(12) **PATENTTIJULKAISU**
PATENTSKRIFT

FI000116322B

(10) **FI 116322 B**

(45) Patentti myönnetty - Patent beviljats **31.10.2005**

(51) Kv.lk.7 - Int.kl.7

G01W 1/14

(21) Patenttihakemus - Patentansökning **20011876**

(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag **24.09.2001**

(24) Alkupäivä - Löpdag **24.09.2001**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig **25.03.2003**

SUOMI – FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

(73) Haltija - Innehavare

1 •**Vaisala Oyj,** PL 26, 00421 Helsinki, SUOMI - FINLAND, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1 •**Luukkala, Mauri,** Haukilahdenranta 23 B 5, 02170 Espoo, SUOMI - FINLAND, (FI)
2 •**Salmi,Atte,** Mailatie 14 F, 01280 Vantaa, SUOMI - FINLAND, (FI)
3 •**Ikonen,Jouni,** Servin-Maijan tie 10 C 38, 02150 Espoo, SUOMI - FINLAND, (FI)
4 •**Lönnqvist,Jan,** Otakuja 3 D 53, 02150 Espoo, SUOMI - FINLAND, (FI)
5 •**Turtiainen,Heikki,** Vataanjänne 2 A 4, 01730 Vantaa, SUOMI - FINLAND, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Seppo Laine Oy
Itämerenkatu 3 B, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Sade- ja raeanturi sekä menetelmä sateen mittaamiseksi
Regn- och hagelgivare samt förfarande för mätning av regn

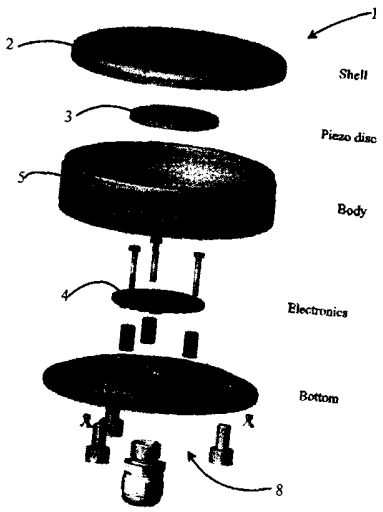
(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

DE 4434432 A1, EP 0360892 A1, EP 0422553 A1, FR 2595473 A1,JP 09101377 A, US 5421198 A

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Tässä julkaisussa on kuvattu sadeanturi (1) sekä menetelmä sateen ominaisuuksien mittaamiseksi. Anturi (1) käsittää rungon (5), runkoon (5) yhdistetyn sateen vastaanottavan pinnan (2), ilmaisuelimet (3) sadeimpulssin muuttamiseksi sähköiseksi signaaliksi. Keksinnön mukaan sateen vastaanottava pinta (2) on kupera, jäykkä ja kiinteästi yhdistetty runkoon (4), ja ilmaisuelimet (3) on kiinteästi kytketty sadetta vastaanottavaan pintaan (2).

Uppfinningen avser en regngivare och ett förfarande för regnmätning. Givaren omfattar exempelvis ett trattformat regnuppsamlingskärl (1) med en uppsamlingsände (2) för uppsamling av regn och en avloppsände (3), som till sitt tvärsnitt är mindre än uppsamlingsänden, för att leda vatten för mätning, samt en mätanordning (4) anordnad i närheten av avloppsänden (3) för mätning av regnmängden. Enligt uppfinningen omfattar mätanordningen (4) organ för bestämning av volymen av en enskild droppe.



Sade- ja raeanturi sekä menetelmä sateen mittaamiseksi

Keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 1 johdannon mukainen sade- ja raeanturi.

Keksinnön kohteena on myös menetelmä sateen mittaamiseksi.

Yleisimmin käytetyt sademittarit voidaan jakaa kahteen ryhmään:

1) Keräävät sademittarit, joissa vesi kerätään mitta-astiaan ja mitataan kertynyt vesimäärä punnitsemalla tai pinnankorkeuden perusteella.

2) Sadelaskuri-tyyppiset anturit, joissa on suppilomainen keräin ja sen alla pienitilavuuksinen mitta-astia. Mitta-astia on järjestetty tyhjentymään automaattisesti aina, kun siihen kertyy tietty määrä vettä (yksinkertaisimmin kiikkulauta-tyyppisellä mekanismilla). Mittarista saadaan pulssi aina kun mitta-astia tyhjenee, jolloin yksi pulssi vastaa tiettyä sademäärää, esim. 0,1 mm.

Näitten anturityyppien käyttöön liittyy mm. seuraavanlaisia ongelmia:

- Mitta-astian tyhjennyksestä aiheutuu joko ylimääräistä työtä (manuaalinen tyhjennys) tai kuollutta aikaa mittaukseen (automaattinen tyhjennys).
- Mitta-astiaan tai keräyssuppiloon kertyy helposti roskia, minkä vuoksi ne vaativat säännöllistä puhdistusta.
- Veden takertuminen mitta-astian reunoihin ja/tai sen haihtuminen keräysastiasta aiheuttavat merkittäviä mittausvirheitä.
- Sadelaskurin liikkuvat osat voivat juuttua likaantumisen tai esim. anturirakenteisiin päässeiden hyönteisten vuoksi.

Toimintaperiaatteeltaan erilainen, myös sademäärän mittaukseen soveltuva laite on ns. distrometri. Distrometri on mittalaite, joka mittaa sateen pisarakokojakautumaa. Mekaanisessa distrometrissa (ns. Joss-Waldvogel-distrometri) on kartiomainen ilmaisinlevy, joka on joustavasti ripustettu laiterunkoon siten, että siihen osuvat pisarat

poikkeuttavat sitä tasapainoasemastaan. Ilmaisinlevyn liike mitataan induktiivisesti mittauskelan avulla. Pisaroitten iskujen mittauskelaan synnyttämät jännitepulssit rekisteröidään ja niiden sekä empiiristen kalibrointikertoimien perusteella lasketaan yksittäisten pisaroitten massat ja pisarakokojakautuma. Pisarakokojakautumasta voidaan edelleen laskea sateen intensiteetti ja kertynyt sademäärä. Kalleutensa ja monimutkaisuutensa vuoksi mekaanista distrometria ei käytetä yleiskäyttöisenä sademittarina vaan ainoastaan meteorologisessa tutkimuksessa pisarakokojakauman mittaamiseen. Monimutkaisuus aiheutuu pääasiassa mittauskartion joustavasta kiinnityksestä laiterunkoon sekä tämän mekaanisen rakenteen aiheuttamasta hankalasta mittaustavasta voimatakaisinkytkentöineen.

Internet-sivuilla http://www.sensit.com/rain.htm on kuvattu sateen kineettisen energian mittari. Tässä mittarissa on kaksi pulssilähtöä, joista saadaan:

1) sadepartikkelien lukumäärä (liipaistaan, jos tietty signaalitaso ylittyy) ja
2) sadepartikkelien kineettinen energia, joka saadaan integroimalla pietsoanturin signaalia.

Kumpikin näistä suureista on riippuvainen sekä pisaran massasta että nopeudesta eikä niin ollen kelpaa sellaisenaan sademäärän mittariksi.

Laitteessa itsessään ei ole minkäänlaista älyä vaan se on toteutettu täysin laitteistokomponenteilla.

Keksinnön tarkoituksena on aikaansaada aivan uudentyyppinen sadeanturi, jonka avulla edellä kuvatut tunnetun tekniikan ongelmat on mahdollista ratkaista.

