastusta R_n , saamme (piirros 4) $P' \tan \beta$. Tangentin arvo on helposti laskettavissa (katso piirros 3), joten saamme

$$(4) \quad R_n = P' \tan \beta = \frac{P'}{100} \beta (\%)$$

$$= \frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r - h} P'$$

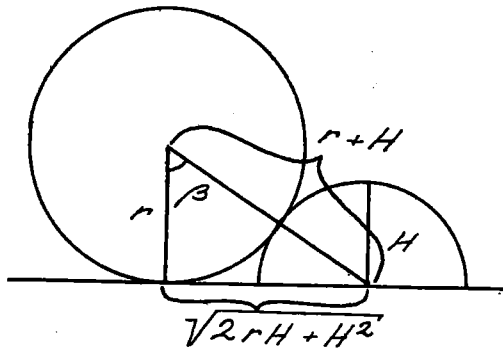


Piirros 4

Este on ylittämätön vaakatyönnöllä, kun sen korkeus h on sama kuin pyörän säde r . Vauhtikaan ei tässä auta. Estevastus R_n on yhtä suuri kuin kuormitus P' , kun $\tan \beta = 1$ tai $h = (1 - \sqrt{2}/2) r \approx 0,3 r$. Jos r on esim 35 cm, riittää tähän runsaan 10 cm:n korkuinen este. Iso pyörä on siis edullisempi. Jos kaksi pyörää työntää, ne tuskin kykenevät aikaansaamaan enempää työntövoimaa kuin 20 % koko kuormituksesta, mikä ei tasakuormituksessa riittäisi, koska se vaatisi 25 %. Mutta vähäinenkin vauhti auttaisi, sillä nousukulma β mataloituu nopeasti.

Jos este on puoliympyrän muotoinen kivi, jonka säde, siis suurin korkeus on H , saadaan (laskemalla $\tan \beta$ piirroksesta 5)

$$(5) \quad R_n = \frac{\sqrt{2rH + H^2}}{r} P'$$



Piirros 5

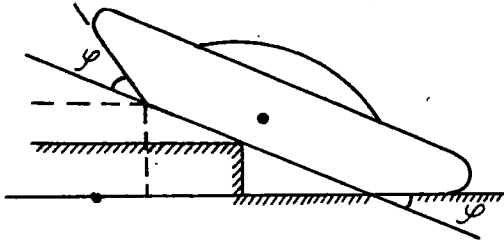
Jos kivi on puolipallon muotoinen, on sen keskikorkeus H kiveä ylittäessä n 80 % suurimmasta korkeudesta. Kiven koko korkeus olisi siis 25 % suurempi kuin H . Kun n 30 cm korkeita kiviä pidetään esteinä kuormavaunuille, lienee tämä tulkittava siten, että $H = 0,8 \times 30 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$ merkitsisi yleensä täyttä estettä. Estearvo P' saavutetaan (5):n mukaan silloin, kun $H = (\sqrt{2} - 1)r \approx 0,41r$, jolloin siis puolipallon muotoisen kiven koko korkeus olisi $\frac{1}{2}r$. Jos täyden esteen kivi on 30 cm korkea, olisi estearvoa P' vastaava pyörän halkaisija 1,2 m. Osa kivistä voi olla jyrkkiä esteitä, joten (4) sopisi paremmin ja antaisi tässä tapauksessa estearvon $\sqrt{3}P' = 1,73P'$. Näyttää ilmeiseltä, että voimme hyväksyä estekriteeriksi seuraavan: kuormavaunun liike pysähtyy kivikossa, jossa kivien korkeus on puolet pyörän säteestä.

Edullisissa olosuhteissa voivat nelipyörävetoisen vaunun kolme pyörää aikaansaada 35 % vetovoimaa kuormituksestaan eli 26 % koko kuormasta, millä voimalla neljäs pyörä siis puristuu jyrkkää estettä vastaan. Jos este on karkea ja kova, kykenee tämä pyörä irrottamaan puristuksesta nostovoimaa jopa 90 % eli 23 % koko kuormasta, siis miltei oman osuutensa 25 %. Elleivät esteet ole täysin pystysuoria, ja vaunu on nivelletty, joten pyörän kuormitus ei kasva, voi vaunu yksi pyörä kerrallaan hivuttautua matalammalla korkeidenkin esteiden yli.

Suomalaisen maaston tyypillisimpiä esteitä puuston ohella ovat juuri

Kivet sekä mättäät, joiden alle tavallisesti kätkeytyy kivi tai kanto. Ne ovat riittävän korkeina täyden esteen veroisia maastoautoille vasta silloin, kun niitä on niin tiheässä, ettei kiertäminen onnistu. Ajajan käytettävissä oleva aika on riittämätön "tilanteen arvosteluun". Tottunut tulkitsija kykenee kuitenkin melko nopeasti arvioimaan kivien korkeuden ja tiheyden. Tiheysvaikutelma syntyy lähinnä kivien välin mukaan katselusuunnasta sivulle päin, ja eri tulkitsijoiden tulokset sopivat jokseenkin hyvin yhteen. Jos kivet jakautuvat maastoon kutakuinkin satunnaisesti ja niiden tiheys on esim yksi kivi aaria kohti, on etäisyys joltakin kiveiltä lähimpään naapurikiveen keskimäärin 5 m. Jos taas yksi kivi tulee 3 m x 3 m aluetta kohti, on lähin kivi toisesta keskimäärin 1,5 m päässä. Kivistä siis pyrkii muodostumaan katkeilevia ketjuja, joiden välillä on helpompaa maastoa, jota ajamalla kuitenkin pian joudutaan "pussiin", siis on pakko ylittää kiviketju. Noin 30 cm kivi on kuorma-vaunuille käytännössä täysi este ja kiertäminen alkaa käydä tukalaksi — väleissä on lisäksi pienempiä kiviä — kun aarille tulee enemmän kuin yksi estekivi. Jos kivivyöhyke on kapea, täytyy kiviä olla aarilla 4 kpl tai enemmänkin. Tela-ajoneuvot eivät uskalla ajaa pitemmälle vastaavaan n 45—60 cm:n kivikkoon, koska lujat iskut kiviin rikkovat telat tai vaunu jää mahastaan kiinni suhteellisen pienen maavaran takia. Tiheydeltään vastaava puusto, jota ei kyetä kiertämään, muodostuu vakavaksi haitaksi, kun puiden paksuus alkaa olla 10 cm:n luokkaa.

Jokapyörävetoiset nivelletyt maastovaunut kykenevät hiljaksen etenemään pahassa louhikossa, jossa lähes pystysuorat nousut yhden pyörän osalta voivat olla metrin luokkaa. Panssarivaunut pystyvät nousemaan saman suuruusluokan jyrkänteen päälle. Jyrkänteen nousun periaate (piirros 6) on varsin yksinkertainen: vaunun painopiste on saatava niin kauas eteen jyrkänteen reunan taakse, että vaunu heilahtaa esteen päälle. Jyrkästä φ -kulmasta ei ole etua, ellei vaunu ole hyvin matala, sillä painopiste siirtyy kuitenkin taakse nousussa. Kaivantoa ylitettäessä (pohjalla käymättä) on tilanne hieman helpompi. Vaunu kykenee ylittämään kaivannon, jonka leveys on "reilusti" pienempi kuin vaunun pituuden puolikas. Panssarivaunut ja telatykit kykenevät siten — esittääksemme täsmällisiä ohjelukuja — ylittämään vielä 85 cm:n jyrkäniteitä ja 2,4 m:n kaivantoja, muut telavaunut ilman kuormaa 40—60 cm:n jyrkäniteitä ja 1,6—2 m:n kaivantoja.



Piirros 6

Lumi on pohjoisilla leveysasteilla tärkeä ja huomioon otettava ”maaperä”, joka tosin lisääkin kulkumahdollisuuksia, mutta ennen kaikkea se vähentää normaalisten liikuntavälineiden kulkunopeuksia ja muodostuu jopa esteeksi. Peittäessään kivet ja kuopat näkymästä lumipeite on omiaan järjestämään joukoille ikäviä yllätyksiä, ellei maastoa yksityiskohdittain ennakoita tunnetta, mikä taas edellyttää suurikaavaista ja huolellista kartoitusta.

Kuormavaunuille lumiketjuinkin varustettuina alkaa yleensä 30—35 cm:n lumikerros merkitä täyttä estettä, tavallisesti riittää jo 10—20 cm. Pyörätraktorille lumi saattaa aluksi merkitä etua, koska epätasaisuudet siten tasoittuvat, mutta 50 cm:n lumikerros on useimmille jo este. Eräät tyypit alkavat vasta tästä rajasta lähtien tuntea selviä haittavaikutuksia. Telaketjuajoneuvojen nopeus alenee asteittain lumessa ja metrin kerros merkitsee ”matelurajaa” tai estettä. Vasta kun telapaine laskee 0,1 kp/cm²:n tienoille, alkaa lumi kantaa vaunua. Keväthanki kantaa jo ihmistäkin, jonka ”telapaine” on 0,3 kp/cm². Jalkamiehen liike muuttuu tavallisessa lumessa mateluksi jo, kun lumen paksuus on 50—60 cm, hevonen rekineen ilman mainittavaa kuormaa selviää paksummassakin hängessä vielä siedettävästi.

Jokien ylitys kahlaamalla on riippuvainen useista tekijöistä, ennen kaikkea pohjan laadusta ja veden syvyydestä. Laskeutumisyrrkkyys veteen ei saa voimavaunuilla olla 10—15° suurempi eikä panssareilla yli 20—25°. Vedestä noustaessa ovat vastaavat rajat 4—6° ja 10—15°. Kahluusyvyys riippuu virtausnopeudesta, joka ei saisi nousta paljoakaan yli 2 m/s. Kun virran nopeus on 1 m/s, on jalkamiehen kahluu-

syvyys n 1 m, voimavaunujen, painosta riippuen 0,6—0,9 m, tykinvetäjien n 1 m, telatykkien ja keskiraskaiden panssarivaunujen n 1,2 m ja raskaiden panssarivaunujen (ilman erikoisrakenteita) n 1,5 m, jopa 2 m.

Vesistöt voivat Pohjois-Suomessa olla jäässä yli puoli vuotta ja etelämpänäkin enemmän kuin kolmanneksen, joten jään kantavuus on tärkeä ja varteenotettava tekijä. Epävarmoissa tapauksissa olisi jäällä ylläpidettävä vauhtia n 1,5—10 km/h, jotta jää parhaiten kestäisi. Kohvajään kantavuus on n puolet teräsjään kantavuudesta. Runsaasti lunta sisältävän ja samoin auringon haurastuttaman kevätjään kantavuus on täysin epävarma. Jään kantavuus kasvaa verrannollisesti sen paksuuden neliöön ja bruttokuorma P kilopondeina saadaan melko tarkasti siviilinormeja ajatellen kaavasta

$$(6) \quad P = 5 h^2$$

missä h on jään tehollinen paksuus (cm). Tieohjesääntö I sallii suurempia kuormituksia, telaketjuajoneuvoille n kaksinkertaisia kuten yleensä sotilasohjesäännöt. Mutta tämä merkitsee sitä, että uppoamilta ei voida välttää kuten tilastollisesti on osoitettavissa.

VIERINTÄVASTUS

Vierintävastus ei yleensä ole kovin suuri, mutta kun ajoneuvo ei pienen tartuntakitkan vuoksi kykene irroittamaan suuria bruttovetovoimia, kasvaa vierintävastuksen merkitys etenkin pehmeillä mailla. Jatkuvasti vaikuttavana sitkeänä voimana se sitoo moottorin tehoa, joten suuria nopeuksia on vaikea saavuttaa edulliselta tuntuvassa (pinnaltaan tasaisessa) maastossakin. Vierintävastusta on paljon teoreettisesti tutkittu, mutta näyttää siltä kuin tulosten muuntamisessa palvelemaan käytäntöä olisi runsaasti toivomisen varaa.

Vastuksen aiheuttajina ovat sekä ajoneuvo että maasto. Kun asiaa tutkitaan maaston kannalta, jää moottorimiesten tehtäväksi ottaa huomioon ajoneuvon sisäiset vastukset, joiden voittamiseen nykyisin kylläkin varataan riittävästi tehoa. Kun pehmeä maasto lisää telaketjujen "sisäistä" vierintävastusta tai kova maapinta aiheuttaa kumien painumaa pyöreejoneuvoilla, mikä lisää vastusta, ollaan raja-alueella, mutta varsinaisena "syyllisenä" voidaan pitää maastoa.

Homogeenisella — tasa- ja pienirakeisella — maaperällä vastus on kutakuinkin vakio ja nopeudesta riippumaton, vaikka tehon tarve kasvaakin sen mukana. Täysin homogeenista maastoa ei kuitenkaan ole ole-massa. Ajoneuvo joutuu siis etenemään töyssähtelemällä jaellen dynaamisia iskuja suurilla jatkuvuusvoimilla, mikä lisää vierintävastusta, joka siten tulee nopeudesta riippuvaksi samoinkuin vetokykykin. On jo todettu, että ajoneuvon liike tasoittaa esteitten häittävaikutuksia ja voiman tarvetta, mutta jos ajoneuvo joutuu odottamatta vaaralliseen kei-nahteluun, voi käydä päinvastoin. Jousituksella on asiassa tärkeä osuutensa.

Puolitieteellisesti voidaan otaksua, että vastus on suoraan verrannol-linen — paitsi kuormitukseen — pyörän tai telan ja samalla raideuran leveyteen sekä uran syvyyden, vajoaman johonkin potenssiin, jolla ei voi olla yleistä vakioarvoa. Jos yksinkertaisuuden vuoksi oletamme, että potenssi on yksi, pääsemme jo tärkeisiin ja havainnollisiin päätel-miin. Vierintävastus tulee silloin olemaan verrannollinen raideuran poikkileikkauspintaan. Tämä pätee vain "ihanteellisen plastillisella" maaperällä, jolla vastus pintayksikköä kohti on syvyydestä riippuma-ton. Voimme parantaa olettamustamme käyttämällä arvion mukaan "keskimääräistä" vastusta, jonka vaikutus poikkipinnalla on sama kuin todellisuudessa syvyyden mukaan muuttuvan vastuksen.

