



NORGE

(12) PATENT

(19) NO

(11) 302674

(13) B1

(51) Int Cl⁶ G 01 N 19/02, B 60 L 3/10

Patentstyret

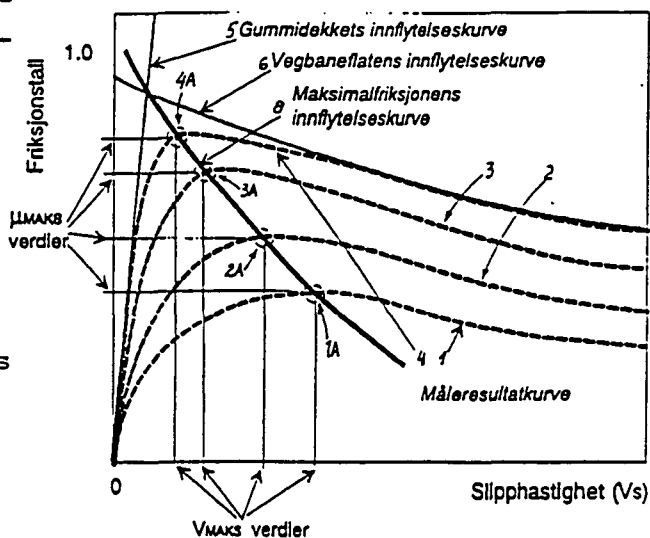
(21) Søknadsnr	944227	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	
(22) Inng. dag	04.11.94	(85) Videreføringsdag	
(24) Løpedag	04.11.94	(30) Prioritet	Ingen
(41) Alm. tilgj.	06.05.96		
(45) Meddelt dato	06.04.98		
(73) Patenthaver	Norsemeter AS, Postboks 161, 3401 Lier, NO		
(72) Oppfinner	Arild Andresen, Oslo, NO Oddvard Johnsen, Lier, NO Zoltan Rado, Győr, HU		
(74) Fullmektig	Rolf Chr. B. Larsen, ABC-Patent, Siviling. Rolf Chr. B. Larsen AS, 0667 Oslo		

(54) Benevnelse **Fremgangsmåte og apparat for måling eventuelt regulering av friksjonsforhold**

(56) Anførte publikasjoner EP A3 218839, EP A1 287862, EP A1 594130

(57) Sammendrag

Friksjonen mellom kjøretøyhjul utstyrt med gummidekk følger tre innflytelseskurver (5,6,8). Friksjonen mellom et hjul med gummidekk og en vegbaneflate avtegner en måleresultatkurve (1-4) hvis form bestemmes asymptotisk av gummidekkets innflytelseskurve (6). Måleresultatkurven (1-4) får derved en karakteristisk form med maksimalverdier (1A-4A). Maksimalfriksjonen bestemmes av gummidekkets og vegbaneflatens innflytelseskurve, også kalt maksimalfriksjonens innflytelseskurve (8). Hver innflytelseskurve har sin matematiske modell. I den matematiske modellen for maksimalfriksjonens innflytelseskurve (8) inngår slipp hastighet, bildekkets egenskaper og vegbaneflaten-til-bildekk-egenskaper. Bildekkets og underlag-til-bildekk-egenskapene kan fastsettes som prosessparametere ved måling. Derved blir maksimalfriksjonen en avhengig variabel av slipp hastigheten alene, så lenge bildekkets og vegbaneflaten-til-bildekk-egenskapene er uendret. Oppfinnelsen kan anvendes til måling av bildekk, henholdsvis veibaner og til regulering av traksjon, dvs. bremsing eller fremdrift.



Denne oppfinnelse angår en fremgangsmåte for måling eventuelt regulering av friksjonsforhold ved samvirke mellom et pneumatisk kjøretøy-gummihjul og en overflate under rullebevegelse med slippbetingelser mellom hjulet og overflaten, omfattende sanntids-beregning av friksjonsforhold ved hjelp av friksjon/slipphastighets-relasjoner under et akselerasjons- eller retardasjons-tidsintervall for hjulets rullebevegelse i forhold til overflaten.

Oppfinnelsen omfatter også apparater eller utstyr for bruk ved fremgangsmåten i forskjellige anvendelser som kan utnytte de prinsipielle løsninger som ligger til grunn for oppfinnelsen.

På den ene side dreier det seg her om måling, enten av et kjøretøy-gummihjul eller av en overflate, såsom en veibane eller en rullebane på flyplasser. På den annen side kan oppfinnelsen utnyttes ved regulering av en traksjonsprosess, det vil si enten en bremse-effekt eller en fremdriftseffekt, for et kjøretøy, herunder både biler og fly som er forsynt med luftgummihjul. Når det gjelder fly vil det normalt bare dreie seg om regulering av bremse-effekten. Regulering av den art som her omhandles, skjer som regel i løpet av et temmelig kort tidsintervall, f.eks. fra brøkdeler av et sekund til endel sekunder. Det er velkjent at særlig i tilfelle av en oppbremsing vil en optimal regulering av den kortvarige bremseprosess ha kritisk betydning i mange situasjoner.

Måling av friksjons- eller traksjonsegenskapene for gummihjul eller -dekk er selvsagt også et meget viktig felt, blant annet for bildekkprodusenter. På den annen side er måling av friksjonsegenskapene på rullebane- eller veioverflater av stor betydning for veibyggere, ikke minst når veioverflaten eller rullebanen har forurensende belegg, herunder is eller sne, som innvirker på friksjonsforholdene.

Det har lenge vært forsket på de svært kompliserte fysiske sammenhenger og forhold som har betydning på det her aktuelle området, og den senere tids utvikling i så måte kan blant annet ansees representert ved norsk patent 165.856 og tilsvarende US-patenter 4.958.512 og 5.249.851. Videre skal det her henvises til søkerens egen publikasjon "An Update on Road Grip Friction", distribuert under IX PIARC Winter Road

Congress, Seefeld, mars 1994. Publikasjonen inneholder blant annet en lang litteraturliste.

I europeisk patentskrift EP-287862 er det beskrevet
5 anvendelser av indirekte og tilnærmede metoder for beregning
av friksjon mellom pneumatisk hjul og veibane, basert på
måling av kjøretøyets hastighet, hjulets rotasjonshastighet
og større endringer i slippshastighet (kjøretøyhastighet minus
10 hjulets periferihastighet) når en drivmotors, og dermed
drivhjulets, dreiemoment blir fortløpende anslått ved måling
av tilført brennstoff. Det gjøres der dog ikke forsøk på å
bestemme friksjonsforholdet matematisk for videre utnyttelse
til styringsformål. Snarere anvendes en prøve-og-feile-
15 metode til å identifisere maksimalfriksjonens indirekte
virkning på rotasjonshastigheten til hjulet og styring basert
på de målte pådragsparametere for bl.a. brennstoff, som
gjaldt rett før den større endringen i slippshastighet
skjedde.