Keksintö perustuu siihen, että sade ja sen tyyppi ilmaistaan jäykkään, laiterunkoon kiinteästi kiinnitettyyn anturipintaan kytketyn kiihtyvyys- tai voima-anturin avulla. Keksinnön mukainen menetelmä puolestaan perustuu siihen, että voima-anturista saatavan signaalin muotoa arvioidaan kunkin sade- tai raepisaran aiheuttaman signaalimuodon osalta ja näin määritetään pisaran tilavuus tai lasketaan pisaroitten lukumäärä aikayksikköä kohti, tai vaihtoehtoisesti ilmaistaan sade raesateeksi.

Pisarakohtaisista mittausarvoista tai havaittujen pisaroitten lukumäärästä aikayksikössä määritetään sademäärä ja intensiteetti. Laskenta-algoritmi voidaan toteuttaa käyttäen pelkästään pisaroitten lukumäärätietoa, pelkästään pisarakokoon verrannollisten parametrien informaatiota tai molempia.

Pisarakohtaisten mittausarvojen perusteella voidaan määrittää myös pisarakokojakautuma.

Keksinnön mukaisesti tuulen aiheuttamaa virhettä sademäärässä ja intensiteetissä voidaan korjata erillisellä tuulivirheen korjausalgoritmilla.

Keksinnölle on tyypillistä myös se, että pisaroitten lukumäärän ja/tai pisaran aiheuttaman signaalin yhden tai useamman pisarakoosta riippuvan karakteristisen piirteen avulla muodostetaan havaittujen pisaroitten tilavuuteen verrannollinen signaali parametri, joita summaamalla voidaan laskea sademäärä ja intensiteetti.

Keksinnön yhden edullisen suoritusmuodon mukaisesti laskenta on integroitu mukaan laitteeseen siten, että lähtö on verrannollinen sademäärään/intensiteettiin.

Täsmällisemmin sanottuna keksinnön mukaiselle sadeanturille on tunnusomaista se, mikä on esitetty patenttivaatimuksen 1 tunnusmerkkiosassa.

Keksinnön mukaiselle menetelmälle puolestaan on tunnusomaista se, mikä on esitetty patenttivaatimuksen 11 tunnusmerkkiosassa.

Keksinnön avulla saavutetaan huomattavia etuja.

Keksinnön mukaisessa sadeanturissa ei ole liikkuvia osia. Perusratkaisussa ei ole tyhjennystä tai puhdistusta vaativaa keräysastiaa tai suppiloa, ei tukkeutuvia osia eikä takertumis- tai haihtumisvirhettä. Mittausperiaate on mekaanisen distrometrin kaltainen, mutta anturi on rakenteeltaan huomattavan yksinkertainen ja edullinen valmistaa.

Keksinnön mukaisella anturilla on myös se etu, että samalla anturilla voidaan mitata sademäärän lisäksi sateen intensiteetti ja tunnistaa rakeet.

Keksinnön yksi edullinen suoritusmuoto mahdollistaa korjauksen tekemisen tuulen aiheuttamiin mittausvirheisiin.

Keksintöä tarkastellaan seuraavassa esimerkkien avulla ja oheisiin piirustuksiin viitaten.

Kuvio 1 esittää "räjäytyskuvantona" yhtä keksinnön mukaista anturia.

Kuvio 2a esittää halkileikattuna sivukuvantona toista keksinnön mukaista anturia.

Kuviossa 2b on esitetty halkileikattuna yläkuvantona kuvion 2a mukaista ratkaisua.

Kuvio 3 esittää graafisesti vesipisaran aiheuttamaa impulssia keksinnön mukaisessa laitteistossa.

Kuvio 4 esittää graafisesti keksinnön mukaista kalibrointikäyrästöä.

Kuvio 5 esittää graafisesti rakeen aiheuttamaa impulssia keksinnön mukaisessa laitteistossa.

Kuvio 6 esittää keksinnön mukaista tuulenmittauslaitteistolla varustettua sadeanturia.

Kuvio 7 esittää graafisesti tuulen vaikutusta sademittaukseen.

Kuvio 8 esittää graafisesti tuulikorjauksen vaikutusta mittaustuloksiin.

Keksintö siis kohdistuu sademäärän tai –kertymän, pisarakokojakautuman ja sadeintensiteetin mittaamiseen. Seuraavassa määritelmät näille suureille:

Sademäärä tai -kertymä:
Sataneen vesimäärän vertikaalinen syvyys tasaisella pinnalla. Standardiyksikkö on mm.

Sateen intensiteetti:
Sadekertymä aikayksikköä kohti. Standardiyksikkö mm/h.

Pisarakokojakautuma:
Kunkin kokoisten pisaroiden lukumäärä tilavuusyksikössä ilmaa.

Kun mitataan sadekertymää, pyritään siis mittaamaan havaittujen pisaroitten yhteenlaskettu tilavuus pinta-alayksikköä kohden.

Aiemmin mainitussa tunnetun tekniikan mukaisessa sateen kineettisen energian mittauksessa summataan yksittäisten sadepisaroitten kineettiset energiat $E = \frac{1}{2} m v^2$.

Kuvion 1 mukaan anturi 1 koostuu ilmaisinpinnasta 2, johon hydrometeorit kuten sadepisarat ja/tai rakeet osuvat, detektorista 3, jolla havaitaan pintaan 2 osuvien pisaroitten synnyttämät pulssit ja mittauselektroniikasta 4 ja laskenta-algoritmista, joitten avulla lasketaan sateen intensiteetti (mm/h) sekä kumulatiivinen sademäärä (mm).

Ilmaisinpinta 2, joka on siis sadetta vastaanottava pinta on jäykkä ja kiinnitetty laiterunkoon 5. Kiinnitys voi olla täysin jäykkä tai toteutettu o-renkaan tai vastaavan joustavan liitoskappaleen avulla. Detektori 3 on tyypillisesti kiinteästi kiinnitetty ilmaisinpintaan 2. Laskenta tapahtuu käyttäen hyväksi tietoa rekisteröityjen pulssien lukumäärästä ja/tai jostakin pisarakoosta riippuvasta pulssin piirteestä kuten amplitudista tai puoliarvoleveydestä, tai näitten yhdistelmästä.

Ilmaisinpinta 2 on tasomainen, lautasmainen tai kupumainen (kalottipinta) ja muotoiltu siten, että vesi ei keräänny sen pinnalle. Detektorin 3 kiinnittämisen helpottamiseksi sen kiinnityskohta ilmaisinpinnassa 2 voi olla tasomainen. Mitä suurempi ilmaisimen pinta-ala on, sitä enemmän siihen osuu pisaroita ja sitä pienempi on lasketun sademäärän tilastollinen virhe. Toisaalta ilmaisimen pinta-alan kasvaessa tulee yhä enemmän osumia, joitten pulssit ovat päällekkäisiä, mikä vaikeuttaa tulosten tulkintaa.

Käytännössä sopivaksi ilmaisimen kooksi on todettu 20 - 150 cm^2. Ilmaisin voi koostua myös useammasta osasta, joista kuhunkin liittyy oma detektorinsa.

Detektori 3 mittaa pisaroitten aiheuttamaa ilmaisinpinnan deformaatiota. Detektorina 3 voidaan käyttää mm.

- ilmaisinpintaan kiinnitettyä voima- tai kiihtyvyysanturia,
- ilmaisinpinnalla olevaa paineherkkää kalvoa, kuten pietsosähköistä PVDF-muovikalvoa tai keraamista pietsosähköistä kalvoa.

Ideaalitapauksessa ilmaisinpinta-detektori-systeemin vaste on sellainen, etteivät pulssin amplitudi ja muoto riipu pisaran osumakohdasta, so. ilmaisinpinta on homogeeninen. Tämä ei ole kuitenkaan välttämätöntä, koska epähomogeeninen vaste aiheuttaa mittaukseen ainoastaan satunnaisvirheen, joka voidaan eliminoida käyttämällä riittävän pitkää integrointiaikaa.

