
MASSAVIRTAUSMITTAUKSET PULPPERIN SYÖTTÖKULJETTIMELLA



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Valkeakoski 16.12.2011

Artur Kastro



VALKEAKOSKI
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto

Tekijä	Artur Kastro	Vuosi 2011
Työn nimi	Massavirtausmittaukset pulperin syöttökujettimella	

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö oli tehty Metso Paperin toimeksiannosta. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää millä tavoilla keräyspaperin massavirtausta pulperin syöttökuljettimella voidaan mitata. Aineisto opinnäytetyötä varten hankittiin haastattellemalla paperitehtailla toimivia insinöörejä, joilla on kokemusta massavirtausmittauslaitteista. Muina lähteinä olivat manuaalit ja tekniset spesifikaatiot. Tuloksena oli kahden pääasiallisen massavirtausmittaustavan tunnistaminen. Molempien mittaustapojen hyviä ja huonoja puolia harkittiin opinnäytetyön johtopäätöksessä.

Avainsanat Pulperi, kuljetin, massavirtaus, radiometrinen mittaus, punnitusanturi

Sivut 58 s. + liitteet 8 s.

Valkeakoski
Automation Technology
Option

Author	Artur Kastro	Year 2011
Subject of Bachelor's thesis	Massflow measurements on pulper feed conveyor	

ABSTRACT

This thesis was commissioned by Valkeakoski unit of Metso Paper. The aim of the thesis was to survey the ways to measure the mass flow of waste paper on a pulper feed conveyor. The data for the thesis was obtained by interviewing the engineers who work in paper mills and/or have experience using the mass flow measurement devices. Other sources of information were the manuals and data sheets. As a result two main ways to measure the mass flow of waste paper on a pulper feed conveyor were identified. The positive and negative sides of both approaches to mass flow measurement were noted and taken into consideration.

Keywords Pulper, conveyor, mass flow, radiometric measurement, load cell.

Pages 58 p. + appendices 8 p.



SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	METSO OYJ.....	1
3	PROSESSIN YLEISKUVAUS	2
4	KULJETIN.....	4
5	KERÄYSPAPERI.....	6
5.1	Keräys paperin varastointi ja kuljetus	8
5.2	Keräyspaperin laatuluokat	8
6	PULPPEROINTI	11
6.1	Panospulppi	14
6.2	Jatkuvatoiminen pulppi	15
6.4	Rumpupulppi	15
7	MITTAUSTAVAT	16
8	RADIOMETRINEN MITTAUS	19
8.1	Mittausperiaate	20
8.2	Radiometrinen mittausjärjestelmä	22
8.3	Sijainti kuljettimella	22
8.4	Sauvalähde	23
8.5	Mittauskehys kuljettimelle ja säteilyläheen suojaukset	24
8.6	Ilmaisin	25
8.7	Takometri	28
8.8	Vesijäähdytys	28
8.9	Säteilyvalvonta	29
9	PUNNITUSANTURIT	30
9.1	Yleistä.....	30
9.1.1	Venymäliuska - punnitusanturi	32
9.1.2	Taipuma - punnitusanturi.....	32
9.1.3	Tanko - punnitusanturi.....	33
9.1.4	Rengasväntö - punnitusanturi.....	34
9.1.5	Puristus - punnitusanturi	35
9.2	Tomintaperiaate	36
9.3	Anturityypit	39
9.4	Mittauspiirit	43
9.4.1	Wheatstonen silta	43
9.4.2	Chevronin silta	45
9.4.3	Neljän johdon Ohm-piiri.....	46

9.4.4	Vakiovirtapiiri	47
9.5	Ohjain	48
9.5.1	Summaava hihnavaaka	48
9.5.2	Annosteleva hihnavaaka	48
9.5.3	Kalibrointi	50
9.6	Asennus ja käyttö	50
9.6.1	Suojaus	50
9.6.2	Vakaus	51
9.6.3	Johdon vaikutukset	51
9.6.4	Lämpötila ja anturikerroin	53
9.6.5	Näennäinen jännitys	54
10	JOHTOPÄÄTOKSET	56
	LÄHTEET	57