Tarkastamme yhden pyörän tapausta (piirros 7). Pyörä uppoaa syvyyteen h , mikä vastaa pyörähtämiskulmaa φ . Jos renkaan leveys on b (ei näy kuvassa), kantaa pyöräkuormitusta P' pinta $b \times$ jana $AB = b\sqrt{2rh - h^2}$. Kun P' jaetaan tällä pinta-alalla, saadaan pintayksikkö-paine p , mikä vallitsee jokaisessa renkaan ja maan kosketuspinnassa. Se on siten

$$(7) \quad p = \frac{P'}{b\sqrt{2rh - h^2}}$$

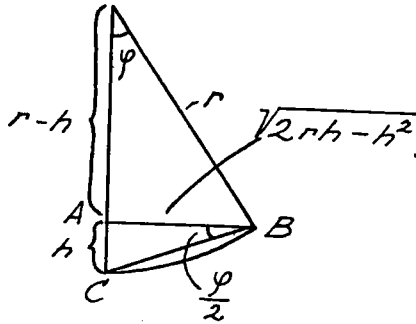
Samansuuruinen vierintävastuspaine vaikuttaa raideuran poikkileik-kauspinnassa $b \times h$. Vierintävastus on siis

$$(8) \quad R_v = pbh = \frac{bh}{b\sqrt{2rh - h^2}} P' = \frac{h}{\sqrt{2rh - h^2}} P' \doteq f_v P'$$

Renkaan leveys siis supistuu pois, mikä kylläkään ei merkitse sitä, että sillä ei olisi asiassa mitään vaikutusta. Jos kaikki pyörät "toimivat" samalla tavalla, tulokset koskevat koko vaunua, kun P' silloin tarkoittaa kokonaiskuormitusta. Piirroksesta huomataan, että

$$(9) f_r = \frac{h}{\sqrt{2rh - h^2}} = \tan \varphi/2, \text{ siis}$$

$$(8)' R_r = f_r P' = \frac{h}{\sqrt{2rh - h^2}} P' = P' \tan \varphi/2$$



Piirros 7

Tilanne vastaa siten samaa kuin pyörä jatkuvasti yrittäisi ylittää estettä, jonka nousukulma on $\varphi/2$. Vierintävastus tulee näin havainnollisella tavalla rinnastetuksi estevastuksen kanssa. On merkillepantavaa, että painuma h riippuu kantopinnan suuruudesta, siis välistä AB ja renkaan leveydestä. Matala ja kapea pyörä painuu helpommin ja vastus samalla kasvaa. Kuitenkin on selvää, että vastus maanpinnalla on pienempi kuin syvemmällä, joten muuten helposti mitattava φ -kulma on otettava niukasti, löysä pintakerros poisluettuna. Vaihtoehtona on myös, että vierintävastus lasketaan tulona $p \times A$, missä A on raideuran poikkileikkaus ja p arvioidaan paineakeskiarvona kokeellisesti siten, että lopputulos on oikea. Sokea luottaminen joihinkin ilmoitettuihin pintakuor-

mituksiin ym voi yksityistapauksissa johtaa suuriin virheisiin, elleivät mittaolosuhteet ole selvillä tai muuten tiedetä mitä tuloksilla tarkoitetaan, ts miten niitä voidaan laskuissa käyttää. Esim panssarivaunun telapaine on käsitteenä täysin hämärä ja harhaanjohtava kuten alempana osoitetaan. Toisaalta olisi suorastaan välttämätöntä, että oikeat — laskuissa käyttökelpoiset — arvot tunnettaisiin, jotta esim vierintävastuksen arviointi ”paikan päällä” olisi mahdollista.

Vastuskerroin $f_v = \tan\varphi/2$ saa arvon 1, kun $\varphi/2 = 45^\circ$ ja siis $\varphi = 90^\circ$, ts kun pyörä vajoaa akselia myöten (tai vähän syvemmälle). Vastus on silloin — käytetyillä oletamuksilla — sama kuin pyöräkuormitus. Jos pyörän suurin burottovetokyky on 40 %, liike sen osalta pysähtyisi jo kun $\tan\varphi/2 = 0,4$ ts kun $\varphi \approx 45^\circ$, jolloin vajoaminen on n 30 % pyörän säteestä. Savimaalla, millä olosuhteet muuten parhaiten vastaisivat kaavaa, ei näin suurta vetokykyä otaksuttavasti saavutettaisi. Pyöräsäteellä 35 cm on kuitenkin kyse vain 10 cm:n painumasta. Maastossa tavallinen 10 %:n vierintävastus aiheuttaa vain sentin luokkaa olevan painuman varsinaisessa kantavassa kerroksessa.

Jos ajoneuvolla on leveät renkaat, mutta pyörän säde on vastaavasti pienempi, joten φ ei muutu, pysyy myös vierintävastus teoreettisesti (tehdyillä oletamuksilla) samana. Mutta jos pyörät ovat yhtä leveät, kasvaa pienempien pyörien vastus jyrkästi, ellei niiden kuormitusta vähennetä. Ylimalkaan vastus suurenee nopeammin kuin pyörien kuormitus kasvaa, koska kantopinnan lisääntyminen käy vaikeammaksi. Tästä seuraa mm, että pehmeillä mailla on pakko vähentää jyrkästi hyötykuormaa, mikä siviilikäytössä merkitsee nousevia kustannuksia. Epäedullisesti valmistetut renkaat lisäävät myös vastusta. Käyttämällä matalia rengaspaineita sekä vahvistamalla ja muotoilemalla renkaat siten, että niiden poikkileikkauksen vaakasuorana pysyvä alapinta myötäilee joka kohdassa yhtä paljon, saadaan vierintävastus alhaiseksi.

Tela-ajoneuvojen ketju ei painu tasaisesti maahan, vaan eniten telapyörien kohdilta, mikä lisää vierintävastusta, koska raideura syvenee ”teoreettista” määrää enemmän. Käytännössä myös paine kasvaa telapyörien kohdalla suuremmaksi kuin muualla ja eniten kovalla maapohjalla, joten telapaine ja kantopinta muuttuvat käsitteinä epämääräisiksi. Telapyörien dynaamiset iskut tiivistävät maata tarpeettomankin lujasti ja takaosa pyrkii painumaan enemmän kuin etuosa (samoin kuin taka-

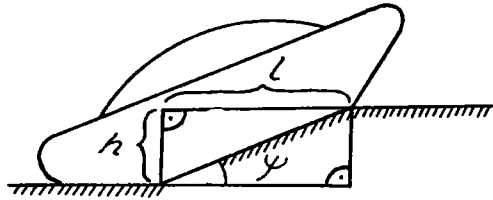
pyörätkin painuvat etupyöriä syvemmälle), joten vaunu nousee ikäänkuin mäessä. Jos etuosa painuu yhtä syväälle kuin takaosa, vaunu puskee maata eteen mutta myös sivulle päin, joten tulli alla jää vajanaiseksi. Joka tapauksessa raideuran syvyys on selvä kriteeri vierintävastusta arvioitaessa, mutta valitettavasti telapaineen ja kantopinnan epämääräisyys voi pahasti pilata laskelmat. Telapaineen tasaisuuden saavuttamiseksi on koitettu sopivalla telasuomujen rakenteella jäykistää telaa sekä lisätty telapyörien lukua. Ideaalitapauksessa (paine telan alla sama kaikkialla) on vierintävastus helposti laskettavissa. Olkoon telojen yhteinen leveys b ja kannattavan osan pituus l , joten kannatuspinta on lb . Kun kokonaiskuormitus P jaetaan tällä, saadaan telapaine ja samalla pintayksikön vastus raideuran poikkileikkauksessa hb . Koko vierintävastus on silloin

$$(10) R_v = \frac{P}{lb} hb = \frac{h}{l} P$$

Käytännössä on varmintä panna eteen joku kokemusperäinen kerroin k_v ja muodollisesti voimme myös ottaa käyttöön vastuskulman ψ seuraavasti

$$(10)' R_v = k_v \frac{h}{l} P = P \tan \psi$$

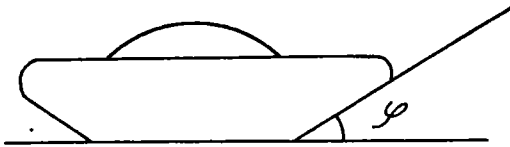
jolloin ψ vastaa samaa kuin $\varphi/2$ pyörävastustapauksessa.



Piirros 8

Pidentämällä ja leventämällä sekä jäykistämällä teloja saadaan siis telapaine sekä tasaisemmaksi että pienemmäksi, jolloin vierintävastus vähenee. Liian pitkälle ei kannata mennä, sillä esim matalilla soilla on vedon kannalta parempi päästä pohjakosketukseen ja lumi toisaalta ei

kuitenkaan kannata raskaita vaunuja. Telan leveys ei näy nytkään kaa-voissa, mutta se ei silti ole merkityksetön. Päinvastoin kantokyky kitka-
mailla kasvaa jopa leveyden neliössä kun taas pituus vaikuttaa ensim-
mäisessä potensissa. Leveä tela "kerää" kuitenkin tarpeettomasti esteitä
alleen, joten pituuden suurentaminen on yleensä edullisempaa. Telojen
luistaminen lisää johonkin rajaan vetovoimaa, mutta samalla tavallaan
vastustakin hukkatehon muodossa. Esteitten ylittämiskyky ja ohjatta-
vuus on otettava huomioon muotoilemalla vaunu siten, että se kovalla
pohjalla kantaa vain keskiosallaan, mutta pehmeällä maalla kantopinta
kasvaa riippuen telakulmasta φ , mikä on n 30° . On siis pakko etsiä kom-
promisseja eri vaatimusten tyydyttämiseksi. Tela ei ole kovalla pohjalla
mikään ihanteellinen ratkaisu, joten esim perässä hinattavissa välineissä
ei kannata niitä käyttää, mutta pehmeällä maaperällä sen edut pyörä-
ajoneuvoihin verrattuna pääsevät näkyviin lisääntyneen vetokyvyn ja
pienemmän vierintävastuksen muodossa. Esteistä rikas suomalainen
maasto (kivet, puut, kannot, jyrkänteet) vaatii erityistä ketteryyttä,
lähinnä pientä kaartosädettä varsinkin panssarivaunuilta, jotka kulkevat
kukin eri urilla todella "neitseellisessä" maastossa. Täällä ehyt humus
auttaa nousemaan sellaisia hiekkarinteitäkin, joilla kolonnaliike on
mahdotonta. Loppujen lopuksi kaikki syyt johtavat siihen, että vaunun
tulee olla mahdollisimman matala. Edellä sanottu koskee osaksi myös
autojen muotoilua kokonaisuutena katsoen, ei vain jonkun pyörän
osalta.



Piirros 9

Tarkastelu on pääasiassa koskenut "puhdasta" vierintävastusta, siis
homogeenisen maaperän vastusta. Epätasaisuudet muuntavat asteittain
kuvaa, kulku tulee tärkeväksi ja vastus vaihtelee. Esteiden suurentuessa
alkavat niiden ylittämismahdollisuudet nopeasti pienentyä, mutta tällöin
olemme jo joutuneet esteitä koskevaan teoriaan.

ESTEVAIKUTUSTEN YHDISTÄMINEN

Epäilemättä on paljon hyötyä jo siitäkin, että erilaisten liikevastusten vaikutukset tunnetaan, mutta käytännössä eri tekijät vaikuttavat yhdessä, joten ratkaiseva merkitys tulee siis olemaan niiden yhteisvaikutuksella. Tämän selvittämiseksi on löydettävä keinot erilaisten vastusten saamiseksi yhteismitallisiksi ja yhdistämiskelpoisiksi. Lopputulokset on saatava tavalla tai toisella jossakin vaiheessa kytkettyä aikatekijään, mikä etenkin sotilaallisissa toiminnoissa on erityisen tärkeää. Tarvittaessa on pakko tinkiä eksaktista tieteellisyydestä, jotta päästäisiin tuloksiin, joita voidaan vaivatta käyttää hyväksi.

Rinnevastus on (3):n mukaan

$$R_r = P \sin \alpha = \frac{P \cos \alpha}{100} \alpha (\%)$$

ja esteiden kuten kivien aiheuttama vastus tasamaalla esim (4):n mukaan

$$R_n = P' \tan \beta = \frac{P' \beta (\%)}{100} = \frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r-h} P'$$

Jos este on rinteessä, jonka kaltevuus ajosuunnassa on α ja rinne pakottaa pyörän nousemaan omaan tasoonsa nähden kulmassa β , saadaan helposti rinne-estevastukseksi

$$(11) \quad R_{\beta(\alpha)} = P' \cos \alpha \tan \beta = \frac{P' \cos \alpha}{100} \beta (\%)$$

Kaava (11) ilmaisee vain sen vastuslisän, mikä rinne-esteistä aiheutuu, siis varsinainen rinnevastus tulee tämän lisäksi. Muodoltaan se (11) on samanlainen kuin rinnevastuksen kaava. Estevastus rinteessä on pienempi kuin vaakasuoralla pinnalla, mutta vetokykyyn nähden, mikä riippuu pintaa vastaan kohtisuorasta kuormituskomponentista, este on yhtä tehokas. Kuitenkin on vielä huomattava, että yhtä korkea este (h), joka vaakapinnalla aiheuttaa estekulman β , ei rinteessä saa aikaan yhtä suurta kulmaa, ellei se ole rinnettä vastaan kohtisuorassa ja siis pystytasoa vastaan kulman α verran kallistunut. Tähän olettamukseen rinnas-

tuserusteena ei löydetä riittäviä syitä, joten on pääteltävissä, etteivät esteet rinteillä ole ainakaan vaikeampia kuin tasamaalla. Kokonaan eri asia on, että rinne itse saattaa olla jo niin paha este, ettei siihen enää ole paljoa lisättävää, kun liike pysähtyy, ellei vauhtia voida ylläpitää.