Sademäärän ja intensiteetin laskenta rekisteröidyistä pulsseista voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Yksinkertaisimmillaan lasketaan vain pisaroitten lukumäärää, mutta anturin tarkkuus ja luotettavuus paranee jos käytetään hyväksi myös pulssien muotoon (esim. amplitudi tai puoliarvoleveys) sisältyvä informaatio. Tällöin laskenta on edullista toteuttaa käyttäen digitaalista signaalinkäsittelyä ja mikroprosessoria.

Kuvioissa 2a ja 2b on esitetty kuviolle 1 vaihtoehtoinen anturin 1 toteutus. Anturi 1 on sylinterimäinen rasia, jonka kansi 2 on ilmaisinpintana toimiva, loivasti kupera pyöreä metallikiekko, esim. 1 mm paksuista ruostumatonta terästä. Kansi 2 on liitetty reunoistaan jäykästi rasian runkoon 5 ja keskelle sitä, sen alapuolelle on kiinnitetty liimaamalla tai juottamalla keraaminen pietsoelementti 3. Pietsolementti on pietsosähköisestä keraamista valmistettu kiekko, joka on metalloitu molemmin puolin siten, että muodostuu kaksi elektrodia kiekon vastakkaisille puolille. Tässä sovelluksessa pietsoelementti 3 toimii pisaroitten osumia havaitsevana voima-anturina.

Pietsoelementin 3 elektrodit on kytketty elektroniseen vahvistimeen 4, joka on sijoitettu anturirasian sisään. Vahvistettu mittaussignaali viedään anturirasian pohjan 8 läpi kulkevalla kaapelilla laskentaa hoitavalle laitteelle. Vaihtoehtoisesti koko mittaus- ja laskentaelektroniikka voi olla sijoitettu anturirasian sisään, jolloin lähtönä on sademäärä- ja/tai intensiteettitiedon sisältävä digitaalinen tai analoginen mittausviesti.

Osuessaan ilmaisinpintaan 2 sadepisara kohdistaa siihen voiman, joka välittyy edelleen pietsoelementtiin 3 ja havaitaan sen yli syntyvänä jännitepulssina. Kuvun 2 materiaali ja dimensiot on valittu siten, että vesipisaran aiheuttama värähtely vaimenee nopeasti. Pulssimuoto on tällöin kuvion 3 kaltainen.

Pietsoelementiltä 3 saatavat jännitepulssit suodatetaan, vahvistetaan ja halutut pisarakokoon verrannolliset parametrit mitataan ja tallennetaan laskentaa tekevän prosessorin muistiin.

Sateen intensiteetti ja sademäärä voidaan laskea mittausdatasta usealla tavalla.

Seuraavassa esitetään kaksi mahdollista menetelmää.

Menetelmä 1:

Laskentaa tehdään käyttäen kiinteää aika-askelta, jonka pituus on tyypillisesti 1 - 10 minuuttia. Mittausjakson aikana havaituista pulsseista mitataan parameterit x_j (voi olla puoliarvoleveys ($w_{½}$), huipusta huippuun-jännite (V_{pp}), pulssien lukumäärä tai muu pulssille ominainen parametri tai niiden yhdistelmä) ja talletetaan prosessorin muistiin. Kunkin jakson lopussa lasketaan estimaatti sen aikana kertyneelle sademäärälle ΔP käyttäen lauseketta

$$\Delta P = f(m, x_{11}, \ldots, x_{1n}, x_{21}, \ldots, x_{2n}, \ldots x_{m1}, \ldots, x_{mn}) \quad (1),$$

missä

m = mittausjaksossa havaittujen pisaroitten lukumäärä

n = laskennassa käytettyjen pulssille ominaisten parametrien lukumäärä

x_{ij} = pisaran i aiheuttaman pulssin parametrin j arvo. j:n arvot voidaan koodata esim. seuraavasti: 1=puoliarvoleveys ($w_{½}$), 2=huipusta huippuun-jännite (V_{pp}), 3=pulssien lukumäärää, 4=muu pulssille ominaista parametri, 5=yhdistelmä edellisistä. Puoliarvoleveys $w_{½}$ tarkoittaa pulssin leveyttä positiivisen pulssin keskikohdalla (= $½*V_{max}$).

Funktio f kuvaa kokeellisesti määritettyä riippuvuutta mitattujen parametrien ja sademäärän välillä.

Kumulatiivinen sademäärä P saadaan summaamalla peräkkäisten mittausjaksojen sademäärät. Sateen keskimääräinen intensiteetti mittausjakson aikana R voidaan tarvittaessa laskea lausekkeesta

$$R = \Delta P / t \qquad (2).$$

Tämä menetelmä on erityisen käyttökelpoinen silloin, kun halutaan mitata samanaikaisesti sekä sademäärää että intensiteettiä.

Menetelmä 2:

Laskenta tehdään reaaliaikaisesti siten, että se käynnistyy kun ensimmäinen sadepisara havaitaan. Kustakin havaitusta pisarasta mitataan parameterit x_j (voi kuvion 3 mukaisesti olla puoliarvoleveys $w_{½}$, huipusta huippuun-jännite V_{pp}, huippujännite V_{max}, minimijännite V_{min}, pulssien lukumäärä tai muu pulssille ominainen parametri tai niiden yhdistelmä) ja lasketaan kumulatiivista sademäärää P seuraavasti:

$$P = \Sigma_i [f(\Delta t_i, x_{i1}, \ldots, x_{in})] \qquad (3),$$

missä indeksi i = 1,2,... viittaa mittauksen aikana havaittuihin yksittäisiin pisaroihin, Δt_i on aika havaitun ja sitä edeltäneen pisaran välillä, ja funktio f kuvaa kokeellisesti määritettyä riippuvuutta mitattujen parametrien ja sadepisaran tilavuuden välillä.

Tätä menetelmää käyttäen voidaan helposti toteuttaa pulssilähtöinen anturi: aina kun kumulatiivinen sademäärä on kasvanut asetetun askeleen verran lähetetään yksi pulssi. Anturin lähtö on tällöin tipping bucket - anturien kaltainen pulssilähtö ja siten suoraan liitettävissä yleisimpiin sääasemissa käytettyihin tiedonkeruulaitteisiin.

Kuvatun anturin ja laskentamenetelmän tarkkuus riippuu oleellisesti anturin kalibroinnin tarkkuudesta. Kalibrointiparametrit, so. lausekkeisiin (1) ja (3) sisältyvät vakiotermit määritetään kokeellisesti vertaamalla anturia tarkkaan referenssianturiin laboratorio- tai todellisissa käyttöolosuhteissa esim. regressioanalyysiä käyttäen. Esimerkki kalibrointidatasta on esitetty kuviossa 4.

Rakeitten havainnointi on tärkeää mm. lentokentillä. Ennestään tunnettu on raedetektori, joka koostuu lautasmaisesta metallilevystä ja sen alle sijoitetusta mikrofonista. Rakeet tunnistetaan niiden aiheuttaman äänen perusteella. Detektorin haittapuolena on herkkyys häiriööänille, minkä vuoksi se soveltuu lähinnä täydentäväksi anturiksi optisiin vallitsevan sään mittalaitteisiin, kuten on esitetty patentissa US5528224.

Seuraavassa kuvataan menetelmä, jolla rakeitten tunnistus voidaan tehdä luotettavammin ja vähentää häiriöäänten vaikutusta. Rakeen tunnistus voidaan liittää lisäpiirteenä edellä kuvattuun sadeanturiin, tai voidaan tehdä pelkästään rakeitten detektointiin tarkoitettu anturi.