Liite 1	Pulpperi ja pulpperin keräyspaperinsyöttöjärjestelmä
Liite 2	SFC-EN 643, keräyspaperin standardilajit
Liite 3	Mittausmenetelmien vertailu
Liite 4	X96S hihnavaa'an tekniset tiedot
Liite 5	W4800 hihnavaa'an tekniset tiedot
Liite 6	LB442 hihnavaa'an tekniset tiedot
Liite 7	Tuikaineet
Liite 8	Punnitusanturit, vertailutaulukko

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Metso Paper Oy toimeksiannosta. Metson asiakkaan paperitehtaan DIP-linja (De-Inking Pulp) on varustettu jatkuvatoimisella OptiSlush rumpupulperilla, joka käyttää raaka-aineena keräyspaperia. Sakeutta pulpperissa säädetään ohjaamalla pulpperin syöttökuljettimen nopeutta ja pulpperin syöttöveden virtausta. Pulperiin lisätään kemikaaleja tarpeen mukaan. Päätaavoitteena on saada tasalaatuista ja – sakeuksista massaa, josta on helppo saada laadukasta ja kilpailukykyistä tuotetta markkinoille.

Sakeusmittaus on yksi tärkeimmistä ja samalla vaikeimmista mittauksista paperiteollisuudessa. Mittaustarkkuuteen voi vaikuttaa esim. massapulpan tuhkapitoisuus ja täyteaineiden koostumus, puulaji, massalaji, kuidun pituus ja sen muokkaus, freeness, pH, väri, homogeenisyys, kuitusidosten muodostumisaika, virtausnopeus, virtauksen laminaarisuus, lämpötila, johtokyky, paine, kuituorientaatio, anturin likaantuminen ja muut seikat. [1]

Yksi ongelmakohtista on se, että usein oletetaan, että pulpperin syötetyn kuiva-aineen määrä on laskettu oikein, mikä ei aina pitää paikkaansa. Pienetkin virheet saavat aikaan ketjureaktion ja seurauksena on tuottavuuden lasku, veden, energian ja kemikaalien kulutuksen nousu. Kaikki edellä mainitut tekijät aiheuttavat taloudellisia tappioita yritysille.

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää miten keräyspaperin massavirtausta pulpperin syöttökuljettimella voi mitata. Toinen työn tavoite oli miettiä olemassa olevan painonmittausjärjestelmän korvaamista toisella tekniikalla.

2 METSO OYJ

Metso Oyj on metalliteollisuusyhtiö, joka syntyi Valmet Oyj:n ja Rauma Oyj:n sulautuessa vuonna 1999. Metso on maailmanlaajuinen teknologiakonserni, joka suunnittelee, kehittää ja valmistaa järjestelmiä, automaattioratkaisuja sekä koneita ja laitteita prosessiteollisuuden tarpeisiin. Metson pääasiakkaita ovat massa-, paperi-, voimantuotanto-, kaivos-, maarakennus- ja energiateollisuus. Metson toiminta on jaettu kolmeen liiketoiminta-alueeseen: Metso Paper, Metso Minerals ja Metso Automation. [2]

Metso Automation toimittaa kone- ja prosessiautomaattioratkaisuja sellu- ja paperiteollisuudelle sekä energia- ja prosessiteollisuudelle. Liiketoimintalinjat ovat Process Automation Systems ja Flow Control. Toimiala muodostettiin vuonna 1999 yhdistämällä prosessiautomaatiojärjestelmiä valmistava Valmet Automation ja venttiileitä sekä virtauksen säätöjärjestelmiä valmistava Neles Controls.