Europeisk patentskrift EP-218839 har også en viss
20 interesse i denne sammenheng. Patentskriftet er imidlertid
klart begrenset til skinnegående materiell, dvs. fremdrift av
tog, nærmere bestemt elektrisk drevne tog. Det dreier seg her
altså om jernbane-teknikk som åpenbart når det gjelder
friksjonsforhold ligger temmelig fjernt fra bilteknikk og
pneumatiske gummi-hjul som der anvendes.

25 Denne oppfinnelse tilveiebringer løsninger basert på ny
innsikt vunnet av oppfinnerne, herunder viktige matematiske
relasjoner for beskrivelse av friksjonsforhold som tidligere
i vesentlig grad har vært søkt klarlagt empirisk og grafisk
etter omfattende målinger. Tidligere kjente metoder på dette
30 området har basert seg på betraktning av friksjonsforholdene
i avhengighet av prosent slipp eller glidning mellom hjulets
omkretsflate og underlaget. Denne betraktningssmåte ligger
hovedsakelig til grunn for de forannevnte patenter. I
forbindelse med denne oppfinnelse er det derimot funnet høyst
35 fordelaktig å basere analysen og løsningene på en måling
eller beregning av den egentlige slippshastighet, det vil si
den absolutte relative bevegelseshastighet mellom hjulets
kontaktflate og den samvirkende veioverflate. Størrelsen av
denne slippshastighet er funnet å ha vesentlig relevans for

variasjonene i friksjonsforholdene, f.eks. under en nedbremsningsprosess.

De nye og særegne trekk ifølge oppfinnelsen i forskjellige anvendelser av denne, er nærmere angitt i patentkravene.

5 Oppfinnelsen innebærer en rekke fordeler som omfatter stor nøyaktighet og hurtighet både ved måling og ved traksjonsregulering. I og med oppfinnelsen er det for første gang blitt mulig å fremskaffe et totalt eller samlet og målbart uttrykk for friksjonsforholdene i forbindelse med samvirke
10 mellom et pneumatisk kjøretøy-gummihjul og en overflate.

Oppfinnelsen skal i det følgende forklares nærmere under henvisning til tegningsfigurene, hvor:

- Fig. 1 viser et diagram med kurver som gjelder friksjonsforhold i avhengighet av slipp hastighet,
15 fig. 2 er et sterkt forstørret snitt gjennom en vei- eller rullebane og en del av et hjul som ruller på denne, for illustrasjon av struktur- og dimensjonsforhold av stor betydning i foreliggende sammenheng,
fig. 3 viser forenklet og skjematisk et arrangement for
20 måling av friksjonsforhold for bestemmelse av et gummihjuls traksjonsegenskaper, henholdsvis friksjonsegenskapene for en veioverflate, og
fig. 4 viser tilsvarende forenklet og skjematisk et arrangement for regulering av traksjonsforhold
25 eller -effekt i forbindelse med et kjøretøy.

I diagrammet på fig. 1 er det vist kurver som er fundamentale for de forhold som her drøftes. Kurvene 1, 2, 3 og 4 kan ansees å representere måleresultater for friksjon i avhengighet av slipp hastighet, og disse kurver har et karakteristisk forløp som i prinsippet har likhet med tilsvarende kurver målt som funksjon av prosent slipp, slik som f.eks. i
30 henhold til forannevnte norske patentskrift. Det er spesielt å bemerke at slike målekurver typisk har et maksimumspunkt som på fig. 1 er vist ved henholdsvis 1A, 2A, 3A og 4A for de
35 respektive kurver 1, 2, 3 og 4.

De steilt stigende kurveforløp ved lave slipp hastigheter, kan ansees å nærme seg eller være begrenset av en asymptotisk linje 5 og tilsvarende har kurveforløpene til høyre for maksimumspunktene 1A, 2A, 3A og 4A et forholdsvis

regelmessig eller likeartet forløp som kan ansees å være begrenset av en annen asymptotisk linje 6. Skråstillingen av de innledende forløp representert ved linjen 5, er i hovedsak bestemt av gummihjulets egenskaper, mens kurveforløpene for høyere slipphastigheter, representert ved linjen 6, i hovedsak er bestemt av overflaten, det vil si rullebanens eller veidekkets friksjonsegenskaper.

Som allerede antydnet ovenfor har det tidligere ikke vært tilgjengelig metoder til matematisk å beskrive forløpet av målekurver av den art som er representert ved kurvene 1, 2, 3 og 4 på fig. 1. I forbindelse med denne oppfinnelse har det vist seg mulig å finne en matematisk modell eller relasjon som med meget god tilnærming beskriver denne type kurver, nemlig:

$$\mu(V_s) = \mu_{\max} \cdot e^{-\left(\frac{\ln\left(\frac{V_s}{V_{\max}}\right)}{\hat{c}}\right)^2} \quad (1)$$

I denne relasjon (1) er μ_{\max} maksimalverdien av en målekurve som f.eks. kurvene 1-4 på fig. 1, og V_{\max} er den tilhørende slipphastighet, som også kan betegnes som kritisk slipphastighet. \hat{c} er en parameter som gir uttrykk for makrotekstur og er nær relatert til den såkalte hastighetskonstant ("speed number") i henhold til den kjente PIARC-modell og den normaliserte gradientprosenten ("percent normalized gradient, PNG") i den kjente PennState-modellen. Begge disse modeller beskjeftiger seg således kun med vei-overflatens andel av friksjonsprosessen mellom et pneumatisk hjul og veibane med formål å uttrykke makroteksturegenskaper for veiflaten og hovedsakelig den betydning makrostrukturen har for reduksjonen av den friksjon som erfares med økende kjøretøyhastighet. Dette forhold har dannet basis for å overvåke utviklingen av veiflaters makrotekstur over tid (noen år) som ledd i planlegging av vedlikeholdet av veidekket. Knytningen til makrotekstur er gjort til den negative inverse verdi av stigningsvinkelen (den deriverte)

av modellene når de er omdannet på logaritmisk form og er funnet ved observasjoner bl.a. av M. C. Lew og J. J. Henry, slik det er beskrevet i "Prediction of Skid Resistance as a Function of Speed from Pavement Texture", Transportation Research Record 666 (1978), s. 7-13. PIARC-modellen er beskrevet i "International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements", AIPCR - 01.04.T-1995. I forbindelse med denne oppfinnelse er det funnet at disse modellens evne til å uttrykke makrotekstur forbedres med den angitte logaritmiske modell (1), idet den også omfatter lavere slippshastighetsområder når det pneumatisk hjul ruller helt i begynnelsen av et bremse- eller slureforløp. Således kan posisjonen til μ_{\max} tilkjenne det område der PIARC- og PennState-modellene opphører å ha gyldighet i retning mot lavere slippshastigheter. PIARC-modellen og PennState-modellen omhandler ikke bestemmelse av maksimalfriksjonen, som er en betydelig nyvinning etter den her angitte logaritmiske modellen (1). \hat{C} er av oppfinnerne gitt navnet *formfaktor*, idet den etter sin matematiske sammenheng influerer sterkt på og gir et adekvat uttrykk for den karakteristiske bøyde geometriske form som friksjonsmålekurvene 1-4 i fig. 1 inntar.