Rakeitten ja vesipisaroitten erottaminen perustuu siihen, että niiden aiheuttamat signaalit ovat hyvin erilaisia. Kiinteän kappaleen kuten rakeen törmäys ilmaisinpintaan on kimmoisa, jolloin ensinnäkin pulssin nousuaika on nopeampi ja toiseksi sen amplitudi suurempi verrattuna vesipisaran aiheuttamaan pulssiin. Kolmas ero on se, että rakeen törmäys herättää kuvun 2 resonanssitaajuudet ja kupu 2 jää värähtelemään törmäyksen jälkeen. Erot ovat selvästi havaittavissa kun verrataan kuviossa 5 esitettyä kiinteän partikkelin aiheuttamaa pulssia kuvion 3 vesipisaran pulssiin.

Edellä kuvattu sadeanturi ei ole herkkä ilman kautta tuleville häiriöäänille, koska ilmaisinelementti ei kytkeydy suoraan ilmaan, toisin kuin mikrofoni.

Rakeen tunnistus voi siten perustua jonkin karakteristisen piirteen - amplitudin, nousuajan tai värähtelytaajuuden - tai näitten yhdistelmän havaitsemiseen. Mittauksen luotettavuus kasvaa ja häiriöäänten aiheuttamat väärät havainnot minimoituvat, kun käytetään usean piirteen yhdistelmää.

Tuuli on merkittävä virhelähde sademittauksissa, jotka on toteutettu suojaamattomilla antureilla. Aina 0-30% virheitä on raportoitu. Virheen suuruus on riippuvainen tuulen nopeudesta, sateen intensiteetistä ja sateen tyypistä.

Erilaisia tuulen aiheuttaman virheen korjausmenettelytapoja on esitetty. Mikäli sade ja tuulidata mitataan samalta alueelta, tuulen aiheuttamaa virhettä mitattuun sateen intensiteettiin voidaan vähentää käyttämällä sopivaa korjausalgoritmia.

Kaikki tunnetut järjestelmät käyttävät tuuli-informaatiota, joka on mitattu selvästi eri paikasta kuin sade-informaatio. Tämä on seurausta siitä, tuuli-informaatio mitataan tyypillisesti muutaman metrin korkeudelta maan pinnasta kun taas sateen mittaus tyypillisesti tapahtuu olennaisesti maan pinnan tasalla ja ainakin useiden metrien päässä tuulianturista. Niinpä korjauksessa käytetty tuuli-informaatio ei täysin vastaa sateen mittauspaikan todellisia tuuliolosuhteita. Nykyiset menetelmät eivät myöskään toimi reaaliaikaisesti, vaan tuulikorjaustieto saadaan periodeittain jälkikäteen, tyypillisesti kuukauden, viikon, päivän tai 12 tunnin periodeissa.

Seuraavassa kuvataankin keksinnön mukainen menetelmä, jolla voidaan poistaa edellä kuvatut tunnetun tekniikan puutteet. Menetelmä perustuu pääasiallisesti seuraaviin seikkoihin:

- Käytetään tuulivirheen korjausalgoritmia, joka hyödyntää tuulitietoa, joka on mitattu suoraan sade-anturin kohdalta tai ainakin sen välittömästä läheisyydestä. Välittömällä läheisyydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä yhtä metriä lyhyempää

matkaa sadeanturista. Edullisesti välimatka on alle 30 cm, jolloin tuulimittari voidaan helposti integroida samaan mittalaitekokonaisuuteen.

- Algoritmin aikaskaala voidaan valita vapaasti. Myös reaaliaikainen korjaus on mahdollinen.
- Algoritmi sopii kaikille sadeanturityypeille riippumatta niiden toimintaperiaatteesta.

Korjauskertoimen yleinen muoto on

$$k = Rtr/R = f(w,R) \quad (4)$$

jossa Rtr on todellinen sateen määrä, k korjauskerroin, w tuulen nopeus, R mitattu sateen määrä ja f kokeellisesti määritetty funktio, joka kuvaa korjauskertoimen riippuvuutta tuulen nopeudesta ja sateen intensiteetistä. Korjauksen aikaskaala määritellään sillä ajanjaksolla, jota käytetään suureiden R ja w laskemiseen kaavassa (4).

Korjattu sademäärä saadaan kertomalla mitattu sademäärä kertoimella k. . Samaa korjausmenettelyä voidaan käyttää erilaisille anturityypeille, joskin funktion f(w,R) muoto vaihtelee.

Käytännössä korjauskertoimen riippuvuus sademäärästä R ja tuulen nopeudesta w, so. funktio f(w,R) määritetään kokeellisesti käyttäen kahta samankaltaista sadeanturia. Näistä toinen on suojattu tuulelta mahdollisimman hyvin, jolloin sen mittaustulos edustaa tuulivirheetöntä sademäärää Rtr. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää Rtr:n mittaamiseen erillistä tuulelta suojattua vertailuanturia. Toinen sadeanturi on sijoitettu tuulelle alttiiksi ja sen mittaustulos R sisältää tuulivirheen. Jälkimmäisen sadeanturin välittömään läheisyyteen on sijoitettu tuulianturi, jolla mitataan tuulen nopeus w. Kaavan (4) funktio f(w,R) voidaan nyt määrittää esimerkiksi käyttäen epälineaarista regressiomentelmää kokemusperäisestä mittaustiedosta.

Kuvion 6 mukaisesti mittausalueen ympärille järjestetään ultraäänimittaukseen perustuva tuulenmittausjärjestelmä. Järjestelmässä on tyypillisesti kolme

ultraäänilähetin-vastaanotinta 9 ja tuulen nopeuden suunta ja voimakkuus määritetään ultraääni-lähetin-vastaanottimien 9 välisten kulkuaikojen perusteella. Tätä tekniikkaa on tarkemmin kuvattu mm. US-patentissa 5,343,744. Näin tällä uudella tavalla tuuli voidaan mitata käytännössä samalla alueella sateen mittauksen kanssa. Tunnetuissa ratkaisuissa sadeanturi sijoitetaan lähelle maan pintaa kun taas tuulenmittaus tapahtuu useiden metrien korkeudessa ja näin kaukana sateen mittauspaikasta. Keksinnön tälle suoritusmuodolle on siis tunnusomaista tuulen ja sateen mittausalueen sijoittaminen mahdollisimman lähelle toisiaan, käytännössä molempien suureiden mittaamiseen olennaisesti samasta paikasta. Tuulen mittaamiseen voidaan käyttää ultraäänimittauksen sijasta muitakin menetelmiä kuten esimerkiksi termisiä menetelmiä, joissa mitataan pitkänomaisten, oleellisen vertikaalisten elementtien lämpötilaa näiden eri puolilla, jolloin tuulen tulosuunnan puoleinen osa mittauselementissä on tyypillisesti viilein.

Kuviossa 7 on esitetty korjauskerroinkäyrät eri tuulennopeusluokille. Jokainen datapiste edustaa sademäärää, joka on kerätty 10 minuutin mittausjakson aikana. Korjauskäyrät on sovitettu kokemusperäiseen tietoon käyttäen epälineaarista regressiomenetelmää.

Kuviossa 8 on esitetty korjatut ja korjaamattomat kertyneet sademääräarvot kahdelle sadeanturille 10-päiväisen mittausperiodin ajalta. Anturit olivat samanlaisia, mutta toinen oli asennettu kahden metrin korkeudelle alttiiksi tuulelle, toinen taas maan pinnan tasolle tuulelta suojattuun paikkaan. Kahden metrin korkeuteen sijoitetulle anturille aiheutui tuulen vaikutuksesta systemaattinen mitattua sademäärää vähentävä virhe maan pinnalle sijoitettuun anturiin nähden. Niinpä ylemmälle sijoitetun anturin lukemaa tuli korjata. Niinpä esitetyllä algoritmilla voidaan parantaa maan pinnan yläpuolelle sijoitettujen anturien mittaustarkkuutta.