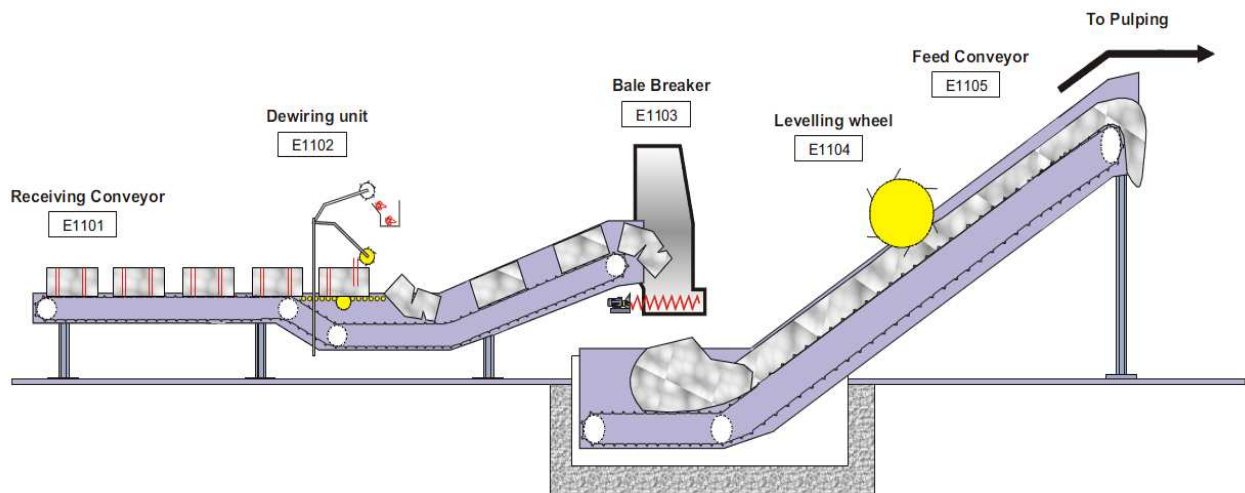
Metso Paper kuuluu maailman johtaviin metsäteollisuuden koneiden ja laitteiden valmistajiin. Sen päätuotteita ovat sellun ja mekaanisen massan valmistuslinjat, paperi-, kartonki- ja pehmopaperikoneet, sooda- ja voimakattilat sekä levyteollisuuden tuotantolinjat.

Metso Minerals toimittaa kiven- ja mineraalienkäsittelyjärjestelmiä kaivos- ja maanrakennusteollisuudelle sekä metallinkierrätysjärjestelmiä.

Metso Power vastaa kansainvälisen Metso -konsernin kattilaliiketoiminnasta. Yhtiö toimittaa kattilalaitoksia sellu- ja paperiteollisuudelle sekä voimantuotajille.

3 PROSESSIN YLEISKUVAUS

Paperimassan rumpupulperisyöttölinja on varustettu paalinkuljettimella, paalinhajottajalla, keräyspaperin syöttökuljettimella, keräyspaperin tasoittajalla, rumpupulperilla, rumpupulperin ammeella, pulperin tyhjennyspumulla ja tyhjennyspumun tyhjiöpumulla. [3]



Kuva 1. Kuljetinjärjestelmä

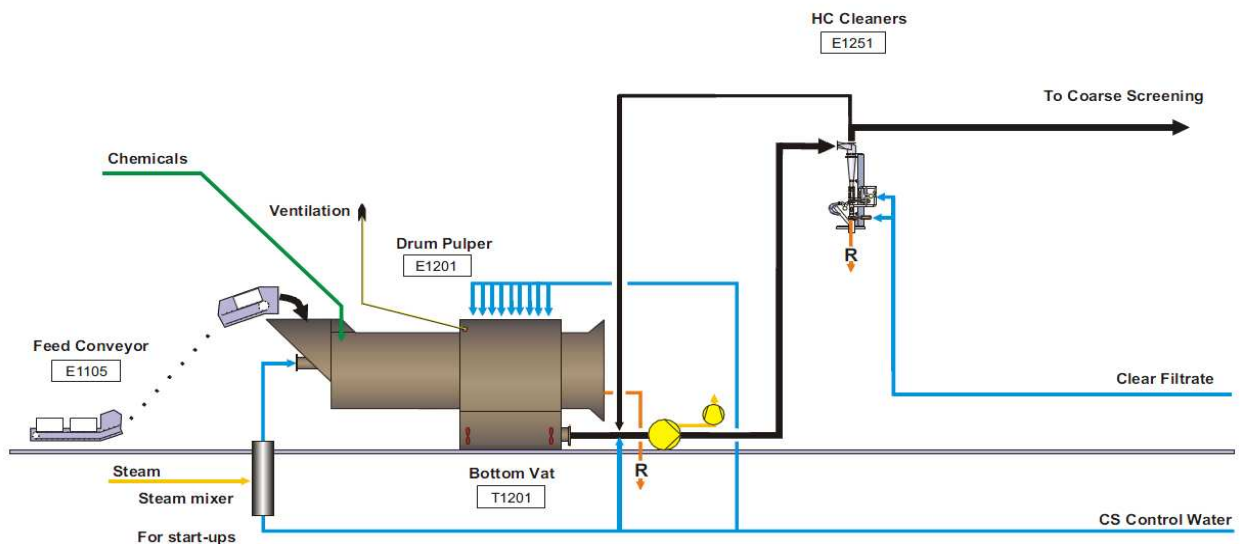
Jätepaperi johdetaan jatkuvatoimiseen rumpupulperiin. Kuidutusosan pituus on noin $\frac{2}{3}$ ja lajitteluosan pituus on noin $\frac{1}{3}$ rumpupulperin koko pituudesta. Rumpupulperin halkaisija on 4 m. Rumpupulperin pyörimisnopeus on säädettävissä 8 - 15 rpm välillä käyttämällä nopeuden pääohjausjärjestelmää. [3]