Den her angitte modell eller relasjon (1) er temmelig fundamental i foreliggende sammenheng og er basert på fysiske observasjoner av gradienten av friksjon/slippshastighet-forholdet. Modellen ligger til grunn for meget av det som følger nedenfor og kan ansees å utgjøre en integrert del av den følgende diskusjon.

Da modellen beskriver maksimumspunktet eller toppen og den kritiske slippshastighet (beliggenheten av kurvetoppen langs aksene for slippshastighet) er den i stand til å beskrive senkningen av maksimumsverdiene og forskyvningen av toppene med økende kjøretøyhastighet. Beskrivelsen av disse fenomener leder til meget viktig informasjon om vei-overflatens mikro- og makrotekstur samt gummi-hjulets ytelse. De fullstendige matematiske utledninger i denne sammenheng og detaljerte analyser av tekstur eller overflateprofil vil føre for langt i denne beskrivelse.

Som det fremgår er relasjonen (1) en modell med tre parametere som er antatt å være avhengige av slipp-hastigheten og av kjøretøyhastigheten, som er modellens variable størrelser. De tre parametere er μ_{\max} , V_{\max} og \hat{C} . Andre parametere kan avledes fra disse, slik det også vil fremgå av den følgende analyse, men da de øvrige parametere er funksjoner av de forannevnte tre parametere, er de ikke å betrakte som modell-parametere selv om de kan ha viktige fysiske betydninger.

Relasjon (1) vil ikke i den følgende beskrivelse bli drøftet mer inngående, men kan under visse betingelser og omstendigheter komme inn i enkelte utførelsesformer av oppfinnelsen.

Det er av betydning å være klar over at sammenhørende verdier av μ_{\max} og V_{\max} som inngår i relasjon (1) kan bestemmes ved hjelp av den målemetode som er beskrevet i forannevnte norske patent 165.856, for et gitt kjøretøyhjul og underlag eller veidekke. Maksimal-friksjonstallet μ_{\max} gir uttrykk for de samlede eller kombinerte friksjonsegenskaper ved samvirke mellom overflaten og gummi hjulet eller -dekket, omfattende det såkalte "virkelig kontaktareal", gummidekkets relaksjonsspektra, strukturens eller teksturens sammensetning og tettheten av overflatens inngrepspunkter med hjuloverflaten osv. Disse begreper skal omtales nærmere nedenfor blant annet under henvisning til fig. 2.

Som en viss, men liten tilnærming til de problemer og kompliserte forhold som opptrer ved samvirke mellom et gummi-hjul og en overflate som dette ruller på, særlig når det forutsettes en viss grad av slipp eller glidning ved slik rulling, skal det henvises til Fig. 2, som er delt i figurene 2A og 2B. På disse figurer er det vist et sterkt forstørret snitt av et parti av en veibane 21 hvis overflateprofil eller tekstur er betegnet 21A. I den aktuelle forstørrelse er det godt synlig at overflaten er temmelig ru eller ujevn, dvs. har en rekke fordypninger og topper av varierende former.

På Fig. 2A er det også vist en liten del av et kjøretøy-hjul 22 hvis omkrets eller dekkbane 22A samvirker med vei-overflaten 21, dvs. mer spesielt med dennes overflateprofil som er betegnet 21A. I virkeligheten vil således kontakten

mellom dekkbanen 22A og overflateprofilen 21A finne sted bare på lokale små overflatepartier betegnet a_r osv. på Fig. 2A.

Det er funnet at summen av disse små arealer $a_r + a_{r+1} \dots a_{r+n}$ utgjør en meget viktig størrelse, nemlig det såkalte virkelige kontaktareal A_r slik som angitt på Fig. 2A. Dette virkelige kontaktareal A_r bidrar i vesentlig grad til forklaring av friksjonsegenskapene i forholdet gummi/hjul/overflate.

Blant mange andre spesifikke parametere eller faktorer som er knyttet til kontakt- eller grenseflaten mellom

hjuldekk og veioverflate slik som illustrert på

Fig. 2A, er også den såkalte relaksjon som er søkt illustrert ved indikasjonen 22R på Fig. 2A. Det dreier seg her om

forplantning av det innpressede, lille gummiparti som følge av en topp i profilen 21A, videre innover i hjulgummien.

Under dynamiske forhold ved hjulets avrulling på veioverflaten 21 vil tidskonstanter knyttet til slik relaksjon spille en rolle. Slik relaksjon og andre spesielle forhold i denne sammenheng er beskrevet i litteraturen. Når det spesielt gjelder forannevnte virkelige kontaktareal kan det hen-

vises til Greenwood, G.A. and Williamson, G.B.P., 'Contact of Nominally Flat Surfaces', Proceedings of R. Society of London, Vol. A295, pp.300-319, 1966.

Hva angår forhold eller egenskaper som er knyttet til veioverflaten 21 eller profilen 21A alene, har den såkalte STDslope vesentlig betydning for oppfinnelsen. Andre parametere eller deskriptorer som kan nevnes er tekstur-kurvatur og topp-tetthet, som her ikke skal behandles nærmere. Den

nevnte STDslope er imidlertid meget viktig og er bl.a. beskrevet i Longuept-Higgins, M.S., 'Statistical Analysis of Random:moving surface', Philtrans.Royal Soc., Vol A295 pp.300-319, 1957.

STDslope er standardavviket for veiflateteksturens, dvs. overflatens helninger, som er en vanlig målbar parameter ved hjelp av elektroniske teksturmålere. Tidligere utnyttelse av begrepet eller størrelsen STDslope er som en beskrivelse av stochastiske overflater og er ikke benyttet i forbindelse med hjulfriksjon eller viskoelastiske materialer såsom gummi.

I den følgende diskusjon og de angitte matematiske relasjoner inngår det en rekke parametere eller størrelser

som hittil i det vesentlige er benyttet for gummidet som sådant, men er her benyttet i en analog betydning for et gummi-hjul konstruert også med elementer av andre materialer enn gummi. F.eks. kan dekk- eller hjulviskositet defineres på samme måte som viskositeten av et materiale. Fjærkonstanten for deformasjon av et gummi-hjul gir høyere motkraft ved økende deformasjonshastighet. Dette innebærer en viss forskjell mellom gummidekk og gummidet. Analogien er imidlertid tilstede.