Keksinnön mukaisen ratkaisun täydentäminen keräävällä sademittarilla lisää keksinnön käyttökelpoisuutta. Järjestelmä voi käsittää kaksi samanlaista anturia, joista toisen päällä olisi keräävä suppilo. Suppilolla varustettu anturi antaisi mittausinformaatiota myös heikoilla sateilla. Tätä järjestelyä voitaisiin käyttää myös diagnostiikkaan, jolloin esimerkiksi suppilolla varustetun anturin tukkeutuminen näkyisi tämän anturin pienempänä sademääränä kovemmilla sadeintensiteeteillä.

Suppilo on mahdollista tehdä myös lämmitettäväksi. Erityisesti lumisateen tapauksessa lämmitetyn suppilon käsittävä keräävä mittari antaisi myös tällöin tiedon sademäärästä ja lumisateen vesiarvosta.

5

Patenttivaatimukset:

1. Sadeanturi (1) sateen ominaisuuksien mittaamiseksi, joka anturi (1) käsittää

- rungon (5),
- runkoon (5) yhdistetyn, olennaisen jäykän hydrometeoreja vastaanottavan pinnan (2),
- ilmaisuelimet (3) hydrometeorien aiheuttamien impulssien muuttamiseksi sähköiseksi signaaliksi,

tunnettu siitä, että

- hydrometeorit vastaanottava pinta (2) on liitetty reunoistaan jäykästi runkoon (5) ja pinta (2) on ainakin osittain kupera, ja
- ilmaisuelimet (3) on kiinteästi kytketty hydrometeoreja vastaanottavaan pintaan (2).

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen sadeanturi, **tunnettu** siitä, että sadetta vastaanottavan pinnan välittömään läheisyyteen on sijoitettu tuulenmittausjärjestelmä (9).

3. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen sadeanturi, **tunnettu** siitä, että tuulenmittausjärjestelmässä antureita (9) on kolme.

4. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen sadeanturi, **tunnettu** siitä, että anturit (9) ovat ultraääniantureita, joiden avulla äänen kulkuaikaviive on mitattavissa.

5. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen sadeanturi, **tunnettu** siitä, että tuulianturit (9) ovat termisiä tuuliantureita.

6. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen sadeanturi, **tunnettu** siitä, että sadetta vastaanottava pinta (2) on kalottipinta.

7. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen sadeanturi, **tunnettu** siitä, että sadetta vastaanottavan pinnan (2) yläosa on tasomainen.

8. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen sadeanturi, **tunnettu** siitä, että sadetta vastaanottavan pinnan (2) yläpuolelle on sijoitettu keräysyksikkö, esimerkiksi suppilo.

9. Sadeanturijärjestelmä, **tunnettu** siitä, että se käsittää kaksi jonkin edellisen vaatimuksen mukaista anturia, joissa toinen on varustettu keräävällä suppilolla.

10. Vaatimuksen 9 mukainen järjestelmä, **tunnettu** siitä, että keräävä suppilo on lämmitetty.

11. Menetelmä sateen ominaisuuksien mittaamiseksi, jossa menetelmässä

- mitataan hydrometeorikohtaisesti sadetta,
- muodostetaan hydrometeorikohtaisesti mitatusta tiedosta sadetta kuvaavaa informaatiota,

tunnettu siitä, että

- sadetta mitataan käyttäen hydrometeorien iskujen aiheuttamaa ilmaisinpinnan elastista deformaatiota

- yksittäisten signaalien informaation perusteella päätellään ovatko havaitut hydrometeorit rakeita.

12. Vaatimuksen 11 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että deformaatiota mittaava anturi (3) on yhdistetty välittömästi ilmaisinpintaan (2).

13. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että tuulta mitataan ainakin olennaisesti samassa paikassa sateen mittauksen kanssa.

14. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että tuulta mitataan ultraäänimenetelmällä.

15. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että tuulta mitataan termisellä menetelmällä.

16. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että sadetta mitataan myös toisella anturilla, joka on varustettu keräävällä suppilolla, ja mittaustulos muodostetaan yhdistämällä molempien anturien lukemat.

Patentkrav:

1. En regngivare (1) för mätning av egenskaperna hos regn, vilken givare (1) omfattar

- en stomme (5),
- en till stommen (5) ansluten, väsentligen styv yta (2), som mottar hydrometeorer,
- detekteringsorgan (3) för att konvertera de impulser som åstadkommits av hydrometeorerna till en elektrisk signal,

kännetecknad av att

- den hydrometeormottagande ytan (2) vid sina kanter är styvt ansluten till stommen (5) och ytan (2) är åtminstone delvis konvex, och
- detekteringsorganen (3) är stationärt kopplade till den hydrometeormottagande ytan (2).

2. Regngivare i enlighet med patentkrav 1, **kännetecknad** av att i omedelbar närhet av den regnmottagande ytan är ett vindmätningssystem (9) anordnat.

3. Regngivare i enlighet med något av de föregående patentkraven, **kännetecknad** av att vindmätningssystemet uppvisar tre givare (9).

4. Regngivare i enlighet med något av de föregående patentkraven, **kännetecknad** av att givarna (9) utgörs av ultraljudsgivare, med vilkas hjälp ljudets propageringsfördröjning kan mätas.

5. Regngivare i enlighet med något av de föregående patentkraven, **kännetecknad** av att vindgivarna (9) utgörs av termiska vindgivare.

6. Regngivare i enlighet med något av de föregående patentkraven, **kännetecknad** av att den regnmottagande ytan (2) utgörs av en kalottyta.

7. Regngivare i enlighet med något av de föregående patentkraven, **kännetecknad** av att den regnmottagande ytans (2) övre parti är plant.

8. Regngivare i enlighet med något av de föregående patentkraven, **kännetecknad** av att ovanför den regnmottagande ytan (2) är en uppsamlingsenhet, t.ex. en tratt, anordnad.

9. Ett regngivarsystem, **kännetecknat** av att det omfattar två givare i enlighet med något av de föregående patentkraven, varvid den ena är utrustad med en uppsamlande tratt.

10. System i enlighet med patentkrav 9, **kännetecknat** av att den uppsamlande tratten är uppvärmd.

11. Förfarande för mätning av egenskaperna hos regn, vid vilket förfarande

- regn mäts hydrometeorspecifikt,
- från den hydrometeorspecifikt mätta informationen bildas regnbeskrivande information,

kännetecknat av att

- regn mäts under användning av den av hydrometeorernas slag åstadkomna elastiska deformation hos en detektoryta,

- på basis av informationen från de enskilda signalerna, fastställs huruvida de observerade hydrometeorerna utgörs av hagel.

12. Förfarande i enlighet med patentkrav 11, **kännetecknat** av att en deformationsmätande givare (3) är ansluten omedelbart till detektorytan (2).

13. Förfarande i enlighet med något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att vinden mäts åtminstone väsentligen på samma plats som regnet mäts.

14. Förfarande i enlighet med något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att vinden mäts medelst ett ultraljudsförfarande.

15. Förfarande i enlighet med något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att vinden mäts medelst ett termiskt förfarande.

16. Förfarande i enlighet med något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att regn mäts även medelst en andra givare, som är försedd med en uppsamlande tratt, och mätresultatet bildas genom att kombinera de bägge givarnas avlästa värden.