Tässä mielessä on syytä tarkastaa varsinaisen rinnevastuksen ja rinne-estevastuksen yhteisvaikutusta. Esitämme a-tapauksena sen, jolloin esteeseen osunut pyörä itsekin vetää ja b-tapauksena sen, jolloin pyörä työnnetään rinteeseen suunnassa estettä vastaan. Kun pyörä (vastavasti myös telaketju) itse vetää, on vastuskulma rinne- ja estekulmien summa $\alpha + \beta$ ja vastus siis $P' \sin(\alpha + \beta)$. Kun pyörä työnnetään esteelle, on vastus

$$P' \sin \alpha + P' \cos \alpha \tan \beta = P' \frac{(\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta)}{\cos \beta} = \frac{P' \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}$$

Vastukset siis ovat

$$\begin{aligned} \text{a) } R_{\alpha, \beta} &= P' \sin(\alpha + \beta) \\ (12) \\ \text{b) } R_{\alpha, \beta} &= \frac{P' \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \end{aligned}$$

Vastus on b-tapauksessa suurempi, ja ero voi suurilla estekulmilla olla varsin merkittävä osoittaen jokapyörävedon edullisuutta. Kun $\alpha = 0$, muuntuu (12) b yhtälöksi (4). Mitä suurempi rinnekaltevuus α on, sitä vähemmän $\sin(\alpha + \beta)$ kasvaa, jos β on koko ajan sama. Rinne-esteen vaikutus siis vähenee jyrkissä rinteissä.

Vastusten lopullista yhdistämistä ei kuitenkaan voida tehdä hetkelisten voimien perusteella. Kivien ja kantojen ylittämistä varten on jollakin yksikkömatkalla tehtävä jokin keskimääräinen työ, mikä olisi koetettava arvioida ja laskea se tasaisen voiman aiheuttamaksi. Näin menetellen on kuitenkin todettava, että haettu voima riippuu periaatteessa yksinomaan esteiden korkeudesta ja tiheydestä ja vain vierintävastus b-tapauksessa kasvaisi lujempien töytäysten vuoksi (vert. piirros 1). Esteen pitäisi oikeastaan takanaan antaa takaisin se, minkä se edessään energiana riistää. Mutta myös esteestä pudotessa tapahtuva töytäys lisää vierintävastusta. Siirrymmekin sen käsittelyyn.

Puhdas vierintävastus sellaisena kuin (8)' ja (10)' sen esittävät, on muodoltaan (kun vastuskulma merkitään γ)

$$R\gamma = P'tany$$

On helppo havaita, että kaava muuttuu rinteessä muotoon

$$(13) R\gamma(\alpha) = P'\cos\alpha \tan\gamma$$

mikä siis vastaa täysin kaavaa (11) osin samoin johtopäätöksinkin. Käytännössä on suorastaan välttämätöntä yhdistää pienet estevastukset vierintävastukseen ja puhua siis vain vierintävastuksesta, joka ei enää ole "puhdas". Merkitsemme sen vastuskulmaa nyt φ saaden

$$(14) R\varphi(\alpha) = P'\cos\alpha \tan\varphi = \frac{P'\cos\alpha}{100} \varphi (\%)$$

Esteiden aiheuttama osuus tässä vierintävastuksessa on jossakin määrin tulkinnanvarainen. Missään tapauksessa kaava ei sisällytä itseensä muita kuin helposti "vauhdilla" ylitettävien esteitten vaikutuksia. Suuret esteet, jotka ratkaisevat päästäänkö ylimalkaan eteenpäin, on käsiteltävä erikseen ja yksinomaan esteinä. Piirroksessa 1 tämän tilanteen osoittaa kaavamaisesti käyrän A jyrkentyvästi nouseva osa.

Kokonaisvastuksena (kun suuret esteet ja äkkijyrkänteet käsitellään erillisinä) voimme pitää rinnevastuksen ja vierintävastuksen summaa, mikä tässä esitetään useammassa muodossa

$$(15) R = P'\sin\alpha + P'\cos\alpha \tan\varphi = P'\cos\alpha (\tan\alpha + \tan\varphi) = \\ = \frac{P'\cos\alpha}{100} [\alpha (\%) + \varphi (\%)] = \frac{P'\sin(\alpha + \varphi)}{\cos\varphi}$$

Kun pyörä itse vetää, on "houkuttelevaa" jättää viimeisen muodon nimittäjä ($\cos\beta$) pois. Toisaalta kuitenkin vetopyörän tavanomainen luisto lisää sen kitkatyötä.

Jos α ja φ ymmärretään pyöräajoneuvojen osalta kaikkia pyöriä koskevinä keskimääräisinä arvoina (tela-ajoneuvojen osalta ei tätä lisätulkintaa tarvitakaan), voidaan P' korvata kokonaisbruttokuormituksella P .

On huomattava, että vastus on edellä ollut suoraan verrannollinen kuormitukseen. Jos puiden kaataminen vaunun tieltä haluttaisiin lukea

vastukseen mukaan, olisi sen antama lisä luonteeltaan toisenlainen. Kaatamistyö ei pienemmältä vaunulta onnistu ainakaan helpommin kuin suurelta ja raskaalta, päinvastoin sen olisi käytännössä uhrattava paljon enemmän energiaa, ja täyden esteen raja löytyy paljon aikaisemmin. Puuston vaikutus lienee kuitenkin aiheellista arvioida erikseen.

Olemme tähän saakka välttäneet kajoamista maaperän lujusteorioihin, koska on ollut mahdollista päästä eteenpäin muutenkin. Pyrkisämme myöhemmin selvittämään vetovoimakysymyksiin liittyviä probleemoja, on hyödyksi tutustua alustavasti eräisiin lujuusopin periaatteisiin, jotka vuorostaan auttavat vetovoimakysymyksen ymmärtämisessä.

MAAPERÄN LUJUUS

Lujuusopin yleisiä periaatteita soveltaen on tehty paljon työtä maaperän kantavuusominaisuuksien selvittämiseksi, mutta tulokset tuskin vastaavat ponnisteluja. Sivuutamme kysymyksen sen vuoksi tässä muuttamin viittauksin.

Jokaiseen tasoelementtiin maan sisällä vaikuttaa sekä tasoa vastaan kohtisuora puristava komponentti että tason suuntainen leikkaava komponentti, mikä voi olla myös nolla. N_s pääjännitystasoissa, jotka ovat toisiaan vastaan kohtisuorassa, ei leikkausjännityksiä synny. Näiden pääjännitystasojen asema on tarkoin määritetty, paitsi "täydellisen voimatasapainon" vallitessa, jolloin pääjännitykset ovat yhtä suuria ja leikkausjännityksiä ei synny missään tasoissa. Tällöin pääjännitysten asema on mielivaltainen.

Leikkausjännitykset ovat lujouden kannalta tärkeitä. Ne ratkaisevat myös ajoneuvon vetokyvyn, mikäli pintakitka muuten on riittävän suuri. Tilan säästämiseksi on hankalahko teoria tässä jätettävä pois, vaikka asiaan paneutuvan tutkijan onkin pakko siihen perehtyä. (Esim Bekker, M G: "Theory of land locomotion" sekä seuralla oleva tekijän alkupe-räiskappale.)

Paine ajoneuvon alla tuntuu lujimmin kohtisuoraan alaspäin, mutta se leviää myös sivuille, ei käytännöllisesti katsoen kuitenkaan laajemmassa kuin 45° :n kulmassa. Koska tukipinta siten lisääntyy syvyyden kasvaessa, vähenee paine nopeasti, ja esim telaketjujen kaksinkertaista leveyttä vastaavassa syvyydessä ei maaperän lujuusominaisuuksilla kat-

sota olevan enää merkitystä. Ylimalkaan maaperän kantavuutta tutkittaessa on tärkein ylin 30—40 cm:n kerros.

Liikenteen asettamat vaatimukset ovat kuitenkin erikoislaatuista ja yllätykset ovat siten mahdollisia. Maapohjan on kannettava liikkuva ajoneuvo, joka jakelee lujia dynaamisia iskuja, jotka pyrkivät murttamaan maan koheesion. Ajoneuvon vetovoima tuo mukaan lisäjännityksiä, nimenomaan pinnassa syntyy suuri leikkaava voima. Epähomogeenisella maaperällä kuormitus pyrkii tukeutumaan sinne, missä lujuus on suurin. Hienojakoisilla koheesiomailla paine leviää enemmän sivulle päin ("ideaalinen" koheesiomaa kantaa periaatteessa jopa 90°:n kulmassa, siis kauttaaltaan), mutta karkearakeisilla (hiekkaisilla) kitkamailla puristus aiheuttaa kantokyvyn lisääntymistä ja paine pyrkii suuntautumaan nopeammin alaspäin. Jos alla on kiinteä pohja (esim. kallio), se helpottaa kitkan syntymistä päällä olevissa kerroksissa ja kuorma tukeutuu nopeasti alas. Löysä pohjakerros kiinteämmän alla vaikuttaa päinvastoin, paine siis leviää enemmän sivuille.

Maasto ei kuitenkaan humuspitoisen pintakerroksen osalta käytännöllisesti katsoen koskaan täysin kestä ajoneuvojen kuormitusta vaan painuu ja aiheuttaa vierintä- ja estevastusten kasvun. Koska vajoaminen tapahtuu epätasaisesti, tulee liike töyssyileväksi ja koviin mikroesteiden — kivien — estearvo suurenee entisestäänkin. Maalajeista sekä lujin että heikoin on savi, joka parhaimmillaan puolikuivana voi kantaa 10 kp/cm², mutta hyvin pehmeänä ja märkänä tuskin 0,5 kp/cm². Hiekan sekaisena sen lujuus asteittain heikkenee, ellei tukipinta kokonaisuudessaan ole hyvin suuri kuten leveiden telojen alla. Puhdas hiekka ei kuivana kannajuuri mitään pienillä pinnoilla, mutta telojen alla se jo kestä 2—3 kp/cm². Moreenimaa, jota meillä on eniten, kestä autojen alla 5—6 kp/cm² ja telojen alla enemmänkin. Kosteus parantaa karkeajakoisten maalajien kantavuutta mutta hienojakoiset liettyvät nopeasti. Savikot on helposti tunnettavissa, joten pahimpia yllätyksiä sattuu hiesupitoisilla mailla. Ojaleikkauksia tarkkailemalla voidaan tehdä tärkeitä johtopäätöksiä maalajeista, kunhan tyydyttävä kokemus on saavutettu. Lumi edustaa maalajiryhmää, jonka ominaisuudet vaihtelevat paljon riippuen lumen tiheydestä ja lämpötilasta. Tutkimustulokset lumen osalta vaikuttavat keskeneräisiltä.

Tela-ajoneuvoilla vaihtelee telapaine rajoissa 0,1—1 kp/cm², maa-

taloustraktorien pintapaine taas on 0,8—2 kp/cm², kuorma-autoilla 3—7 kp/cm² ja henkilöautoilla 1,2—2,5 kp/cm². (Tieohjesääntö 1:n liitteessä 3 on eritellymmät ja ahtaammat rajat.) Pyöräajoneuvojen pintapainetta voidaan vähentää renkaan ilmanpainetta alentamalla. Pehmeällä maaperällä maa painuu ja rengas säilyttää suunnilleen muotonsa, kovalla pohjalla taas rengas myötää: rengaspaineesta siis riippuu milloin pohja on ”kova”. Kun rengas epähomogeenisella maaperällä myötää kovien epätasaisuuksien kohdalla, tulee liike tasaisemmaksi ja rasitukset vähenvät, samalla vierintävastus pienenee. Kun rengas myötää, on pintapaine samaa luokkaa (vähän suurempi) kuin rengaspaine, muulloin taas sama kuin maaperän kantokyky (joka tosin eri syvyyksissä voi olla erilainen).

AJONEUVON VETOKYKY

Työläistä tutkimuksista huolimatta ei vetokykyprobleemaa voida pitää edes teoreettisesti täysin selvitettyinä. Asia on kuitenkin tärkeä ja seuraavassa koetetaan — myös hieman uutta esiin tuomalla — sovittaa teoria ja käytäntö paremmin yhteen.

Maaperäteorian tutkijoille on yleisesti tunnettu Coulombin kaava leikkauslujuudelle

$$(16) \tau = c + \sigma \tan \varphi$$

missä c on koheesiosta johtuva, paineesta riippumaton lujuuskomponentti pintayksikköä kohti (esiintyy yksinään vain ”ideaalisilla” koheesiomailla), σ on kohtisuora pintayksikköpaine ja $\tan \varphi$ kitkakerroin, jossa φ on ns kitkakulma. Käsittelemme aluksi puhdasta kitkamaalajia, jolloin c jää kokonaan pois. Oletamme, että vaunun vedon ollessa suurimmillaan maapohja pettää aivan renkaan tai telan alla, jossa kaikki pääjännitykset ilmeisesti ovat yhtä suuria ja pintapaineen suuruisia silloin, kun vaunu ei vielä vedä. (Itse asiassa pääjännitykset ovat silloin vapaasti valittavissa ja leikkausjännityksiä ei vielä lainkaan esiinny.) Tärkeintä on, että puristusjännitys alaspäin on yhtä suuri kuin puristusjännitys vaunun suunnassakin ja että nämä jännitykset eivät muutu silloinkaan, kun vaunu vetää. Piirrämme tasotapausta koskevan Mohrin ympyrän jättäen vaunusta sivuille päin vaikuttavat jännitykset huomiotta. Tilan puutteessa ei piirroksia voida esittää (ne ovat seuran arkistokappa-

leessa). Muista tuloksista tässä välittämättä todetaan, että pintayksikköä kohti tulee leikkausjännitykselle arvo $p \sin \varphi$, missä p on pintapaine (telapaine). Vaunun maksimivetovoima on ilmeisesti siis $P \sin \varphi$, kun P on vaunun rasko. Vaunun bruttovetovoima V_{\max} (kyseessä on sen maksimiarvo) on siis kitkamaaperällä

$$(17) V_{\max} = P \sin \varphi$$

Mielenkiintoinen äärimaksimi saadaan, kun kitkakulma φ on 90° , jolloin $V_{\max} = P$. Maastossa ei tätä koskaan saavuteta, mutta kylläkin likipitään kestopäällysteisellä tiellä, etenkin jarrutettaessa. Selitysyriytykset jätämme, koska tapaus ei ole kiinnostava maastotutkimusten kannalta.