Betraktes nå spesielt Fig. 2B er det der illustrert en metode til å beskrive overflateruheten eller -variasjonene i profilet 21A. Mellom fortrinnsvis jevnt fordelte punkter på profilet 21A er det trukket rette linjer, hvorav to linjestykker h_1 og h_2 er angitt spesielt på Fig. 2B. Disse linjestykker forløper med varierende vinkler i forhold til f.eks. horisontalen, og representerer et antall overflatehelninger h_1, h_2, \dots, h_N slik som angitt på Fig. 2B. Den horisontale avstand mellom de angitte punkter kan f.eks. i praksis være 2 mm. Denne betraktningsmåte ligger til grunn for den forannevnte parameter STDslope, og det er ut fra dette samt utførte forsøk funnet at STDslope sammen med virkelig kontaktareal A_r i vesentlig grad er bestemmende for den foran omtalte μ_{max} . Generelt er det i henhold til oppfinnelsen funnet at følgende relasjon gjelder:

$$\mu_{max} = -f + g \cdot \text{STDslope} - h \cdot A_r(v, V_s) \quad (2)$$

Mer spesielt har forsøk som nevnt med påfølgende behandling av forsøksdata ved regresjonsanalyse ført til følgende tallverdier for konstantene f, g og h i ovennevnte relasjon (2):

$$\begin{aligned} f &\approx 0,25 & \text{fortrinnsvis } f &= 0,26 \\ g &\approx 0,015 \\ h &\approx 0,3 & \text{fortrinnsvis } h &= 0,305. \end{aligned}$$

Disse tallverdier, dvs. nærmere bestemt de angitte foretrukne tallverdier, er bestemt med en tilpasningsgodhet $R = 0,97$. Forsåvidt angår metoder innen regresjonsanalyse kan det henvises til lærebøker i matematikk, såsom: Richard J. Larsen and Morris L- Marx, 'An Introduction to Mathematical Statis-

tics and Its Applications', Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Ytterligere en matematisk disiplin av interesse i foreliggende sammenheng er fraktal-matematikken, slik det fremgår av følgende relasjon vedrørende forannevnte A_r :

$$A_r(v, V_s) = \frac{D}{2-D} \frac{2\sigma\tau^2}{\pi G^{D-1} \eta} T \left[e^{\frac{b\delta V_s}{r v} + \frac{b\delta V_s}{r v} - 1} \right] \left[\frac{L^{(1+D)} - l^{(1+D)}}{1+D} \right] \quad (3)$$

hvor D = fraktal dimensjon,
 G = fraktal skaleringsfaktor
 L = øvre bølgelengdegrense for et valgt antall sinuskurver
 10 l = nedre bølgelengdegrense for et valgt antall sinuskurver
 σ = spenningsfaktor for gummihjulet
 τ = gummihulets relaksjonsspektra
 η = gummihulets viskositet
 15 δ = gummihulets dumping-faktor
 b = lengden av kontaktarealet mellom hjulet og overflaten
 r = gummihulets radius.

De ovenfor angitte øvre hhv. nedre bølgelengdegrenser gjelder sinus- eller cosinuskurver av forskjellige bølgelengder og fasevinkler som overlagret kan benyttes til å beskrive overflateprofiler eller -arealer med ruhet slik som illustrert på figurene 2A og 2B. Spørsmålet om disse bølgelengdegrenser er i foreliggende sammenheng knyttet til det forhold at teksturruheten slik som f.eks. representert ved profilet 21A på figurene 2A og 2B, i praksis vanligvis ligger innenfor bølgelengdegrensene 0,1 mm og 100 mm.

Forsåvidt angår fraktalmetoder, bl.a. under henvisning til størrelsene D og G ovenfor, kan det henvises til Mandelbraut, B.B., "Self affined fractals and fractal dimensions", Physica Scripta Vol.32, pp. 257-260, 1985.

Ovenstående relasjoner (2) og (3) inngår i viktige trekk iflg. patentkrav 1, som i forholdsvis generell form angir fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen for måling evt. regulering

av friksjonsforhold ved gummi-hjul/overflate-samvirke under rullebevegelse med slippbetingelser. På dette punkt er det grunn til å betrakte Fig. 1 igjen, hvor det er tegnet en såkalt maksimalfriksjons-innflytelseskurve 8. Denne går gjennom maksimalpunktene på de foran omtalte kurver 1, 2, 3 og 4. I og med forannevnte matematiske relasjoner beskrives og utnyttes denne maksimumskurve 8, som i høy grad er karakteriserende for denne oppfinnelse. Således vil man i de forskjellige anvendelser av oppfinnelse, dvs. både ved måling og regulering, arbeide langs denne kurve 8 for å oppnå optimale resultater.

Målemetoder basert på oppfinnelsen kan tenkes utført ved hjelp av et arrangement som forenklet og rent skjematisk er illustrert på Fig. 3. Det er der vist en overflate eller veibane 31 og et pneumatisk gummi-hjul 32 som kan bringes til å rulle på overflaten 31. Hjulet 32 inngår i måleutstyr og en målevogn e.l., som omfatter hastighetsgivere 33 og 34 for hhv. hjulets rotasjonshastighet og den lineære hastighet i forhold til overflaten 31. Giveren 34 for sistnevnte hastighet er egentlig ikke knyttet til rotasjonen av den skjematisk viste hjulakse 32A. Ut fra rotasjonshastigheten og radius for hjulet 32, sammenholdt med den lineære hastighet v kan slipp-hastigheten V_s lett beregnes, eventuelt kontinuerlig under en testkjøring. Beregningen skjer i en elektronisk styreenhet eller-anordning 30, som også tjener til å regulere et traksjonspådrag representert ved blokken 35, for regulering eller innstilling av hjulets rotasjonshastighet på ønsket måte under målingen.

Når det spesielt gjelder måling av kjøretøy-hjulets egenskaper kan relasjon (3) forenkles til følgende:

$$A_r(v, V_s) = K \left[e^{-W \frac{V_s}{v}} + W \frac{V_s}{v} - 1 \right] \quad (4)$$

Hvor $K =$

$$\frac{D}{2-D} \frac{2\sigma\tau^2}{\pi G^{(D-1)}\eta} \left[\frac{L^{(1+D)} - l^{(1+D)}}{1+D} \right]$$

dvs. basert på at friksjonsegenskapene for veioverflaten 31, som f.eks. kan være en standardoverflate, er kjent. Ved kombinasjon av ovenstående relasjon (4) med forannevnte relasjon (2), kan K uttrykkes direkte ved eliminering av A_r , slik at man får:

$$K = \frac{\mu_{\max} + f - g \text{ STDslope}}{h} \left[e^{-W \frac{V_s}{v}} + W \frac{V_s}{v} - 1 \right] \quad (6)$$

M.a.o. er K et mål for gummihjulets eller -dekkets traksjonsegenskaper. Slik måling er fortrinnsvis basert på at overflaten 31 er horisontal, hvilket også foretrekkes i tilfelle av måling som gjelder selve overflatens friksjonsegenskaper. Som et alternativ er det mulig å måle to ganger for bestemme både K og W.

Som angitt i patentkrav 3 vedrørende måling av pneumatisk gummihjuls traksjonsegenskaper, blir maksimal-friksjonsverdien μ_{\max} målt fortrinnsvis samtidig under tidsintervallet for den aktuelle kjøring med arrangementet på Fig. 3, idet de to parametere b og δ som inngår i W i relasjon (6), forutsettes kjent eller eventuelt målt på forhånd med i og for seg kjente målemetoder.