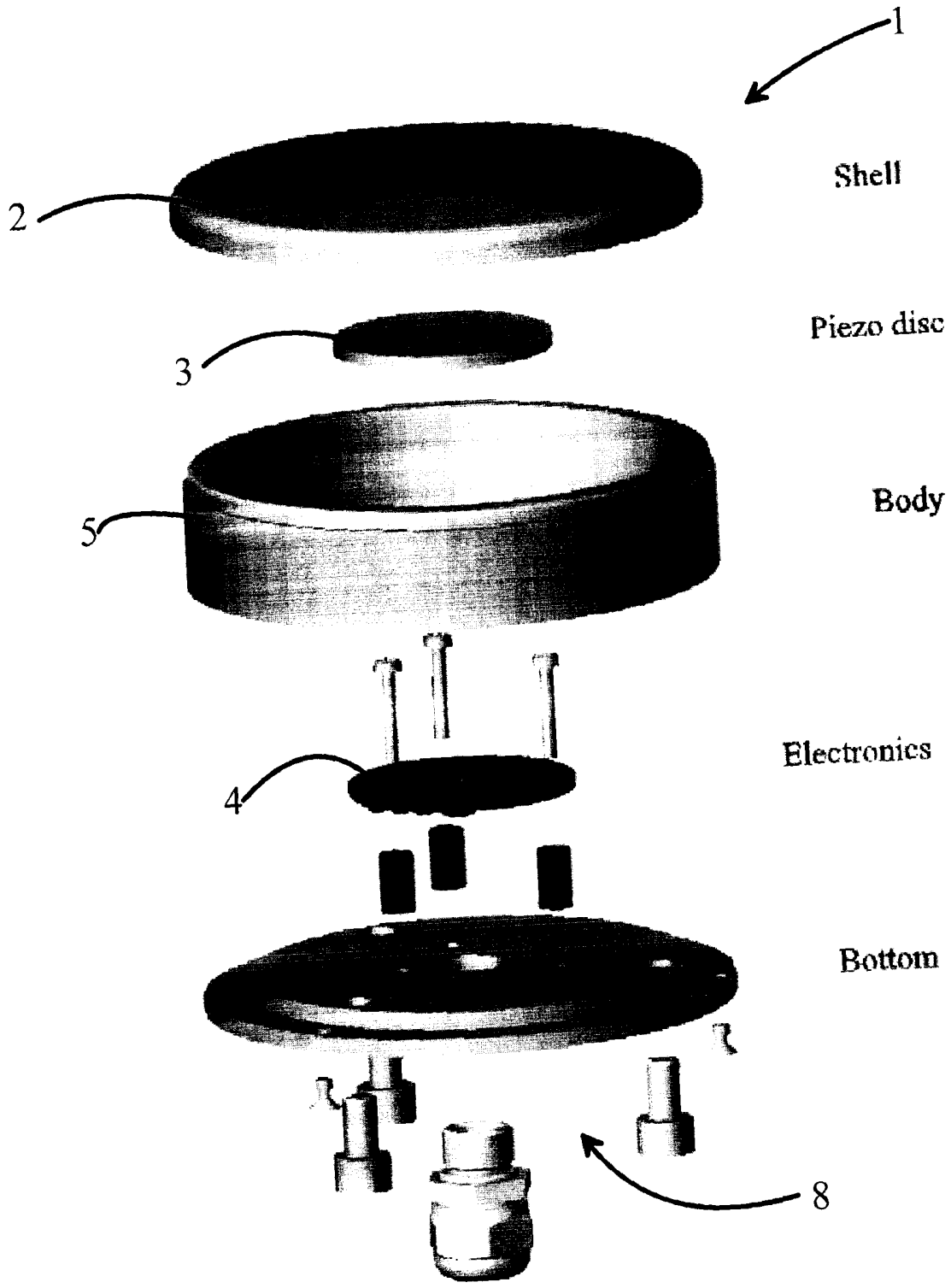


Fig. 1

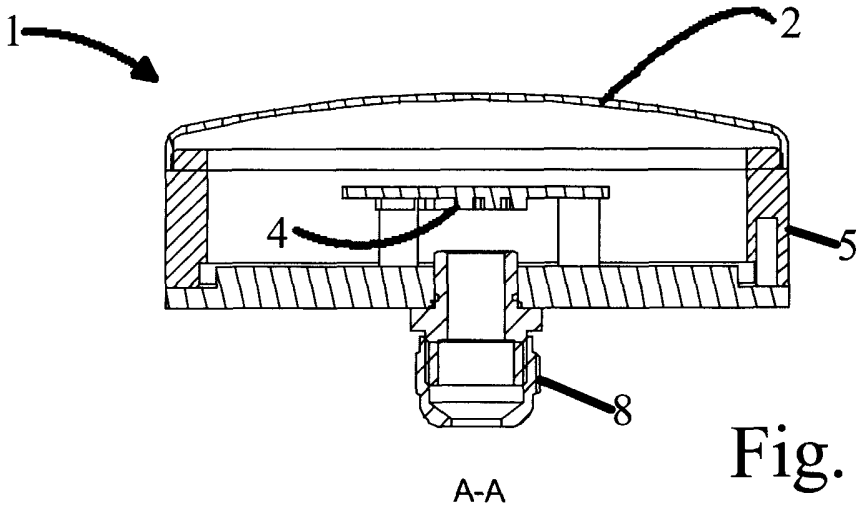


Fig. 2a

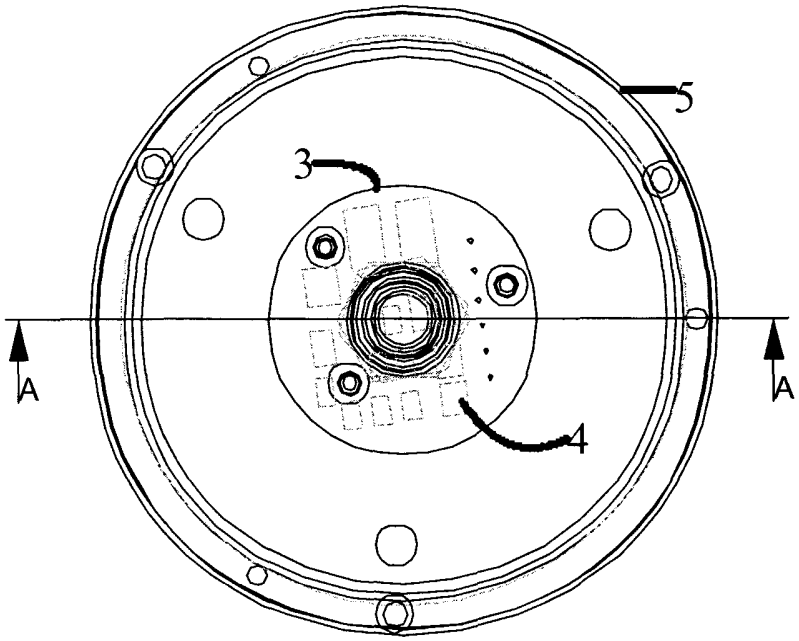


Fig. 2b

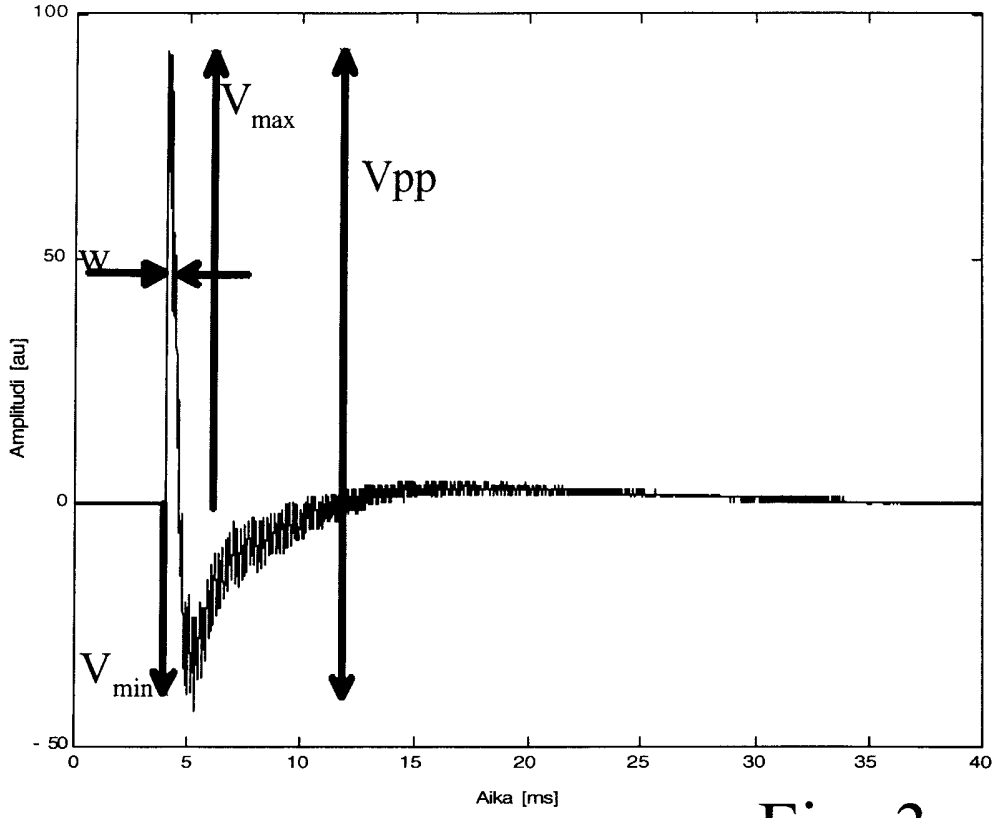

100
50
0
- 50
Amplitudi [au]
0