Kuivilla hiekka- ja soramailla saattaa kitkakulma saavuttaa jopa arvon $34\text{--}35^\circ$ (se riippuu maaperän tiiviyydestä, raesuruudesta ja niiden särmikkyydestä), ja $\sin 34^\circ = 0,56$, joten vetokitkakerroin olisi 56 % vaunun painosta. Liejuinen muta vastaa myös kitkamaaperää ja sen kitkakulma on suunnilleen 10° , joten vetokitkakerroin olisi n 17 % (sinillä ja tangentilla saadaan tässä jo miltei sama arvo). Toista keinoa alempana käyttäen havaitsemme, että kitkakertoimeen 56 % päästään maastossa sotilastela-ajoneuvoilla, mikä siten tukee laskutavan oikeellisuutta.

Coulombin täydellistä yhtälöä vastaavasti soveltamalla (vrt arkistokappale) päädytään yllättäviin mutta mutkikkaampiin lopputuloksiin — esim panssarivaunun pitäisi sitkeällä savipohjalla kyetä irrottamaan vetovoimaa kaksinkertaisen painonsa verran, mikä ei pidä paikkaansa. Saven leikkauslujuus tosin riittäisi siihen, mutta vaunu ei saa niin lujaa otetta maaperästä ja dynaamiset iskut pyrkivät murtamaan koheesion. Käytäntö näyttää osoittavan, ettei vetokitka koheesiomaillakaan ylitä 56 %:n rajaa, jota voimme pitää myös pintojen välisen kitkan (adhesion) suurimpana arvona maastossa. Jos koheesiomaita koskevissa laskuissa päädytään suurempaan arvoon kuin 56 %, on ne pudotettava tähän arvoon, mutta jos lopputulos on pienempi, sillä näyttää olevan käytännöllistä merkitystäkin.

Vetokyvyn arviointiin on tarjolla toinenkin keino. USA:ssa suoritettut kokeet osoittavat, että sotilastela-ajoneuvot kykenevät maastossa nousemaan korkeintaan 45 %:n rinteitä (käytännöllinen maksimi). Vierintävastus on näissä olosuhteissa arviolta 10 % vaunun rinnettä vastaan

kohtisuorasta painokomponentista, rinnevastus (3):n mukaan on vastaavasti sama kuin rinteän kaltevuus eli 45 %. Vaunun vetokitkakerroin, jota haluamme juuri laskea, on voimatasapainon vallitessa yhtä suuri kuin rinnevastuksen ja vierintävastuksen summa eli 55 %, siis vaunu kykenee tasamaalla irrottamaan painostaan vetovoimaa 55 %. Tähän tulokseen tulimme edellä myös Coulombin tyypistetyistä kaavasta lähtemällä. Jokapyörävetoisten voimavaunujen nousukyky on n 30 %, mikä merkitsee vetokitkakerrointa 40 %. Siviiliajoneuvoilla, joilla pyritään käyttämään hyvin suuria kuormia, ei päästä yhtä suuriin vetokitkarvoihin.

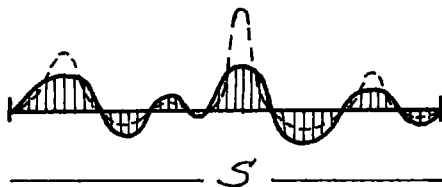
Vaunun aiheuttama paine rinnettä vastaan on käytännöllisesti katsoen sama kuin tasamaallakin, joten emme välitä pienestä erosta. Pidämme lisäksi vierintävastuksena 10 %, vaikka sekin vaihtelee. Pyrimme tällä nyrkkisääntöön määrittääksemme vapaan vetovoiman, jota voidaan käyttää kiihdytykseen, suurien esteiden voittamiseen tai myös hinaukseen, jolloin voidaan puhua nettovetokyvystä. Saamme ilmeisesti: Panssarivaunujen ja vastaavien sotilastela-ajoneuvojen nettovetokyky on 45 % painosta vähennettynä rinnekaltevuudella prosentteina. Kuormavaunuilla (kaikki pyörät vetäviä) on vastaava nettovetokyky 30 % vähennettynä rinnekaltevuusprosentteilla.

Takapyörävetoisilla kuorma-autoilla riippuu nettovetokyky tietenkin vain vetävän akselin kuormituksesta, mitä voidaan tehostaa ja siten parantaa vetokykyä, kun hinattavalla kuormalla lisätään myös vetoakselin kuormitusta.

Kumipyöräajoneuvoilla saavutetaan kuivilla ja sitkeän kosteilla savikoilla yhtä suuri vetokitka kuin tela-ajoneuvoillakin. Maan pehmetessä ja hiekkapitoisuuden kasvaessa kumipyörien vetokyky jää teloista jälkeen. Renkaiden rakenteella ja ilmanpaineella on suuri merkitys. Yleensä puolletaan pyörän halkaisijan suurentamista, kunhan renkaiden leveys on tyydyttävä. Korkealla pyörällä on yleensä pienempi ja tasaisempi vierintävastus ja parempi kyky ylittää esteitä.

KORKEUSVAIHTELUJEN MITOITTAMINEN

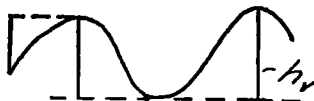
Mittaamalla ja piirtämällä maastoa koskeva profiili päästään helpoiten tutkimaan sen korkeusvaihteluja sekä mitoittamaan niitä. Korkeusvaihtelut taas puolestaan ovat riippuvuussuhteessa maaston ja maaperän muihin ominaisuuksiin. Jos profiilin yleisluonne pysyy samana — sen näkee silmämäärinkin — ja satunnaisena ainakin siinä mielessä, etteivät notkot ole soiden tasoittamia ja kukkulat taas terävähuippuisia (piirros 10), pätee tyydyttävällä tarkuudella, että korkeuksien jakautuma keski-
korkeuden molemmin puolin on normaali. Sekä keski-
korkeus H että keskimääräinen poikkeama siitä h_k saadaan nopeimmin planimetroimalla. Muodostamalla sopivin välein poikkeamien neliöt voidaan hahmotella neliöpoikkeamakäyrä (piirroksessa pilkkuviivoin) jälleen planimetroimista varten. Kun keskipoikkeama h_m näin on määrätty, pitäisi likimäärin toteutua yhtälö $h_k = 0,80 h_m$.



Piirros 10

Muodostamalla nousujen ja laskujen itseisarvojen summa $\Sigma |h_v|$ profiililla (piirros 11) ja jakamalla se profiilin pituudella s saadaan profiilin keskimääräinen kaltevuus k_0 , siis

$$(18) k_0 = \frac{\Sigma |h_v|}{s}$$



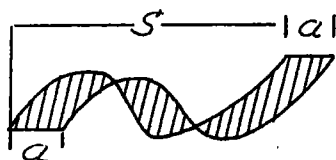
Piirros 11

Maaston keskimääräinen kaltevuus K_0 suurimman putoaman suunnassa = gradienttikaltevuus on silloin

$$(19) K_0 = \pi/2 \cdot k_0 \approx 1,57 k_0$$

Sekä k , että K , ovat tärkeitä myös kulkukelpoisuuden tunnuslukuina. Ne voidaan mitata joko siten, että ne esim luokitustarkoituksessa kuvaavat maastoa mahdollisimman tasapuolisesti tahi alun perin helpoimpia, siis urien suuntia tavoitellen.

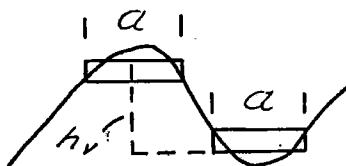
Kun profiili (esim läpinäkyvälle kalvolle kopioituna) siirretään oikealle (tai vasemmalle) välin a verran (piirros 12) ja esim planimetroimalla lasketaan uuden ja vanhan aseman väliin jäävät pinnat (varjostettu piirroksessa) sekä jaetaan summa profiilin pituudella s , saadaan keskimääräinen korkeuden muutos h_a profiililla välillä a . Piirroksen esittämää menettelytapaa voidaan arvostella välien a osalta alussa ja lopussa. On katsottu, että alkupäässä esiintyvän puutteen korvaa puolueettomimmin lopussa saatu lisäys. Vain näin menetellen tulos on yksikäsitteinen ja sikäli riidaton. Menettelytavalla on suuri merkitys silloin, kun profiili on lyhyt.



Piirros 12

Jos väli a on pieni, on planimetrimitaus epätarkka suhteessa korkeuden muutokseen. Silloin voidaan (piirros 13) neliöidä huiput ja notkot leveydeltä a ja laskea yhteen näin muuntuneet korkeusvälit samaan tapaan kuin edellä keskimääräistä kaltevuutta k , laskettaessa. Summa kerrotaan osamäärällä a/s , siis

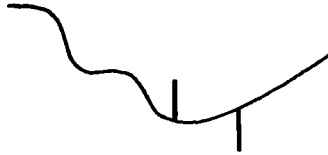
$$(20) h_a = a/s \cdot \sum |h_v|$$



Piirros 13

Koska h_x muuttuu a :n funktiona, on tässä siis kysymyksessä varsin monipuolinen tunnusfunktio — ei vain tunnusluku — jonka merkitys selvenee kokeitten ja vertailujen perusteella. Funktio kasvaa eri tavoin riippuen maastotyyppistä ja se lähenee kulloinkin eri raja-arvoja. Se voidaan — ja usein on syytäkin — laskea erikseen makro- ja mikrokorkeusvaihteluille.

Käytännöllisistä syistä johtuen ei profiileja aina voida lopputuloksina esittää riittävän suurikaavaisina. Silloin voidaan mikrovaihtelut esim 25 cm:iin asti laskea yhteen sopivin välein ja esittää esim ylöspäin suunnatulla pystyviivalla (piirros 14). Vastaavasti voidaan korkeusvaihtelut 25—50 cm esittää esim alaspäin vedetyillä viivoilla, jolloin tähän ryhmään samalla kuuluvat jo kuormavaunuesteet. Viivojen pituuksia täytyy tietenkin voida yhteenlaskea samalla tavalla kuin muitakin profiilin korkeusvaihteluja. Panssarivaunu- ym tela-ajoneuvoesteet jäävät merkittäväksi profiilille normaaliin tapaan. Profiilin pystymittakaavan tulee yleensä selvyuden takia olla suurempi kuin vaakamittava.



Piiros 14

Olkoon jokin väliä a vastaava korkeuden muutos profiililla Δh , siis $\Delta h = h_1 - h_2$ eli neliössä $(\Delta h)^2 = h_1^2 + h_2^2 - 2h_1h_2$. Jos "havaintoja" tehdään n kpl ja n on hyvin suuri luku, saadaan keskiarvona

$$\Sigma(\Delta h)^2/n = \Sigma h_1^2/n + \Sigma h_2^2/n - 2\Sigma h_1h_2/n$$

missä muut jäsenet paitsi viimeinen ovat keskipoikkeamien neliöitä ja toinen sekä kolmas ovat ilmeisesti yhtä suuria. Kun alaviitalla m merkittämme keskipoikkeamaa, saamme

$$\Delta h_m^2 = 2 h_m^2 - 2 \Sigma h_1h_2/n = 2 h_m^2 - 2 A \quad A = \Sigma h_1h_2/n$$

Tässä kuvaa A "itsekorrelaatiota" ja jos se on täydellinen (h_1 aina yhtä suuri kuin h_2), on $A = h_m^2$. Se ei siis saa arvoa yksi kuten tavallinen normalisoitu korrelaatiokerroin R. Tämä (ja samalla regressiokerroin) saadaankin jakamalla A keskipoikkeaman neliöllä h_m^2 . Siis

$$(21) A = \Sigma h_1 h_2 / n = h_m^2 R$$

Näin ollen

$$(22) \Delta h_m = \sqrt{2} \sqrt{h_m^2 - A} = \sqrt{2} h_m \sqrt{1 - R}$$

Keskipoikkeaman h_m eräs laskutapa esitettiin heti luvun alussa. Jos mitään korrelaatiosuhdetta ei ole, ts kun väli a on suuri, on $\Delta h_m = \sqrt{2} h_m$. Täydellisen korrelaation vallitessa oli $A = h_m^2$ ja $R = 1$ sekä $\Delta h_m = 0$. Korvaamalla keskipoikkeamat keskimääräisillä voimme kirjoittaa

(23) $h_m = \sqrt{1 - R} \sqrt{2} h_x = \sqrt{1 - R} h_{\infty}$, kun lisäksi merkitsemme h_{∞} sitä korkeuden muutosta, jolloin $R = 0$, ts kun väli a on suuri, siis

$$(24) h_{\infty} = \sqrt{2} h_x$$

Raja-arvo h_{∞} antaa ilmeisesti kuvan siitä kuinka suuri on maaston koko korkeusvaihtelu. Raja-arvo on olemassa mikäli h_x on olemassa. Maan nousu rannikolta sisämaahan ja mikä tahansa pitkäjaksoinen häiriö, josta itse asiassa emme ole kiinnostuneet paikallisissa mittauksissa, voi sekoittaa laskelmia, jos "koealue", tyypitettävä maasto, on suuri. Häiriö voitaisiin eliminoida, mutta tyytymällä 2—3 km pitkiin koealoihin se on yleensä tarpeetonta.

Korrelaatiomenetelmiä käytetään nykyisin erittäin yleisesti hyväksi käyrien ominaisuuksia tutkittaessa ja mitoitettaessa. Ilmeisesti ne sopivat myös kulkukelpoisuustutkimuksiin ja luokituksiin.