I tilfelle av måling av en overflates friksjonsegen

skaper basert på bruk av et gummi hjul hvis traksjonsegenskaper er kjent, kan relasjon (3) forenkles til følgende:

$$A_r(v, V_s) = \frac{D}{(2-D) G^{(D-1)}} H M \left[\frac{L^{(1+D)} - I^{(1+D)}}{1+D} \right] \quad (5)$$

Her er det tatt inn en konstant H

$$H = \frac{2\sigma\tau^2}{\pi\eta}$$

idet konstanten er bestemt av gummi hjulets kjente egenskaper. Videre inngår i relasjon (5) en størrelse M som har formen

$$M = \left[e^{-\frac{b\delta}{r} \frac{V_s}{v} + \frac{b\delta}{r} \frac{V_s}{v} - 1} \right]$$

Som det fremgår av uttrykket ovenfor er M tildels bestemt av gummi hjulets kjente egenskaper og tildels av hastighetene v og V_s .

I relasjon (5) ovenfor er det størrelser som representerer søkte måleverdier for overflatens friksjonsegenskaper, nemlig størrelsene D og G. Da disse representerer to ukjente i sammenhengen, foregår målingen av overflatefriksjon ifølge oppfinnelsen ved to kjøringar i et gitt tidsintervall med hhv. en første lineær kjøretøyhastighet og en annen kjøretøyhastighet som er forskjellig fra den første. Om ønskelig kan man selvsagt benytte flere kjøringar for ved passende prosessering av oppnådde måledata å komme frem til mer nøyaktige sluttresultater. Som allerede nevnt ovenfor i tilknytning til Fig. 3 blir også under disse målinger slipphastigheten V_s målt og styrt slik at denne verdi er under full kontroll for bestemmelse av M.

Fig. 4 viser forenklet og skjematisk et kjøretøy med fire hjul 41, 42, 43 og 44 med utstyr og anordninger for regulering av kjøretøyets traksjonsforhold, som kan betraktes som en reguleringsprosess med sikte på enten bremsing eller fremdrift av kjøretøyet. En bremseprosess vil vanligvis foregå under et forholdsvis kort tidsintervall, slik som nevnt ovenfor, idet optimal regulering av bremseeffekten har meget stor betydning. For hjulet 41 er det vist to hastighetsgivere 48 og 49 for hhv. hjulets rotasjonshastighet og kjøretøyets lineære hastighet i forhold til underlaget. Som tidligere beskrevet muliggjør dette en kontinuerlig beregning av slipphastigheten V_s , som eventuelt ved hensiktsmessig signalbehandling påtrykkes en reguleringsanordning 50 som en reguleringsparameter i denne. Resulterende regulering avgir et signal som traksjonspådrag, representert ved blokken 45, som igjen kan påvirke bremseeffekten for hjulet 41. Helt analogt eller komplementært kan en fremdriftseffekt ved akselerasjon reguleres på samme grunnlag.

Som angitt i patentkrav 5 vedrørende traksjonsregulering for et kjøretøy med pneumatiske gummi-hjul, skjer denne regulering med slipphastigheten V_s som reguleringsparameter, i henhold til relasjonen

$$\mu_{\max} \approx Ar(v, V_s) = K \left[e^{-W \frac{V_s}{v}} + W \frac{V_s}{v} - 1 \right]$$

under hele traksjonsprosessen, dvs. det tidsintervall som også er nevnt ovenfor, opprettholdes dermed en maskimal verdi av μ_{\max} .

Ved praktisk anvendelse til traksjonsstyring (bremsing eller fremdrift) kan det programmeres en måling som et første trinn i en bremsemanøver, for bestemmelse av bildekkets og veioverflate/bildekk-egenskapene. De dermed fremkomne prosessparametere settes inn i styreprogrammets matematiske modell for maksimalfriksjonen. Deretter kan bremsereguleringen fortsette etter et styringsprogram som anvender maksimal-funksjonens innflytelseskurve. Det innebærer at kraftmåling

ikke anvendes videre i traksjonsprosessen, inntil det eventuelt blir bestemt å gjøre en ny måling av prosessparametrene. Reguleringsanordningen sørger for at pådraget endres løpende på grunnlag av verdiene av de fysiske parametere for hjulet, og slipp hastigheten samt deres variasjon, i en slik retning at man oppnår den øyeblikkelige slipp hastighet som kjennetegner maksimalfriksjonen i henhold til maksimalfriksjonens innflytelseskurve.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for måling evt. regulering av friksjonsforhold ved samvirke mellom et pneumatisk kjøretøy-gummihjul og en overflate under rullebevegelse med slippbetingelser mellom hjulet og overflaten, omfattende sanntids-beregning av friksjonsforhold ved hjelp av friksjon/slippshastighets-relasjoner under et akselerasjons- eller retardasjons-tidsintervall for hjulets rullebevegelse i forhold til overflaten, kontinuerlig måling av at kjøretøyets lineære hastighet v i forhold til overflaten og hjulets rotasjonshastighet under det nevnte tidsintervall, og beregning av tilsvarende, varierende slippshastighet V_s ut fra målt lineær hastighet v og hjulets rotasjonshastighet samt hjulets radius, k a r a k t e r i s e r t v e d at måleverdier evt. reguleringsparametre beregnes i avhengighet av den varierende slippshastighet V_s og den lineære hastighet v på grunnlag av følgende relasjoner:

$$\mu_{\max} = -f + g \cdot \text{STDslope} - h \cdot A_r(v, V_s)$$

hvor μ_{\max} er maksimal-friksjonsverdien

STDslope er standardavvik for overflateteksturens helningsvinkler, målt f.eks. med en kjent målemetode,

$A_r(v, V_s)$ er virkelig eller samlet kontaktareal mellom hjulet og overflaten, som funksjon av hastighetene v og V_s ,

og

$$A_r(v, V_s) = \frac{D}{2-D} \frac{2\sigma r^2}{\pi G^{D-1} \eta} \left[e^{\frac{b\delta}{r} \frac{V_s}{v} + \frac{b\delta}{r} \frac{V_s}{v} - 1} \right] \left[\frac{L^{(1+D)} - l^{(1+D)}}{1+D} \right]$$

hvor D = fraktal dimensjon,

G = fraktal skaleringsfaktor

L	=	øvre bølgelengdegrense for et valgt antall sinuskurver
l	=	nedre bølgelengdegrense for et valgt antall sinuskurver
σ	=	spenningsfaktor for gummihjulet
τ	=	gummihjulets relaksjonsspektra
η	=	gummihjulets viskositet
δ	=	gummihjulets dumping-faktor
b	=	lengden av kontaktarealet mellom hjulet og overflaten
r	=	gummihjulets radius.

2. Fremgangsmåte ifølge krav 1,

k a r a k t e r i s e r t v e d valg av følgende tilnærmede tallverdier i relasjon (2):

$$f = 0,25 \quad \text{fortrinnsvis } f = 0,26$$

$$g = 0,015$$

$$h = 0,3 \quad \text{fortrinnsvis } h = 0,305.$$

3. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2 for måling av traksjonsegenskaper for pneumatiske kjøretøy-gummihjul ved samvirke med en fortrinnsvis horisontal overflate hvis friksjonsegenskaper er kjent,

k a r a k t e r i s e r t v e d

at maksimal-friksjonsverdien μ_{\max} måles, evt. på i og for seg kjent måte, under det nevnte tidsintervall, og

at en måleverdi K for traksjonsegenskapene beregnes på grunnlag av relasjonen

$$K = \frac{\mu_{\max} + f - g \text{STDslope}}{h} \left[e^{-W \frac{V_S}{V}} + W \frac{V_S}{V} - 1 \right]^{-1}$$

hvor

STDslope er kjent for vedkommende overflate

W er lik $b \cdot \delta / r$,

idet b og δ forutsettes kjent, eventuelt målt på forhånd.

4. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2 for måling av en

fortrinnsvis horisontal overflates friksjonsegenskaper ved samvirke med et gummi hjul hvis traksjonsegenskaper er kjent, karakterisert ved at maksimal-friksjonsverdien μ_{\max} og tilhørende kritisk slipp-hastighet V_{\max} måles, eventuelt på i og for seg kjent måte, under det nevnte tidsintervall med en første lineær kjøretøy-hastighet, at målingen av μ_{\max} og V_{\max} gjentas i det minste en gang med en lineær kjøretøy-hastighet som er forskjellig fra den første hastighet, og at måleverdier D og G for friksjonsegenskapene beregnes på grunnlag av relasjonen

$$A_r(v, V_s) = \frac{D}{(2-D) \cdot G^{(D-1)}} \cdot H \cdot M \left[\frac{L^{(1+D)} - l^{(1+D)}}{1+D} \right]$$

hvor

$$H = \frac{2\sigma\tau^2}{\pi\eta}$$

idet H er en konstant bestemt av gummi hjulets kjente egenskaper, og

$$M = \left[e^{\frac{b\delta}{r} \cdot \frac{V_s}{v} + \frac{b\delta}{r} \cdot \frac{V_s}{v} - 1} \right]$$

idet M er bestemt tildels av gummi hjulets kjente egenskaper og tildels av hastighetene v og Vs.

5. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2 for regulering av en traksjonsprosess (bremsing eller fremdrift) under det nevnte tidsintervall, i et kjøretøy med pneumatiske gummi hjul, ved hjelp av en reguleringsanordning som under påvirkning av reguleringsparametre styrer et traksjonspådrag (bremse- eller fremdriftseffekt) for oppnåelse av best mulige friksjonsforhold, og basert på at kjøretøy hjulenes traksjons-

egenskaper (K) er kjent, karakterisert ved at i det minste én reguleringsparameter avledes fortrinnsvis kontinuerlig av kjøretøyhastigheten V , og slipp hastigheten innreguleres kontinuerlig på grunnlag av relasjonen

$$\mu_{\max} \approx A_r(V, V_s) = K \left[e^{-W \frac{V_s}{V}} + W \frac{V_s}{V} - 1 \right]$$

for under hele det nevnte tidsintervall å opprettholde en maksimal verdi av μ_{\max} .

6. Apparat for måling evt. regulering av friksjonsforhold ved samvirke mellom et pneumatisk kjøretøy-gummihjul og en overflate under rullebevegelse med slippbetingelser mellom hjulet og overflaten, omfattende midler til sanntids-beregning av friksjonsforhold ved hjelp av friksjon/slipp hastighets-relasjoner under et akselerasjons- eller retardasjons-tidsintervall for hjulets rullebevegelse i forhold til overflaten, midler til kontinuerlig måling av kjøretøyets lineære hastighet v i forhold til overflaten og hjulets rotasjonshastighet under det nevnte tidsintervall og midler til beregning av tilsvarende, varierende slipp hastighet V_s , ut fra målt lineær hastighet v og hjulets rotasjonshastighet samt hjulets radius, karakterisert ved midler til beregning av måleverdier evt. reguleringsparametre i avhengighet av den varierende slipp hastighet V_s og den lineære hastighet v på grunnlag av følgende relasjoner:

$$\mu_{\max} = -f + g \cdot \text{STDslope} - h \cdot A_r(v, V_s)$$

hvor μ_{\max} er maksimal-friksjonsverdien

STDslope er standardavvik for overflateteksturens helningsvinkler, målt f.eks. med en kjent målemetode,

$A_r(v, V_s)$ er virkelig eller samlet kontaktareal mellom hjulet og overflaten, som funksjon av hastighetene v og V_s ,

og

$$A_r(v, V_s) = \frac{D}{2-D} \frac{2\sigma\tau^2}{\pi G^{D-1}\eta} \left[e^{-\frac{b\delta}{r} \frac{v_s}{v}} + \frac{b\delta}{r} \frac{V_s}{v} - 1 \right] \left[\frac{L^{(1+D)} - l^{(1+D)}}{1+D} \right]$$

- hvor D = fraktal dimensjon,
 G = fraktal skaleringsfaktor
 L = øvre bølgelengdegrense for et valgt antall sinuskurver
 l = nedre bølgelengdegrense for et valgt antall sinuskurver
 σ = spenningsfaktor for gummi hjulet
 τ = gummi hjulets relaksjonsspektra
 η = gummi hjulets viskositet
 δ = gummi hjulets dumping-faktor
 b = lengden av kontaktarealet mellom hjulet og overflaten
 r = gummi hjulets radius.

7. Apparat ifølge krav 6 for måling av traksjonsegenskaper for pneumatiske kjøretøy-gummi hjul ved samvirke med en fortrinnsvis horisontal overflate hvis friksjonsegenskaper er kjent,

k a r a k t e r i s e r t v e d midler til måling av maksimal-friksjonsverdien μ_{\max} evt. på i og for seg kjent måte, under det nevnte tidsintervall, og midler til beregning av en måleverdi K for traksjonsegenskapene på grunnlag av relasjonen.

$$K = \frac{\mu_{\max} + f - g \text{STDslope}}{h} \left[e^{-W \frac{v_s}{v}} + W \frac{V_s}{v} - 1 \right]^{-1}$$

hvor

STDslope er kjent for vedkommende overflate

W er lik $b \cdot \delta / r$,

idet b og δ forutsettes kjent, eventuelt målt på forhånd.

8. Apparat ifølge krav 6 for måling av en fortrinnsvis horisontal overflates friksjonsegenskaper ved samvirke med et gummi hjul hvis traksjonsegenskaper er kjent, k a r a k t e r i s e r t v e d midler til måling av maksimal-friksjonsverdien μ_{\max} og tilhørende kritisk slipphastighet V_{\max} eventuelt på i og for seg kjent måte, under det nevnte tidsintervall med en første lineær kjøretøy-hastighet, idet målingen av μ_{\max} og V_{\max} gjentas i det minste en gang med en lineær kjøretøy-hastighet som er forskjellig fra den første hastighet, og midler til beregning av måleverdier D og G for friksjonsegenskapene på grunnlag av relasjonen

$$A_r(v, V_s) = \frac{D}{(2-D)G^{(D-1)}} H M \left[\frac{L^{(1+D)} - l^{(1+D)}}{1+D} \right]$$

hvor

$$H = \frac{2\sigma r^2}{\pi \eta}$$

idet H er en konstant bestemt av gummi hjulets kjente egenskaper, og

$$M = \left[e^{\frac{b\delta}{r} \frac{V_s}{v} + \frac{b\delta}{r} \frac{V_s}{v} - 1} \right]$$