5
10
15
20
25
30
35
40
Aika [ms]
V max
Vpp
W
V min

Fig. 3

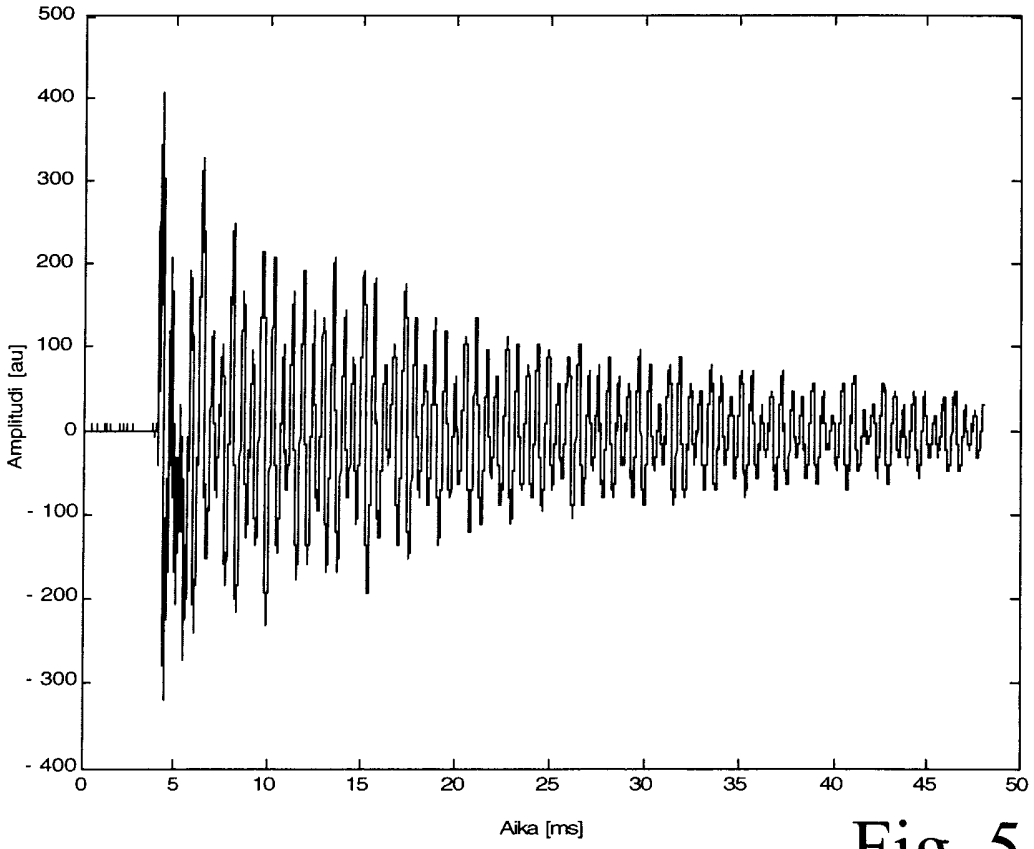

500
400
300
200
100
0
- 100
- 200
- 300
- 400
Amplitudi [au]
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
Aika [ms]