On selvää, että kahden pisteen välinen korkeusero kasvaa aluksi nopeasti, kun niiden vaakaväli suurenee, mutta kasvun täytyy jatkuvasti hidastua, kun lähestytään raja-arvoa h_{∞} . Olettakaamme, että jollakin välillä saavutetaan puolet tuosta raja-arvosta. Jos valitaan kaksinkertainen vaakaväli, on loogista ajatella, että raja-arvosta saavutetaan silloin 75 %, siis loppuerosta tulee vain puolet mukaan. Kun vaakaväli pannaan kolminkertaiseksi, tulee loppuerosta (25 %) jälleen puolet mukaan eli yhteensä 87,5 % jne. Näin osoittautuu suurella tarkkuudella

tapahtuvankin ja myös käsivaraisissa "tekoprofiileissa", vaikka suoras-
taan pyrittäisiin kumoamaan tuo laki. Mutta tämä merkitsee, että
voimme kirjoittaa

$$(25) h_n = \sqrt{1 - R} h_{\infty} = (1 - e^{-ka}) h_{\infty}$$

missä e on luonnollisen järjestelmän kantaluku ja uusi muuttuja k (se
muuttuu vain maastotyyppin muuttuessa tai siirryttäessä erikseen kuva-
maan mikrovaihteluja) kuvaa maaston "karkeutta", ts onko siinä tiheässä
kukkuloita ja rotkoja (suuri k) tai vain harvassa mäkiä ja laaksoja
(pieni k). Vertailu osoittaa, että $\sqrt{1 - R} = 1 - e^{-ka}$ ja näin ollen

$$(26) R = 2e^{-ka} - e^{-2ka} = e^{-ka}(2 - e^{-ka}) = 1 - (h_n/h_{\infty})^2$$

Viimeinen [(23):n perusteella saatava] muoto vaikuttaa yksinkertai-
suudessaan hyvin käyttökelpoiselta.

Suomalaiseen maastoon kuuluu toisena tyyppinä alueita, joilla joku-
nen mäki nousee yksinäisenä ylös suosta tai saari vedestä. Kun "tarpeen
vaatiessa" ja itse asiassa aiheellisestikin otetaan hieman tasaista ympä-
ristöä mukaan, muodostuu korkeuksista jälleen likipitään normaali
jakautuma, jossa kuitenkin vain positiiviset arvot ovat mukana. On las-
kettava tapaukseen liittyvä h_{∞} .

Lähteäksemme aluksi yleisestä tapauksesta on todettava, että kor-
keuseroissa kombinoivat yhtä usein samanmerkkiset kuin erimerkkiset-
kin keskenään. Jos havaintoja on $2n$ kpl, on niistä n kpl (erimerkkiset)
muotoa $|h_1| + |h_2|$ ja n kpl (samanmerkkiset) muotoa $|h_1 - h_2|$. Edel-
listen keskiarvo on h_n , sillä kummatkin puolet ovat saman arvoisia, siis
 $\Sigma |h_1| = \Sigma |h_2|$. Toisen puolen keskiarvo, jota koetamme juuri laskea,
on merkittävä vain $= \frac{1}{2} \Sigma |h_1 - h_2| / n$. Toisaalta tiedämme, että yhteis-
summa on $\sqrt{2} h_n$, siis $h_n + \frac{1}{2} \Sigma |h_1 - h_2| / n = \sqrt{2} h_n$, joten kahden kau-
kana toisistaan olevan pisteen korkeuksien keskimääräinen ero toispuo-
lisessa normaalijakautumassa on

$$(27) \Sigma |h_1 - h_2| / n = 2(\sqrt{2} - 1) h_n \approx 0,82 h_n \approx 0,58 h_{\infty}$$

kun h_{∞} on käytetty alkuperäisessä merkityksessään. Jos epäilemme
sekamuotoa, olisi kertoimessa siten "arvattava" — elleimme halua työ-
läästä laskea — väli $0,6 \rightarrow 1$. Useimmiten tuntuu oikeammalta ymmärtää

"toispuolinen" maasto ikäänkuin näytteenä isommasta ja kaksipuolisesta, jolloin on parempi käyttää tämän h_{∞} arvoakin.

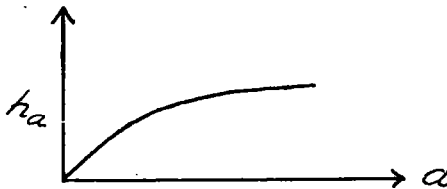
On selvää, että k_0 , K_0 , k , h_a , A ja R ovat kaikki omalla tavallaan päteviä maaston kuvaajia, joiden arvo on tarkemmin punnittavissa vasta laajojen kokeilujen nojalla. Tunnusfunktion h_a kuvaaja puolilogaritmi-paperilla lähenee suoraa ja pienet erot siitä ovat juuri "puhuvia", jos ne ovat varmoja.

Ottamalla funktion h_a derivaatta pisteestä $a=0$ saadaan aikaisemmin käsitelty profiiliin keskimääräinen kaltevuus k , tuloksella

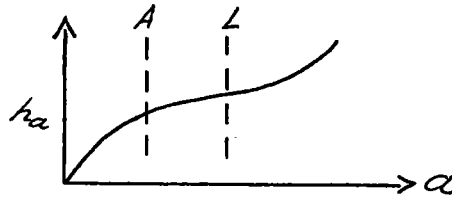
$$(28) k_0 = k h_{\infty}, \text{ josta edelleen } k = k_0 / h_{\infty}$$

Karkeuskertoimen k käänteisarvolla osoittautuu olevan hyödyllinen tulkinallinen merkitys, johon vielä palaamme.

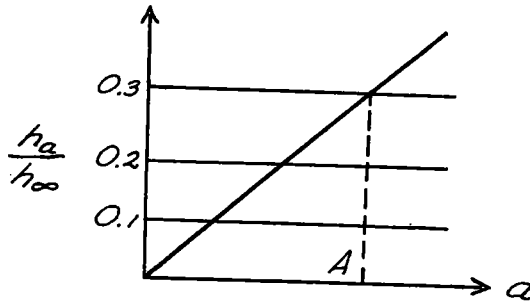
Ellei isoja häiriöitä ole, muodostuu funktion h_a kuvaaja tavalliseen tapaan esitettynä piirroksen 15 tapaiseksi. Mutta jos maasto vähitellen nousee johonkin suuntaan, tapahtuu deformatumina piirroksen 16 mukaisesti, siis käyrä alkaa lähetä muuta kuin vaakasuoraa viivaa. On syytä katkaista tulos esim kohdasta L . Koska suurien a -välien tulokset ovat sitä epävarmempia mitä lyhyempi profiili on, kuvaajan "häntä heiluu" eniten, mutta vakavoituu jatkuvasti, kun profiilia pidennetään. Alkupää siis vakavoituu ensiksi. Kun tulos halutaan siirtää puolilogaritmi-paperille, valitaan h_a jostakin kohdan A tienoilta, piste vietään logaritmi-paperille (joka kuvaa oikeastaan suhteellista h_a :n arvoa $h_a:h_{\infty}$) ja vedetään suora alkupisteeseen. Olkoon h_a esimerkin vuoksi vain $0,3 h_{\infty}$. Logaritmi-paperilla nousee (piirros 17) pitenevien viivaväljen suunnassa ylöspäin suhteellisen arvon $0,3$ kohdalle ja valitaan vaakaväli A sopivalla tavalla lukemisen helpottamiseksi. Se ei siis vaikuta muulla



Piirros 15



Piirros 16



Piirros 17

tavalla tuloksiin. Kun muita h_a arvoja on laskettu, huomataan niiden poikkeavan tavallisesti mitättömän vähän jo piirretyltä suoralta. Tulokset on aina "mitattava" raja-arvolla h_{∞} , siis jaettava sen mittaluvulla. Puolilogaritmi-paperin desimaali- jaossa ei sovi erehtyä, koska se täysin pilaisi tulokset.

Koko korkeusvaihtelu H_a ylös tai alas (ei vain päätepisteiden korkeusero) välillä a on

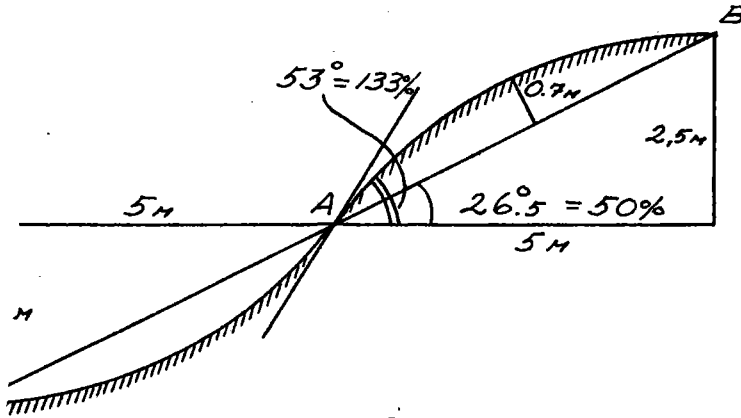
$$(29) \quad H_a = k_a a$$

Nopeasti kumpuilevassa maastossa on jo auton akselivälillä ero tunnusluvulla H_a ja h_a . Jälkimmäinen osoittaa matemaattisessa mielessä millaisessa "rinteessä" — joka koko ajan vaihtelee — vaunu keskimäärin toimii ja ero $H_a - h_a$ kuvaa akseliväliin jäävien esteitten määrää. Tällä erotuksella on yleisestikin tärkeä merkitys. Se antaa ilmeisestikin

käsityksen siitä, millä etäisyydellä esim maali alkaa olla suojassa tähtsytökseltä, laakatulelta ja sirpaleilta tai jopa ydinräjähdyksiltäkin — silloin tosin jo h_0 on merkityksetön H_0 :n rinnalla. Olemme kuitenkin jo tällöin aiheen ulkopuolella.

On merkille pantavaa, että karkeuskerroin k ei ole vailla dimensiota. Sen käänteisarvon ($1/k$) dimensio on pituus, ja sen avulla onkin arvioitavissa mäkien keskimääräinen pituus (L)

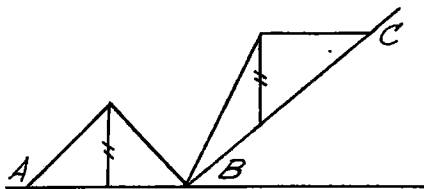
$$(30) L = 2/k$$



Piiros 18

Otamme tärkeän erikoistapauksen, jolloin yhtälössä (25) eksponentti $ka = 1$, eli (28):n ja lopuksi (30):n mukaan $k_0/h_{00} \cdot a = 1$ ja siis $a = h_{00}/k_0 = 1/k = L/2$. On siis valittu väliksi a keskimäärin puoli mäen pituutta. Kun vielä pannaan $a = L/2 = 5$ m vastaten karkeasti ajoneuvon pituutta ja annetaan k_0 :lle esitettävän piirroksen selventämiseksi suuri arvo 0,5, on myös h_{00} jo tullut määritetyksi ja se saa arvon 2,5 m. Keskimääräinen mäki, joka toteuttaa edellä mainitut ja eräät muutkin ehdot hyvin tarkasti, on esitetty piirroksessa 18. Siinä on koko mäen pituus 10 m vastaavaan nousun ollessa 5 m, siis $k_0 = 0,5$ eli 50 %. Väli AB on ympyränkaari, joka jatkuu vasemmalla symmetrisesti laakson pohjakaarena piste A käännepisteenä (ympyröiden säteeksi tulee 6,25 m). Näin tehty piirros on "tilastollisesti" sikäläkin hyvin tarkka, että jos

lasketaan + poikkeamien (tai — poikkeamien) keskiarvo ja kerrotaan se $\sqrt{2}$:lla, saadaan hyvä likiarvo h_{00} :lle (parempi kuin sinifunktiolla). Väliä $a = 5\text{ m}$ vastaava h_1 on tällaisessa tapauksessa (25):n mukaan 63 % ($= 1 - 1/e$) h_{00} :sta eli 1,58 m tai tangenttiprosentteina $100 \times 1,58/5 = 32$ %. (Tätä tulosta ei piirros 18 tosin kykene toteuttamaan). Koko korkeusvaihtelu on kuitenkin (29):n mukaan $0,5 \times 5\text{ m} = 2,5\text{ m}$, siis sama kui h_{00} . Ero on n 90 cm, minkä ”kuittaisi” 45 cm:n nousu ja lasku. Piirroksessa 18 näemme, että välillä AB on suoran ja ympyränkaaren suurin väli n 70 cm. Kun vaunun keskusta on ylimpänä eli pisteen B kohdalla, jää siis akselivälille ”mikrovaihtelua” peräti 1,40 cm, mutta pyörät ovat samalla korkeudella. Kun vaunu kallistuu rinteeseen, mikro alkaa vähentyä ainakin siinä mielessä, ettei se vaikuta täydellä teholla k_0 :ssa. Tämän ilmiön toteamme selvänä myös piirroksessa 19. Siinä näemme tasaisella maalla ”mikrokukkulan” AB, joka tasoittuu saman kaltevuuden omaavassa isommassa rinteessä (asema BC). Kuitenkaan emme voi väittää, että myös mikrovaihtelujen estevaikutus häviäisi. Emme tällaisessa tapauksessa myöskään voi ratkaista sitä pelkästään maastoa tutkimalla, vaan on otettava huomioon vaunun rakenne ja tarkkailtava ennen kaikkea sen painopisteen liikettä, mikä taas riippuu paljon vaunun korkeudesta ja pituudesta. Lyhyen ja korkean vaunun painopiste tekee suuria liikkeitä pienissäkin esteissä, kun taas pitkän ja matalan vaunun painopiste — jousituksen vielä auttaessa — heiluu paljon vähemmän.