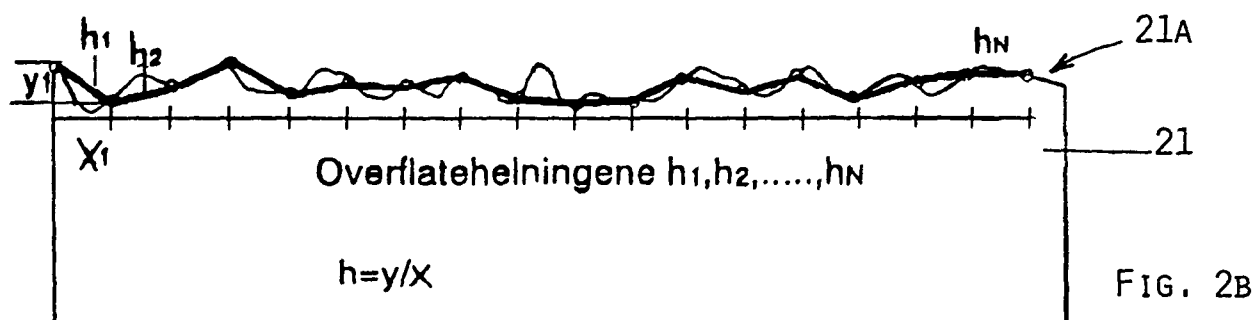
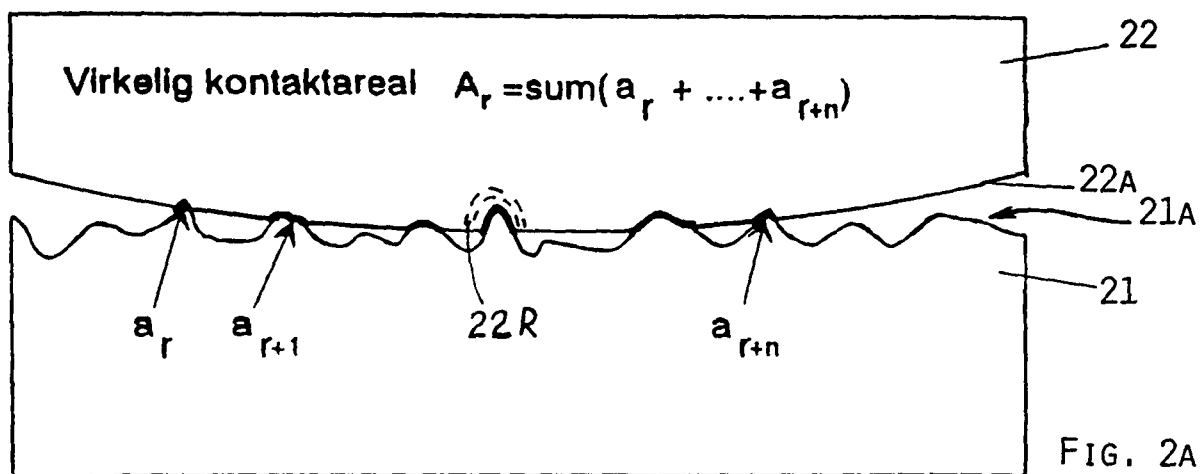
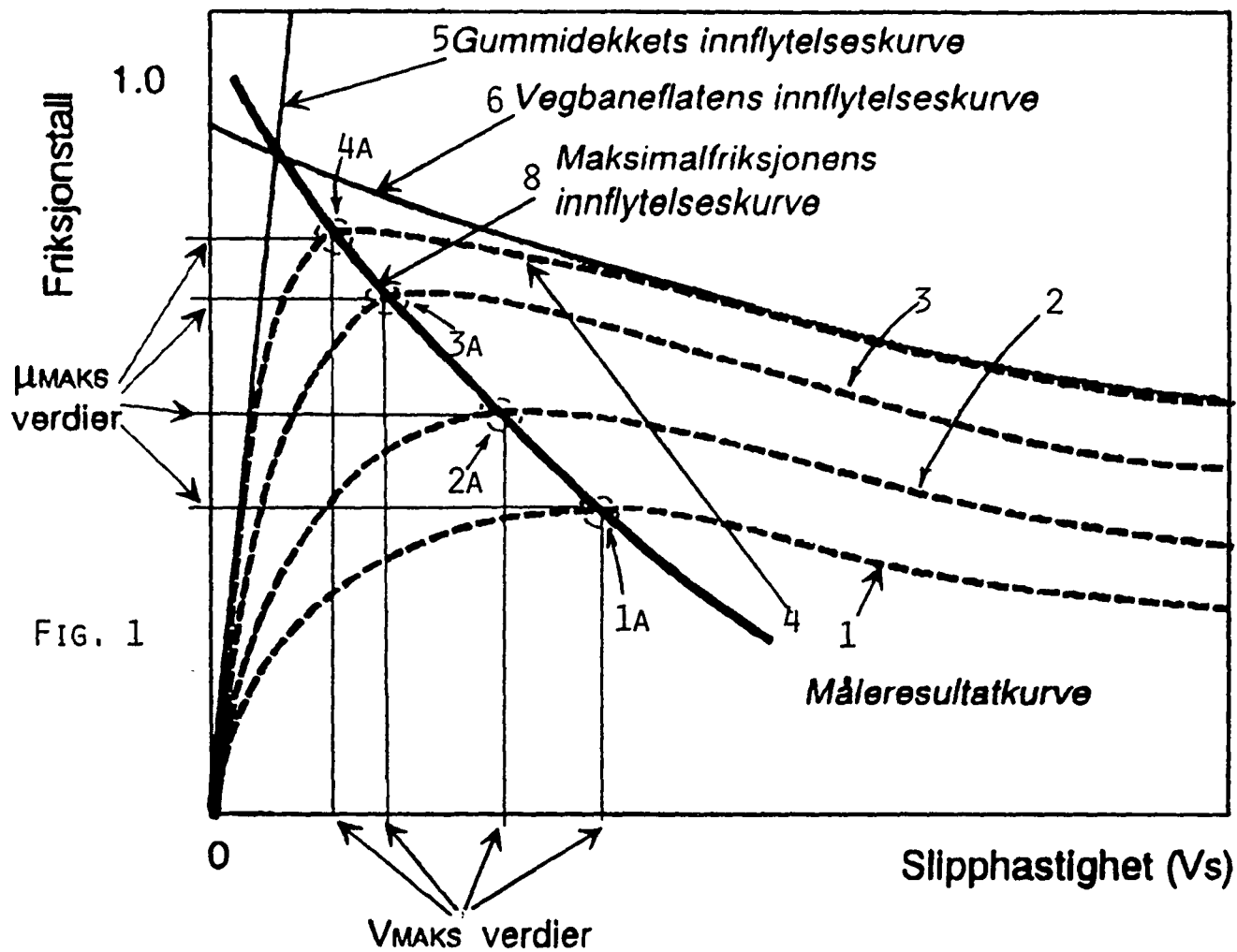
idet M er bestemt tildels av gummi hjulets kjente egenskaper og tildels av hastighetene v og V_s .