Fig. 5

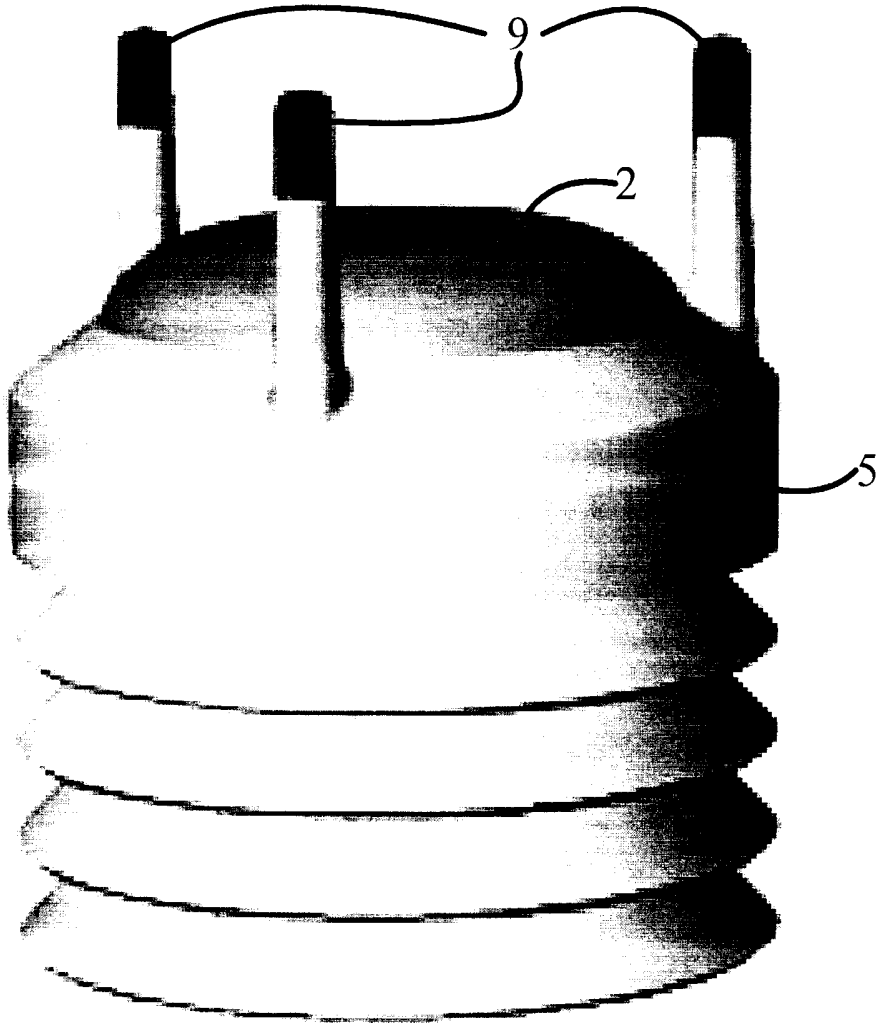


Fig. 6

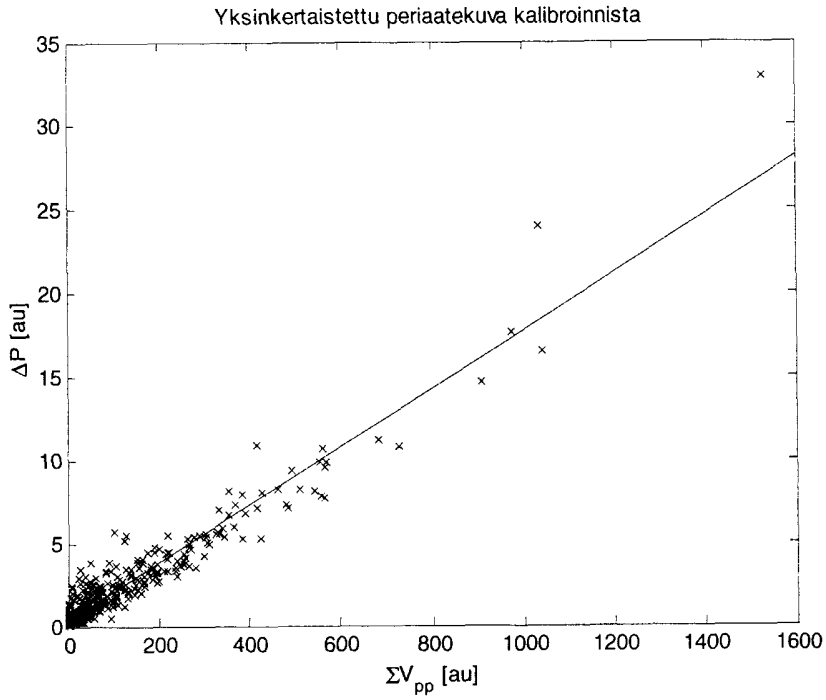

Yksinkertaistettu periaatekuva kalibroinnista
ΔP [au]
ΣV_pp [au]
0
5
10
15
20
25
30
35
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600

Fig. 4

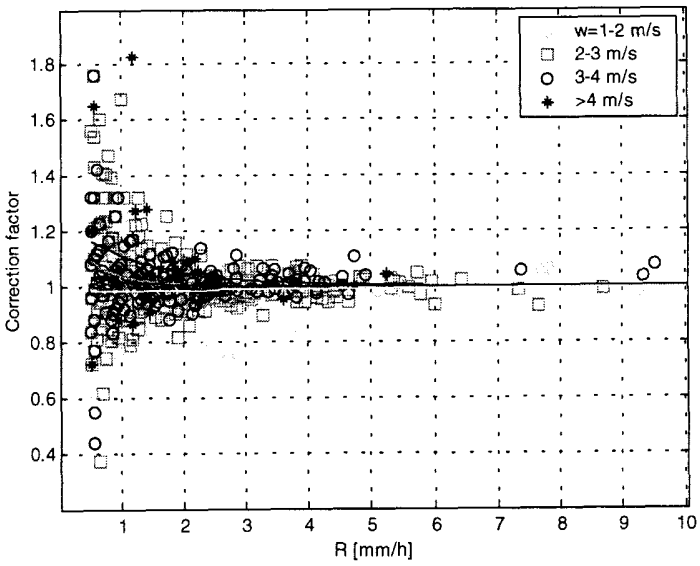

w=1-2 m/s
2-3 m/s
3-4 m/s
>4 m/s
Correction factor
R [mm/h]
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Fig. 7

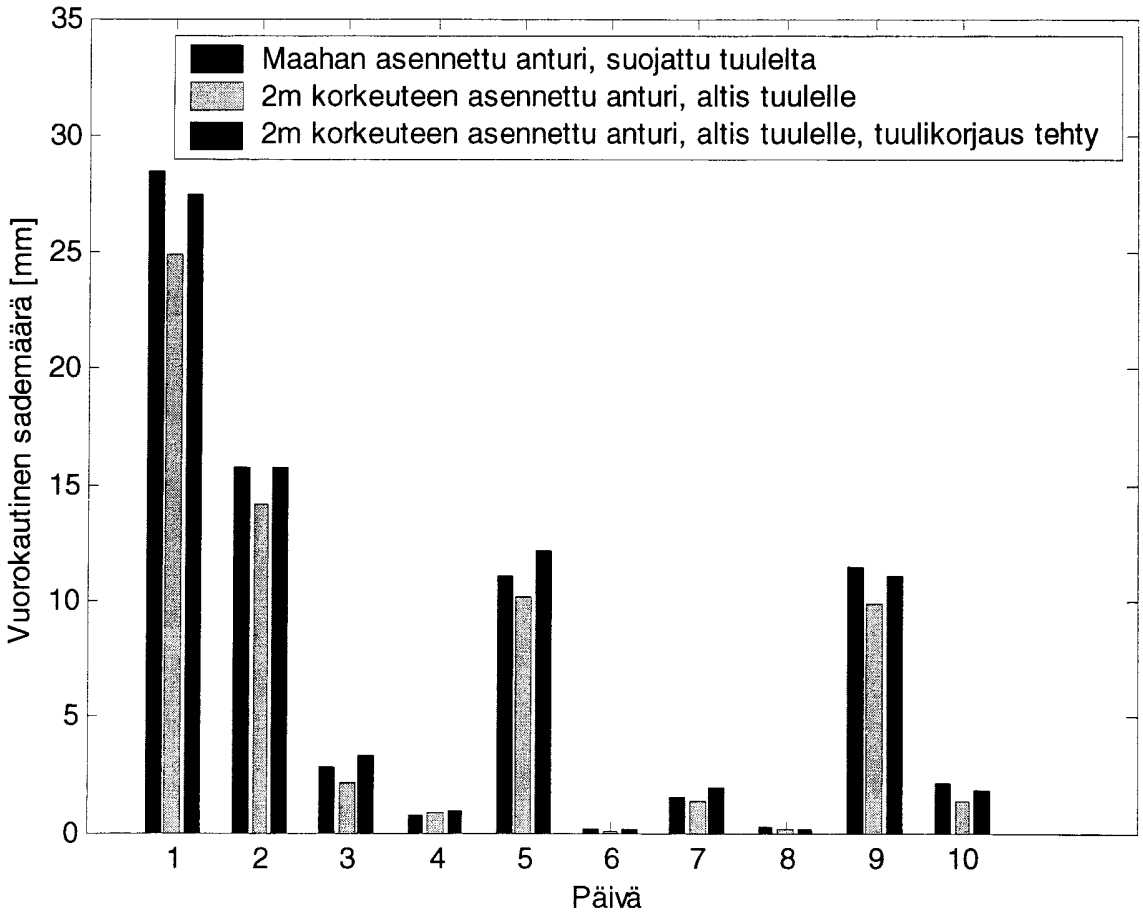

Maahan asennettu anturi, suojattu tuulelta
2m korkeuteen asennettu anturi, altis tuulelle
2m korkeuteen asennettu anturi, altis tuulelle, tuulikorjaus tehty
Vuorokautinen sademäärä [mm]
Päivä
0
5
10
15
20
25
30
35
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Fig. 8