Piirros 19

Kun maasto piirroksessa 18 on kuvattu ympyränkaarilla, nousee maksimikaltevuus — pisteessä A — peräti 133 %:iin, siis 50 % kaltevuutta vastaava kulma $26,5^\circ$ tulee kaksinkertaiseksi. Jos korvaamme nousun sinifunktiolla, kasvaa maksimikaltevuus vain 57 %:lla keskiarvosta

(50 %) eli 78—9 %:iin. Käytännössä maksimikaltevuudet voivat vaihdella laajoissa rajoissa, joten vertailevat tutkimukset maastossa ovat välttämättömiä. Makrokorkeusvaihteluihin sovellettuna voimme kuitenkin arvioida, että jos maaston keskikaltevuus on k_0 , ovat maksimikaltevuudet (prosentteissa) rinteissä vähintäänkin 1,5 k_0 ja varsin usein 2 k_0 tai ylikin. Jos tällöin on kysymys satunnaisesti valituista kulkureiteistä, ovat gradienttikaltevuudet [yhtälö (10)] vielä paljon suuremmat. Tarkempien jatkotutkimusten puuttuessa toteamme, että kun k_0 on luokkaa 20 %, näyttää yleensä jo olevan kyseessä estemaasto telaketjuisille ja 13 % vastaavasti pyöräajoneuvoille. Mitä pienempi maasto on alaltaan sitä helpompi on kuitenkin löytää uria läpikulkua varten. Pienikavaisille kartoille ei uria tilanahtauden vuoksi voida merkitä, vaikka ne tunnettaisiinkin.

SÄÄ- JA ILMASTOTEKIJÖIDEN MERKITYS

Pitempää ajanjaksoa koskevissa suunnittelutehtävissä on pakko tyytyä nojautumaan ilmastollisiin tilastotietoihin, joita esim Suomessa on melko runsaasti saatavissa. Pitkän ajan sääennustus tulee kehittyttyään antamaan suunnittelijoille myös arvokasta tukea. Tarkat ennusteet suunnilleen viikoksi eteenpäin olisivat erityisen tärkeitä, mutta niitä ei vielä kyetä laatimaan.

Talvi- ja kesäolosuhteiden erot ovat itsestään selvät ja yleisesti tunnetut. Suurimmat yllätykset kokemattomalle aiheuttaa kevät ja siihen liittyvä roudan sulaminen kelirikkoineen, mikä saattaa pilata liikenneyhteydet hiesupitoisilla mailla puolikesään asti. Lankkuteiden rakentaminen oli sodan aikana varmin keino pulmasta selviämiseksi. Sateitten vaikutus on lyhytaikaisempi mutta äkillinen. Nopeimmin se tuntuu pintahumuksessa, jolloin tartuntakitka sekä pyörien että telojen alla putoaa helposti puoleen. Alavilla mailla ajonopeus vähenee jopa viidennen osaan tai liikkuminen käy mahdolliseksi vain teillä. Karkearakeisilla mailla ajo-ominaisuudet voivat toisaalta parantuakin. Jäätyneen maaperän ajo-ominaisuudet, nimenomaan kantavuus paranevat aluksi suoraan verrannollisesti pakkasasteiden määrään, ja parinkymmenen pakkasasteen tienoilla on lujuus jo kymmenkertainen. Mitä kosteampaa maa on sitä lujemmaksi se pakkasella tulee. Vaikka turvemaiden

kosteuspitoisuus vaihteleeekin varsin vähän, ovat ne sille sitä herkempiä. Syksyyn mennessä turvemaiden kantokyky muutenkin paranee.

Jatkuvan liikenteen kestokyky sulana aikana alenee yleensä kosteuden lisääntyessä ja sitä enemmän mitä hienojakoisempi maalaji on. Karoitustamielessä on kehitetty laitteita maalajien ajo-ominaisuuksien tutkimista varten eri olosuhteissa. Tiedot ovat tarpeen myös kulkukelpoisuuden ennustamista varten, sillä ennusteitten tulee olla paikallisia kuten säätilakin. Ennusteet ilman tarkkoja maaperätietoja (kulkukelpoisuuden suhteen) muodostuvat helposti pintapuolisiksi ja käytännössä arvottomiksi. Puutteellisista tiedoista jo sinänsä seuraa, että ajoneuvotyyppien jako eri alueilla on suoritettava umpimähkäisesti ja kuljetuskapasiteetin kannalta ehkä vähemmän tarkoituksenmukaisesti.

KOLONNALIIKENTEESTA

Kun puhutaan **maastoliikkuvuudesta**, tarkoitetaan yleensä asean tai välineen kykyä edetä maastossa, tavallisesti vielä koskemattomassa maastossa. Mutta huollon on nojaututtava **maastokuljetuksiin**, jotka pakostakin tapahtuvat luonnostaan syntyvillä tai tehdyillä urilla. Tämä merkitsee suurta muutosta tilanteessa, sillä maaperän kantokyky riippuu nyt kivennäismaaperästä, jonka koheesio-ominaisuudet vähitellen huonontuvat jatkuvan liikenteen alla. Eri maalajit kestävät liikennettä eri tavoin, ja on valmistettu laitteita, joilla tämä kantokyky voidaan selvittää. Jos maaperä kestää noin 50 ajoneuvon perättäisen ylityksen, voidaan sitä pitää kolonnaliikenteelle kelpoisena. On itsestään selvää, että syntyneitä tai tehtyjä uria on hoidettava ja paranneltava, mutta taisteluvahvuus ei saisi tämän takia pienentyä — mikä vaikeassa maastossa usein on "utopiaa".

Jotta urien parantelu ja korjailu voitaisiin suorittaa järkipäisesti ja kolonnaliikenne muodostuisi muutenkin tehokkaaksi, on tunnettava paremmin kuin tunnonvaraisesti, millä tavoin kuljetusteho riippuu esiintyvistä "pullonkauloista" ja mitkä oikeastaan ovat kolonnaliikenteen peruseriaatteen. Emme puutu urien korjaamisen teknilliseen puoleen, mikä kuuluu alan ammattimiehille. Sensijaan on syytä kyllä puuttua siihen, mitä on tehtävä. Tällöin joudutaan harkitsemaan asiaa aluksi

yhden ajoneuvon kannalta ja senjälkeen tutkimaan kolonnamuodon aiheuttamaa tilanteen muutosta.

Teoreettinen pohdiskelu vie seuraaviin johtopäätöksiin. Lopputuloksen — kuljetustehon — kannalta tieosilla on sitä suurempi — ja haitallinen — merkitys mitä hitaammin näillä osilla kyetään liikkumaan. Korjailun kiireellisyysjärjestys alkaa siis huonoimmista kohdista ja parhaat paikat jäävät viimeiseksi. Tämä johtuu siitä, että keskinopeus nousee paljon enemmän suurentamalla hitaita nopeuksia kuin suuria. (Jos esim nopeudet 1 m/s ja 10 m/s matkan ollessa sama nostetaan arvoihin 2 m/s ja 11 m/s, siis yhtä paljon, on ajansäästö edellisessä tapauksessa 55-kertainen.) Tasaisella nopeudella ajettava ura on edullisin. Mäkiä pitäisi myös tämän takia välttää. Kolonnamuoto tuo omat lisävaikeutensa, mm mäkien haittavaikutukset korostuvat. Kolonnat aiheuttavat ennen kaikkea ruuhkautumia, mutta niistä johtuva ajanhukka yksittäisajon verrattuna riippuu ratkaisevasti vain ns pienimmän alinopeuden pisteistä. Graafinen tarkastelu selvittää asian parhaiten.

Kolonnaliikenne on "välttämätön paha", eikä sitä pidä käyttää, ellei ole pakko. Välttämättömin tuo pakko on silloin, kun yhtymä tai taisteluosasto ensi kerran etenee maaston poikki, jolloin ruuhkautumat saattavat muodostua suorastaan sietämättömiksi, uhaten tyrehtyttää paitsi huollon, jopa koko toiminnan, ellei tilanteeseen valmistauduta huolella etukäteen. Tyydymme tässä toteamaan vain yleisen periaatteen, että "keveimmät ja maastokelpoisimmat edelle ja hitaat perässä, kun ura on vahvistettu" ja ryhdymme suoraan käsittelemään "lakeja", jotka järjestyksessä ohjatussa kolonnaliikenteessä on otettava huomioon — tai ellei oteta, niin ne vaikuttavat joka tapauksessa ja sitäkin haitallisemmin.

Jokaisella ura- tai tiepisteellä on sille ominainen ratapistenopeutensa, jota ei voida ylittää vaarantamatta kalustoa tai ajoturvallisuutta. Ajamalla juuri näillä maksiminopeuksilla saavutetaan lyhin ajoaika ja siihen tietenkin on pyrittävä. Kolonna, joka yrittää ajaa vakioetäisyyksin, ei tähän pysty. Teoreettisesti sen tulisi käyttää pienintä ratapistenopeutta, mikä sattuu alku- ja loppupään välille, mutta tällaisen minimax-probleeman ratkominen liikenteessä on mahdotonta — on pakko ajaa vieläkin hitaammin. Vakioetäisyyksin marssiminen "tappaa" nopeasti miehet, pyörillä ajavat joutuvat ketjukolareihin ja kolonnassa syntyy ruuhkia eikä mäissä voida käyttää vauhtia hyväksi. Ainoa jär-

kevä mahdollisuus on, että kolonna ajaa vakioaikavälein, mutta miten?

Uralla liikkuva ajoneuvo ottaa aina jonkin minimitiilan, mikä riippuu ajoneuvon pituudesta ja turvallisuusnäkökohdista. Jos vihollisen takia ei sallita liikennettä lyhyin välein, olisi kuitenkin annettava tarvittaessa syntyä kahden ajoneuvon "ruuhkia", koska tästä koitua ajansäästö voi olla hyvin suuri. Olkoon ajoneuvon ottama tai sille määrätty minimi-tila E_{min} , joten n ajoneuvoa käsittävän kolonnan "suljettu pituus" on nE_{min} .

Rajanopeus, jolla alkaa muodostua ruuhkautumista, on helposti las-
kettavissa. Jos tämä nopeus ilmaistaan dimensiossa matkayks./aikayks.
(esim m/s tai km/h), merkitsemme sitä v_r , jos taas käytetään dimen-
siota aikayks./matkayks. (esim min/km), merkitsemme sitä w_r . Nouda-
tettavaksi käsketty aikaväli ajoneuvosta toiseen olkoon t_0 . Ruuhkautu-
misen rajanopeus on silloin

$$(31) \quad v_r = \frac{E_{min}}{t_0} \quad \text{tai} \quad w_r = \frac{t_0}{E_{min}}$$

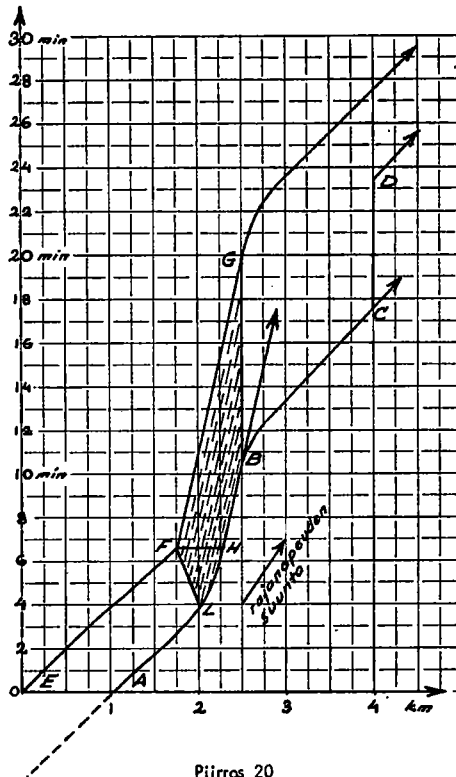
Jos ratapistenopeudet jollakin alueella ovat rajanopeutta hitaampia, puhumme alinopeusalueesta. Täysin ratkaiseva on aina hitain piste — heti sen jälkeen alkavat mahdollisesti syntyvät ruuhkat purkautua. Jos koko ajettavan uran hitaimmassa kohdassa on ratanopeus v_{min} tai vas-
taavasti w_{min} (oikeastaan w on maksimissaan, mutta merkintä w_{max} ei
liene käyttökelpoinen), ja halutaan säästyä ruuhkilta, on rajanopeudeksi
valittava juuri em arvot ja aikaväliksi tulee $E_{min}/v_{min} = E_{min} \cdot w_{min}$. Jos
esim v_{min} on 0,3 m/s = 1 km/h ja $E_{min} = 10$ m, on aikaväli $10/0,3 = 33$
sekuntia. Jos tavallinen ajonopeus on 20 km/h, tämä merkitsee noin
185 m ajoetäisyyksiä.

Aikavälin pitäminen käy päinsä nopeusmittarin avulla. Jos aikaväli
on t_0 (sek) ja nopeusmittarin lukema jollakin hetkellä on M (km/h), on
metrisen etäisyyden E oltava

$$(32) \quad E = \frac{t_0}{3,6} M = kM$$

On selvää, että kertoimen k — jonka johtaja tietenkin käskää — tulee
olla mieluummin kokonaisluku 1, 2, 3... 10, jotta kuljettaja ei joudu
laskuvaikeuksiin (em esimerkissä olisi sopinut $k = 10$). Nopeusmittarin
asteikolle voidaan myös teipillä kiinnittää lappu, josta metrisen etäisyyden

näky kulloinkin suoraan nopeusosoittimen kohdalta. On kuitenkin osoitettavissa (Sot.aikak.lehti 4/58 ss 240—50), että jos jokainen ajoneuvo kiihdyttää nopeuttaan heti kun huomaa edellään ajavankin niin tekevän, joutuu jälkipää ajamaan jokseenkin tasaisella ja siten maastoon sopeutumattomalla nopeudella. Nopeuden muutosten tulisi tapahtua samoissa kohdissa ajouralla, mitkä tottuneen kuljettajan pitäisi "luonnostaan" huomata.



Piirros 20
 Ruuhkan syntyminen ja purkautuminen. Rajanopeus, jossa ruuhka alkaa, saavutetaan pisteessä L, koko kolonna on ruuhkassa tasalla FH, purkautuminen alkaa pisteessä B ja päättyy pisteessä G.