9. Apparat ifølge krav 6 for regulering av en traksjonsprosess (bremsing eller fremdrift) under det nevnte tidsintervall, i et kjøretøy med pneumatisk gummi hjul, omfattende en reguleringsanordning (50) som under påvirkning av reguleringsparametre styrer et traksjonspådrag (bremse- eller fremdriftseffekt) for oppnåelse av best mulige friksjonsforhold, og basert på at kjøretøyhjulenes traksjonsegenskaper (K) er kjent,

k a r a k t e r i s e r t v e d midler til å avlede i det minste én reguleringsparameter fortrinnsvis kontinuerlig av kjøretøyhastigheten V , og midler til kontinuerlig å innregulere V , på grunnlag av relasjonen

$$\mu_{\max} = Ar(v, Vs) = K \left[e^{-W \frac{Vs}{v}} + W \frac{Vs}{v} - 1 \right]$$

for under hele det nevnte tidsintervall å opprettholde en maksimal verdi av μ_{\max} .



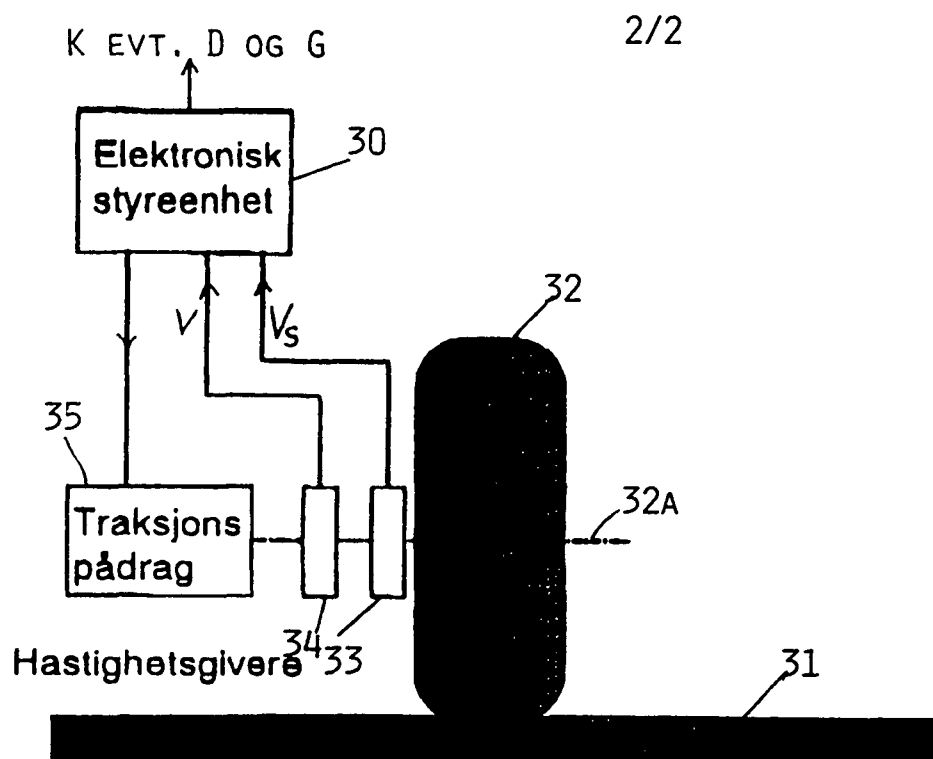


FIG. 3

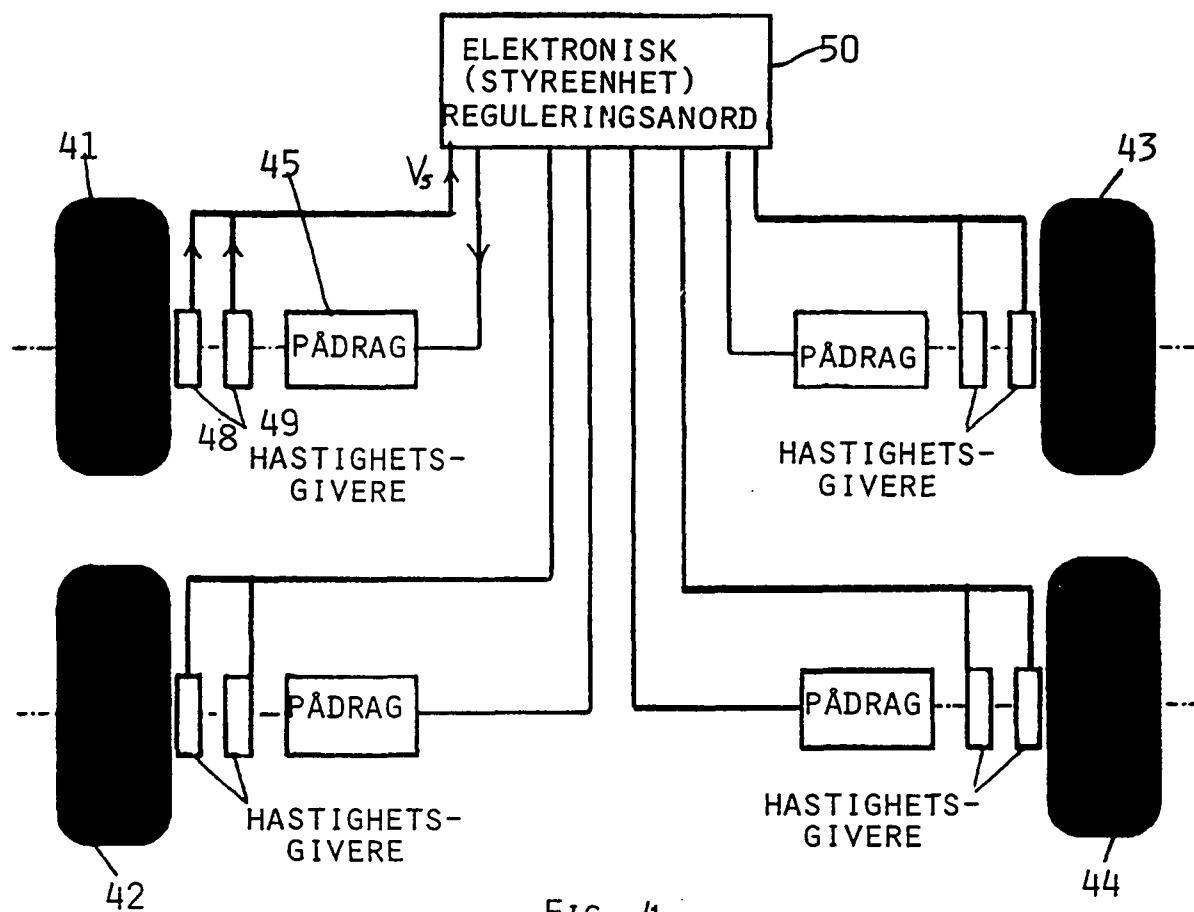


FIG. 4