Tyydymme tässä esittämään mahdollisimman vähän teoriaa (perusteelliset tiedot arkistokappaleessa), jonka korvaamme graafisella tarkastelulla käytännöllisiä päämääriä ajatellen. Piirroksessa 20 on vaakakselilla matka ja pystyakselilla aika. Alkuhetkellä on kolonnan kärki pisteessä A ja jälkipää pisteessä E. Kolonna on siis "oikein päin", kun taas akseleja vaihtamalla jälkipää joutuisi kulkemaan aika-akselilla "edellä", mikä voi aiheuttaa sekaannuksia. Rata ALHBC kuvaa yhdellä ajoneuvolla ajettaessa, huolellisesti kelloa seuraamalla saatua matka-aikakäyrää, jota voimme pitää perus- tai vertailukäyränä. Mitä hitaampaa ajo jollakin alueella on, sitä pystymmin käyrä nousee ylöspäin. Hitaimmat kohdat on ajoitettava erittäin huolellisesti, jos nopeus laskee niissä alle edellä määritellyn rajanopeuden. Ratakäyrän sivuajan (esim nuoli pisteessä B) kulmakerroin ilmaisee nopeuden w (tässä 5 min/0,25 km = 20 min/km) ao pisteessä. Rajanopeuden suuntanuoli on edullista osoittaa piirroksessa (näin on tehtykin), jolloin on helppo huomata, missä kohdassa ratakäyrällä tämä nopeus saavutetaan (piste L). Ruuhka alkaa syntyä tässä rajanopeuspisteessä.

Kolonnan jälkipää kulkee 4 min aikaerolla kärjestä ja sen kulkua osoittava käyrä EF leikkaa siten 4 min vaakaviivaa suoraan pisteen A yläpuolella. Tästä leikkauspisteestä oikealle jälkipään rata on täysin samanmuotoinen kuin alkupäänkin, vain aikaero 4 min säilyy. Pisteessä F jälkipää kuitenkin saapuu ruuhkaan ja ajonopeus putoaa siihen pienimpään arvoon, mitä nuoli pisteessä B kuvaa (em 20 min/km). F piste määrittyy graafisesti siten, että väli FH = kolonnan suljettu pituus, tässä piirroksen mukaan 0,5 km. Jälkipää vapautuu ruuhkasta pisteessä G, joka saadaan piirtämällä pisteestä F yhdensuuntainen nuolen kanssa pisteessä B kunnes se leikkaa B:n kautta vedettyä pystysuoraa. Käyrän muoto pisteestä G eteenpäin on sama kuin B:stä C:hen. Kolonnan kärki on vapautunut ruuhkasta jo pisteessä B, ja annamme sen ajaa tien "luontaisella" nopeudella esim pisteeseen C, jossa se odottelee ajan CD eli 6 min ennen uudelleen liikkeelle lähtemistä. Pisteestä D ylöspäin jälkipään käyrälle tulee olla aikaero 4 min — juuri sen perusteella näemme, että ruuhka aiheuttaa hukka-ajan 6 min, mikä jo edellä mainittiin. Marsin aikataulu on siis graafisesti määritettävissä etukäteen kunhan peruse- eli vertailuaikataulu on etukäteen ajettu kerran tai useammin (siis rata ALHBC).

Jos liikennekapeikkoja on useita lähellä toisiaan, ei kolonnaa tietenkään kannata koota "oikeille aikaväleille" jokaisen tällaisen jälkeen, koska silloin menetetään paljon aikaa. Alkuperäiskappaleessa on tätä seikkaa käsitelty, samoin taukojen, vesistöjen ylitysten ym sovittamista teoriaan mahdollisimman käytännöllisellä tavalla. Tilan säästämiseksi on tässä jätettävä nämä sinänsä tärkeät asiat pois. Ajo suljetussa muodossa (tai yleensä tasaisin matkavälein) voi esim 50 ajoneuvon kolonnalta ottaa aikaa helposti 2—3 kertaa niin paljon kuin yksittäisajossa. Marssikynnykset saattavat kangistaa pahasti liikenteen järjestelyjä ja ne voivat pilata jälkipään levon, ellei menetellä joustavasti. Perusaikataulu (hitaimmat kohdat tiellä) on laadittava asiantuntemuksella, muuten siitä ei ole vastaavaa hyötyä. Yleisesti on todettava, että kolonnaajo muuttaa erittäin paljon niitä periaatteita, jotka soveltuvat yksittäisajoon. Tätä seikkaa ei koskaan voida liaksi korostaa.

MAASTOTUTKIMUKSET JA MAASTON LUOKITTELU

Kaiken edellä esitetyn perusteella voimme jo aavistella, millainen se työ on, joka on pakko tehdä, mikäli pyritään tyydyttävällä tavalla selvittämään maaston kulkukelpoisuustekijät valtakunnallisissa puitteissa sekä luokittelemaan ja kartoittamaan maasto asetettavia vaatimuksia vastaavasti. Tässä työssä olisi kyettävä näkemään kauas eteenpäin toisen tärkeän osapuolen, ajoneuvojen suunnittelijoiden ja rakentajien kehittämismahdollisuudet, jotta tehty työ ei olisi jo syntyessään ajastaan jäljessä. Tämä taataan osittain sillä, että tietoja maastosta kerätään enemmän kuin nykyhetkellä välttämättä tarvitaan. Näin tapahuokkin jo siitä syystä, että maaston kartoituksessa kerätään muutenkin tietoja useita eri tarkoituksia varten.

Tällä hetkellä näyttää siltä, että luonto kykenee pitämään puolensa ihmistä vastaan maastossa kulkemisen osalta ennen kaikkea nopeuden jyrkkänä rajoittajana. Vanhan ajan ratsumies pääsi "neitseellisessä" maastossa — uria rakentamatta — eteenpäin yhtä hyvin ja paremmin kuin nykyajan moottoriajoneuvossa istuja. Levittäytymällä maastoon voitiin helposti lieventää ruuhkautumia, mitkä nykyisin kolonnaajossa urilla voivat muodostua suorastaan toivottomiksi. Maastotutkimuksen ja yksityiskohtaisen kartoituksen on siten keskityttävä nimen-

omaan huonojen kohtien selvittelyyn, koska muulla on niihin nähden toisarvoinen merkitys. Yksittäisajossa tilanne helpottuu, mutta edelleenkin huonot kohdat "painavat" nopeuskeskiarvossa muita enemmän. Lisäksi ne yleensä ratkaisevat kuorman suuruuden ja vaikuttavat tätäkin kautta kuljetuskapasiteettiin. Edelleen niistä riippuu kaluston keskeisyys. Huonojen kohtien tutkimustarvetta ei ole kuitenkaan ymmärrettävä absoluuttisessa mielessä. Kussakin maastossa on tutkittava liikenneurat — rajatapauksessa jokin kangasmaasto saattaa kauttaaltaan olla uraa, toisessa rajatapauksessa taas ura voi maastossa todella olla vain kapea nauha — ja näiltä urilta on haettava heikot kohdat. Yksinkertaisten merkintätapojen kehittäminen on tärkeää. Maaperätutkimus muodostaa pohjan koko työskentelylle, ja tämä perusosa kuuluisi oikeastaan saada valmiina kulkukelpoisuustutkijan käyttöön.

Maaston huonoimmat kohdat ovat enimmäkseen lyhyitä — poikkeuksena suuret avosuot — ja ne kuuluvat siten mikrotopografisten esiintymien luokkaan. Mutta toisaalta esim laajojen kivikkoalueidenkin estevaikutus johtuu tämän alueen mikrotopografiasta. Näissä törmäämme jo korkeusvaihteluihin estearvojen pääasiallisina aiheuttajina maaperäominaisuuksien (huono kantokyky, liukkaus, liiallinenkin kovuus) ohella. Korkeusvaihtelun laajuuden kasvaessa joudutaan makromuodoissa tekemisiin varsinaisen rinnevaikutuksen kanssa. Loppujen lopuksi ilmasto — vuodenaajat — ja säätila ovat pahasti sotkemassa muuten ehkä mallikelpoisia tuloksia. Etenkin Suomessa ovat vielä metsät tärkeä lisätekijä puuston estearvon vuoksi.

Harkittaessa työjärjestystä ja -tapoja on aivan ilmeistä, että on edetävä yleisestä yksityiskohtaiseen päin. Pienikaavaisin tutkimus voi palvella vain suunnittelutarkoituksia, kun taas suurikaavaisten kulkukelpoisuuskarttojen tulee kelvata annettaviksi vaikkapa maastoon lähtevän karttanlukutaitoisen kuljettajan käteen. Em työjärjestykseen pakottaa myös tarve hankkia jatkuvasti kokemuksia työn aikana. Menetelmät siis kehittyvät asteittain eikä ennakkopäätöksiä noudattamalla.

Yleistutkimus on ensimmäisessä vaiheessa suoritettavissa tavattoman nopeasti, pelkkänä "autoajeluna" 40—60 km/h vauhdilla edellyttäen, että tulkitsijoilla on selvät tulkinta-avaimet työtään varten. Tämä johtuu tietenkin siitä, että karttakuviot ovat vielä tällöin suuria ulottuen läpi tieverkoston mahdollistaen siten interpoloinnin. Mittakaava

1:200 000 näyttää tässä työssä sopivalta. Yksityiskohtiin menevä tutkimus edellyttää helppossa maastossa arviolta mittakaavaa 1:50 000, mutta vaikeassa maastossa tuskin edes 1:20 000 riittäisi, vaikka käytännöllisistä syistä johtuen siihen lieneekin tyydyttävä. Edistykset kartografian ja painotekniikan aloilla vaikuttavat paljon mittakaavojen valintaan tulevaisuudessa. Maastoajoneuvojen kehitys taas tulee "sanelemaan" karttatyyppien luvun saman mittakaavan sisällä. Tällä hetkellä tuntuu siltä, että samalla kartalla on vaikeasti löydettävissä kylliksi tilaa sekä tela- että pyöräajoneuvojen kaipaamia merkintöjä varten. Jos taas kartta on ylimalkainen, ei siitä ole vastaavaa hyötyä. Yksityiskohtaisen kartan on periaatteessa kelvattava suoraan ajouran valintaan — siis maastossa käymättä — jopa sen perusteella pitäisi voida päätellä millaisilla välineillä uran parantamiseen lähetettävät työryhmät on varustettava. Edelleen sen tulee kelvata aikalaskelmien tekoon maaston läpi etenemistä suunniteltaessa. Näiden vaatimusten täyttämiseksi on maaperätietoja täydennettävä ottamalla näytteitä ja tutkimalla maaperän lujusominaisuuksia. Tätä varten perustetut erikoisorganisaatiot ovat kehittäneet lukuisia kojetyyppejä, joita jatkuvasti kokeillaan eri puolilla maapalloa.

On ehkä helpompaa päätellä mitä tietoja maastosta on kerättävä kuin miten niitä lopultakin on käytettävä. Periaatteessa on olemassa kaksi mahdollisuutta. Joko kartoille — osin topografisten karttojen "täytteeksi" — pannaan mahdollisimman paljon tietoja sellaisinaan siinä toivossa, että käyttäjät osaavat hyötyä niistä omin keinoin, tai sitten tiedot muokataan ja sovelletaan mahdollisimman pitkälle jo kartalle pantaessa, joten asioihin "vihkiytymätönkin" kykenee niitä vähällä opastuksella käyttämään. Kokemuksen perusteella jälkimmäinen tapa on ainoa oikea silloin, kun on kyse tarkoista yksityiskohtaisista tiedoista, joita vielä tässä tapauksessa on miltei "vilkaisemalla" hyväksi käytettävä, mutta summittaisia tietoja suunnittelutarkoituksiin voidaan jakaa vähemmänkin muokattuina. Yleensä muokkaamaton aineisto johtaa luultua useammin harhatulkintoihin — etenkin sotatoimissa väsynyt ja valvonut kartankäyttäjä ei ehdi eikä aina jaksaa kiireessä ajatella kovinkaan pitkälle. Liian tieteellinen ja lisäksi muokkaamaton tietoa-aineisto on usein osoittautunut käyttökelvottomaksi.

On selvää, että kulkukelpoisuutta esittävillä kartoilla on kuvattava

tavallista selvemmin myös tiestö. Teiden käyttömahdollisuus sodan aikana on sitä varmempaa mitä tiheämpi tieverkosto alueella on, ja päinvastoin, missä tiet ovat todella "kullan arvoisia", siellä niiden käyttömahdollisuus on epävarmintaa. Kun Lounais-Suomessa väli maaston poikki "tieltä tielle" on 3—5, korkeintaan 10 km, saattaa pohjoisessa vastaava taival olla peninkulmia, joten lähtövalmistelujen ja kulkuvarmuuden tulee olla aivan toista luokkaa. Keski-Euroopassa tiestö on niin tiheä, ettei maastoon kuljetusmielessä — paitsi puutavaramiesten — luulisi tarvittavan mennäkään kuten meillä. Ehkäpä juuri tästä syystä pääpaino lieneekin pantu panssarivaunujen kulkukelpoisuuden selvittämiseen.

Kulkukelpoisuusluokittelussa on ilmeisesti tärkeä merkitys geologisilla perustiedoilla, mutta ne eivät yksin riitä — eikä niitä meillä ole riittävästi käytettävissäkään, nimittäin geologisia maaperäkartoja 1:100 000 tai maataloudellisia maaperäkartoja 1:20 000. Lisätietoja saadaan topografisista kartoista (peruskartoista), mutta niistä puuttuu tärkeä mikrotopografia suurimmalta osaltaan. Summittaisia, pienikaavaisia kulkukelpoisuustutkimuksia voidaan melko tyydyttävästi laatia ammattimiesten toimesta nykyisistäkin meikäläisistä kartta-aineistoista, mutta se vie aikaa, sillä on lähdettävä 1:20 000 kaavasta pienentämään ja yleistämään. Kivisyystietoja tuskin kuitenkaan taitavakaan geologi pystyisi tällä tavoin "lukemaan" tarpeellisella tarkkuudella.

Luokitteluperusteita harkittaessa on tietenkin ensin oltava joltinenkin kuva siitä, millainen suomalainen maasto oikeastaan on. Jos yleistämme lausuntomme pinta-alasuhteitten mukaan, on pakko todeta, että metsät ovat vallitsevina kaikkialla muualla paitsi Lounais-Suomen peltoalueella, joka muodostaa samalla laajimman savikkoalueen. Metsien este- ja suoja-arvo on siten tavattoman suuri, mutta jatkuvat hakkuut ja uusi kasvu "pilaavat" nopeasti hyvänkin tarkkuuskartoituksen. Sikäli tuntuu siltä, että metsien (puuston) merkitys esteenä olisi joukkojen kulloinkin itsensä osattava arvioida "paikan päällä" yksityiskohtaisesti, annettujen normien perusteella.

Toiseksi ehkä silmiinpistäväintä Suomessa on soiden yleensä repaleinen levinneisyys miltei läpi maan, yhtenäisemmin niitä esiintyy vain isohkoilla alueilla pääasiassa Oulun läänissä. Vain pohjoisimmissa osissa maata suon reuna on tarkka, melkein pä askeleella mitattava. Repalei-

suudesta johtuen on soiden kuvaaminen pienikaavaisille kartoille pulmallinen tehtävä, mikäli halutaan säästyä moitteilta. Kulkukelpoisuusmielessä ei pinta-alasuhde ole niinkään ratkaiseva kuin se, muodostavatko suot yhtenäisiä esteitä ilman välikannaksia ja pakottavatko ne liikenteen vain määräsuuntaiseksi. Soiden laadun tärkeys on itsestään selvä. Viime vuosikymmen on nopeassa tahdissa alkanut muuttaa soitten luonnetta koneellisen ja tehokkaan ojituksen yleistyttyä.

Yleisin maalaji Suomessa on moreeni eri muodoissaan. Kivisyytensä takia se osaltaan korostaa mikrotopografian merkitystä, mutta varsinaiset kivikkohyödykkeet on käsiteltävä erillisinä. Toisaalta löytyy laajoja alueita, joilta haittaavat kivet tyystin puuttuvat ja muutenkin vain makrotopografia on hallitsevana. Moreenimaat ovat ehkä eniten "satunnaisia" matemaattisessa mielessä, kun taas harjumaastot ovat makrotopografisesti "järjestäytyneitä" ja isohkoilta alueilta löytyy ikäänkuin viivottimella vedettyjä "drumlineja", pitkittäisiä moreeniselänteitä, jotka merkitsevät sitä, että liikkumismahdollisuudet riippuvat täysin liikesuunnasta. On esitetty mielipide, että yleisestikin olisi edullisin liikesuunta ilmaistava silloin, kun se selvästi on olemassa. Maankuoren suuret, usein viivasuorat ja suurien vesistöjenkin yli ulottuvat halkeamat olisi kertakäyttäjän opittava näkemään topografisilta kartoiltakin.

Suuret ja pienemmätkin peltoalueet muodostavat tasankoja tai ainakin mikrokonkeusvaihtelut on niiltä tasoitettu pois, joten niistä muodostuu sääsuhteista riippuen hyviä panssariuria. Samalla ne edustavat pääosaa koheesiomaista, jotka eniten kaipaavat "sääennustusta" muiden alavien paikkojen ohella. Etelä-Suomen laajemmilla harjualueilla — ajatelkaamme esim Uttia — ja monin paikoin Pohjois-Suomea on isoja kanerva- tai jäkäläkankaita, Utsjoella omalaatuisia "skai-deja", jotka ovat erinomaisia kulkumaastoja tasaisuutensa ja maa-peränsä puolesta.

Sitäkin ikävämpiä yllätyksiä asiaa tuntemattomalle aiheuttavat riittävän hiesupitoiset maat, joilla kelirikko ei tunnu koskaan loppuvan. Tällaisilta alueilta olisi haettava ja merkittävä karttoihinkin mahdolliset soranottopaikat, jotta säästyttäisiin liioilta lankutuksilta ja puutavaran sekä yövoiman haaskaukselta, mikäli muuten tullaan toimeen.

Rantojen sopivuus mairinnousuihin ym on epäilemättä tärkeä sekä rannikoilla että sisävesillä, mutta se ei vaikuttane sentään kulkukelpoi-

suusluokitteluun. Etenkin rannikoilla esiintyvä kallioisuus, jolla on sotilaallista merkitystä muutenkin kuin kulkukelpoisuusmielessä, on otettava luokitteluperusteissa huomioon.

Maaperän vedenläpäisykyky riippuu lähinnä raesuruudesta, käytännössä myös kerrostuneisuudesta, joten maalajit ja maaperän koheesio-, kitka- ja kapillaariominaisuudet on otettava luokittelussa mukaan. Etenkin jatkuva liikenne on herkkä näille tekijöille. Kaiken "peittävä" tulee vielä maaston korkeusvaihtelu tarkoituksemukaisesti mitoitettuna.

Ei voida välttyä siltä, että valittavat luokitteluperusteet menevät ristiin, siis muodostuu yhdistelmiä, jolloin mieluummin vallitsevan tekijän tulisi olla nimityksessä määräävä.

Selvää on, että **suot** muodostavat oman ryhmänsä, jakautuen ainakin korpiin, rämeisiin ja avosoihin sopivin lisätiedoin syvyydestä, pohjasta ym.

Harjumaasto maaperänsä puolesta helppokulkuisena muodostaa oman luokkansa, mutta korkeusvaihtelu voi silti olla haitallinen, samoin kivisyys, joten esim **kankaan** nimellä olisi erikseen luokiteltava tasaiset alueet, joilla on helppo ajaa joutumatta käyttämään yli 5 %:n kaltevuuksia. "Pakollinen" ajosuunta on tarvittaessa ilmaistava ellei se muuten selvene. Metsä-Lapin ja Tunturi-Lapin helppokulkuiset alueet on merkittävä erikseen.

Etenkin Etelä-Suomessa puolustaa paikkaansa aluksi liiankin yleiseltä tuntuva nimitys **metsämaa**, tarpeen mukaan alajaoteltuna. Tämä moreenipohjainen maasto osoittautuu tavallisimmin kuormavaunuille ajokelvottomaksi tai hyvin vaikeasti kuljettavaksi, ellei uria raivata ja tasoitella. Helpot maat on raivattu pelloiksi tai kuuluvat harjujen luokkaan, joten metsämaastoluokkaan kuuluvilla mailla on runsaasti mikroesteitä, kiviä, matalia louhikkoja, pikku jyrkänteitä, ja makromuodotkin voivat olla hankalia. Jos kallioiden osuus kasvaa suureksi, noin puoleen tai vähempäänkin, mikäli irtomaa osoittautuu ohueksi, on jo siirryttävä seuraavaan luokkaan.

Tämä luokka olisi **kalliomaasto**, sisältäen kiintokallioiden ja jyrkänteiden ohella lohkaraita ja louhikkoa, etupäässä vaikeata maastoa jopa panssareillekin. Joskus kalliomaastossa voi olla helppokin liikkua jos joukossa on selviä ajouria.

Kivikot ja louhikot voivat paikoitellen suurillakin alueilla olla täysin leimaa-antavia maastolle, joten tällaiset alueet on nimettävä vastaa-
vasti. Alaluokitus tiheyden mukaan on välttämätön.

Viljellyt maat muodostavat oman luokkansa, mutta maalaji lisätun-
muksena on välttämätön.

Pahimmat **hiesumaat** — tarvittaessa hietamaatkin — kaivannevat
oman luokkansa. Hiesupitoisuus olisi aina todettava muulloinkin, jos se
on haitallisen suuri.

Korkeusvaihtelun vaikutus on niin suuri, että se olisi esitettävä aina
muualla paitsi soilla ja kankailla. Se siis liittyy kaikkiin maastotyyppi-
peihin muodostamatta itse yleistä tyyppityperustetta muulloin paitsi
rajattaessa kulkukelvottomia estemaastoja. Ilmeisesti olisi mikrovaihtelu
todettava erillisenä, milloin sen merkitys on ratkaiseva. Kokemusten
puuttuessa etenkin suurikaavaisen kartoitustyön osalta on ennen aikaista
päätellä, miten tunnushuvut on parhaita esittää. Todettakoon erikoi-
suutena, että on myös havaittavissa pyrkimystä palata kartografian his-
toriassa satakunta vuotta taaksepäin siinä mielessä, että pyritään jälleen
kuvaamaan "saman kaltevuuden pintoja" sopivasti luokiteltuna. Kor-
keuskäyrien käytäntöön otto sivuutti aikanaan tämän havainnollisen
mutta taitoa ja taiteellisuutta vaativan kartoitustavan, joka lisäksi oli
liiankin peittävä, joten muille merkinnöille jäi vain vähän tilaa. Edellä
esitettyjen teorioiden perusteella on pääteltävissä, että on löydettävissä
kehittyneempiäkin menettelytapoja, jotka samalla ottavat huomioon
kulkukelpoisuuden estevaikutukset kokonaisuudessaan, jopa periaate-
teessa jatkuvana funktiona, jolloin "esteellisyys" on kuvattavissa esim
korkeuskäyrien tapaan. Kolonnateorian yhteydessä kuitenkin selvim-
min ilmenee, että estearvot — mittakaavan asettaman rajoituksen
takia — muuttuvat usein äkillisesti vastaten tavallaan jyrkän teitä topo-
grafisilla kartoilla. Tällaiset kohdat edellyttävät näin ollen erillistä
kuvausta, jonka selvyys riippuu merkintätapojen valinnasta. Huonoim-
pien kohtien esittämistavasta vuorostaan riippuu koko kartan käyttö-
arvo, koska nämä kohdat ovat kuljetusten kannalta tärkeimmät tiedää
ennakoita ja oikein.

KIRJALLISUUTTA:

- Bekker, M G : Theory of land locomotion. Ann Arbor, Michigan 1962. — 522 s.
- Frick, M : Nykyaikaisen panssarivaunun suunnitteluun ja rakenteeseen vaikuttavat teknillis-taktilliset tekijät. Tiede ja Ase N:o 9/1951, ss 163—88.
- Halonen, I : Suurvaltojen maavoimien nykyiset hyökkäysdoktriinit ja niiden soveltuvuus oloihimme. Tiede ja Ase N:o 24/1966, ss 12—50.
- Hartmann, G : Der Einfluss des Geländes auf die Organisation und Führung von Gefechts-handlungen. Deutscher Militärverlag, Berlin 1966. — 115 s.
- Helenelund, K V: Kitkamaalajien kantavuusominaisuuksista. VTT, Helsinki 1966. — 110 s.
- Kaje, L : Maaston korkeusvaihteluiden matemaattinen kuvaus ja sen merkitys. Tiede ja Ase N:o 21/1963, ss 24—45.
- ,— : Sotilaallisten jonojen teoriaa. Sotilasalkakauslehti 1956, ss 240—50.
- ,— : Matematiikan soveltamisesta sotilastoimintaan. Sotilasalkakauslehti 1966, ss 15—19.
- Lampikoski, E : Pyöräajoneuvo maastossa. Sotilasaikakauslehti 1967, ss 201—5.
- Länsman, S : Tieliiikenteen määrä nykyaikaisen sodan olosuhteissa. Tiede ja Ase N:o 23/1965, ss 60—104.
- Rattasaari, R K : Panssarivaunujen maastokelpoisuudesta. Panssari N:ot 1, 2, 4/1965.
- Salovaara, A : Hevosen merkitys yleisen liikkuvuus- ja kuljetusprobleemin ratkaisussa nykyisen organisaatiomme puitteissa. Tiede ja Ase N:o 14/1956, ss 202—45.
- Terzaghi, K : Theoretical soil mechanics. New York 1966. — 510 s.
- Virkkala, K : Maaston sotilasgeologisesta tulkinnasta. Tiede ja Ase N:o 21/1963 ss 5—23.
- Väisänen, U : Maaston kulkukelpoisuuteen vaikuttavat tekijät puutavaran kuljetuksen kannalta. Metsäteknologian pro gradu-tutkielma. Helsinki 1964. — 95 s.
- Production of cross-country movement studies. USA EIG 31, 1959. — 62 s.
- Terrain Intelligence. USA FM 30—10. 1959. — 262 s.
- Proceedings of the meeting of the section 32: Operational efficiency in Montreal and Port Arthur September 15—25, I.U.F.R.O. Vollebakk, Norway 1965. — 415 s.
- Tie-, liikenne- ja kuljetusohjesäännöt.

TERRAIN TRAFFICABILITY

The article is based on colonel Kaje's more detailed work of research, that is considerably shortened on the theoretical parts, especially regarding column theory. The author states that the development from the middle of the 18th century has led from road maps over topographic maps to among others cross-country movement studies that are as important from the military and economic view. In the construction of vehicles the trend has shifted from trial and error to more scientific methods. Road vehicles constructed in our days with merely economic aspects in mind, are in an even greater degree inappropriate for use in terrain; hence, the selection and construction of different types of cross-country vehicles has become very important. This again calls for a thorough knowledge of terrain features, but the information on Finland is still indefinite especially concerning soils and microtopographic features.

In cross-country movement studies the great importance of inertia is in general overseen. Thus the author at first presents this aspect briefly. He discusses terrain obstacles and rolling resistance from a mathematical point of view and he looks for methods of linking together the effects of different kinds of resistance, which after all is the most important thing. The study of problems on tractive effort of vehicles is based on tenacity calculations and he tries to confirm the results by information on hill climbing capacity. These results have an interest of their own but a presentation of the theory cannot be considered in this connection.

The author has improved the theory of measurements of altitude variations, that is presented in English in the publication: "Proceedings of the meeting of the section 32: Operational efficiency in Montreal and Port Arthur September 15—25, 1964. I.U.F.R.O. Vollebek, Norway 1965". To the main extend profile studies are considered aiming at a classification of trafficability and the fast calculation of effects of obstacles. The great importance of microtopography is stressed. The author states that also the effect of weapons depends on altitude differences. He refers only briefly to the importance of meteorologic and climatologic factors. The theory of column movement is studied trying to reach at uncomplicated graphic methods, that do not require advanced mathematic education. Avoiding congestions is considered most important. Finally he presents some general aspects on the classification of Finnish terrain regarding trafficability and related map making. The forest technologic trafficability mapping differs widely, according to the author, from the military one, as it does not have to consider congestions — i.e. column theory.