Jätepaperipaalit lastataan vaakasuoran paalinkuljettimen osan päälle käyttämällä lastausajoneuvoja. Pakkauksestaan puretut paalit siirretään paalinkuljettimella, paalinhajottajaan, jossa paalit hajotetaan irtaimiksi paperiksi. Paalinhajottaja on varustettu neljällä spiraalinmuotoisella ruuvilla,

joita pyörittävät erilliset taajuusmuuntimilla ohjatut moottorit. Paalinhajottajan ruuvien taajuusmuuntimien käynnistys- ja pysäytysramppien on oltava nopeita (250ms viive), jotta saavutetaan pyörimissuunnanvaihdon nopea vasteaika. Irtonainen jätepaperi kuljetetaan paalinhajottajasta pulperin syöttökuljettimella. [3]

Keräyspaperinsyöttökuljettimella on tasaaja, jolla ylläpidetään vakaata paperintasoa kaltevilla syöttölinjoilla. Massansyöttöä mitataan radiometrisellä vaa'alla. Syötön määrää muutetaan vaihtamalla jätepaperinsyöttökuljettimen nopeutta. Syöttökuljetin tarjoaa hallitun ja jatkuvan jätepaperivirran rumpupulperiin. [3]

Rumpupulperin kuidutusosassa jätepaperiin lisätään oikeassa suhteessa vettä ja musteen irrottamiseen tarkoitettuja kemikaaleja. Veden lämpötilä on yleensä 45-60 °C. Lämmin vesi edesauttaa kuidutusta ja vähentää pulperin tehontarvetta [4]. Muste erotetaan paperikuiduista kemikaaleilla ja mekaanisesti työstämällä. Yleisimmät pulperiin lisättävät kemikaalit ja niiden määrät raaka-aineen kokonaismäärään suhteutettuna ovat vetyperoksidi 0-2,0 %, natriumsilikaatti eli vesilasi 0-2,0 %, natriumhydroksidi eli lipeä 0-1,0 % ja saippua 0-0,7 % (liite 2). Kuidutusosassa tapahtuu kuitujen hajoamista, kun massa putoaa toistuvasti rumpun yläosasta alaspäin, sekä kulumista, joka johtuu massan pyörimisliikkeestä.



Kuva 2. Pulperointi

Pulperin kuidutusosasta raaka-aine siirtyy lajitteluosaan, jossa se laimennetaan alhaisempaan koostumukseen käyttämällä laimennusvettä. Laimennukseen käytettävä vesi syötetään lajitteluosaan käyttämällä suihkutusputkia. Pulperin lajitteluosa on päällystetty hupulla. Lajitteluosassa on seula Levy, jossa on halkaisijaltaan noin 8 mm reikiä, joista raaka-aine virtaa laimennusveden kanssa rumpun alemmaan ammeseen, josta

se pumpataan jatkokäsittelyyn (esim. säiliöihin, kuidutukseen, karkealajitteluun, jne). Pulperissa käsitelty jätepaperi sisältää lukuisia eri saasteita. Isommat ainesosat poistuvat raaka-aineesta pulperin lajitteluosassa ja nämä jäteaineet siirretään pulperista rummun päässä sijaitsevalla tyhjennysjärjestelmällä. Tyhjennyslinja kuljettaa nämä jäteaineet jätteidenkäsittelyjärjestelmään.

Laimennusvettä lisätään pulperiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisen vaiheen laimennusveden määrä pulperissa on suhteessa syöttöaukon 3 minuutin liukuvaan keskiarvoon, jolloin massaosan pitoisuus on noin 16 %. Lajitteluosaan lisättävän veden määrä on säädetty siten, että saavutetaan noin 4 % pitoisuus.

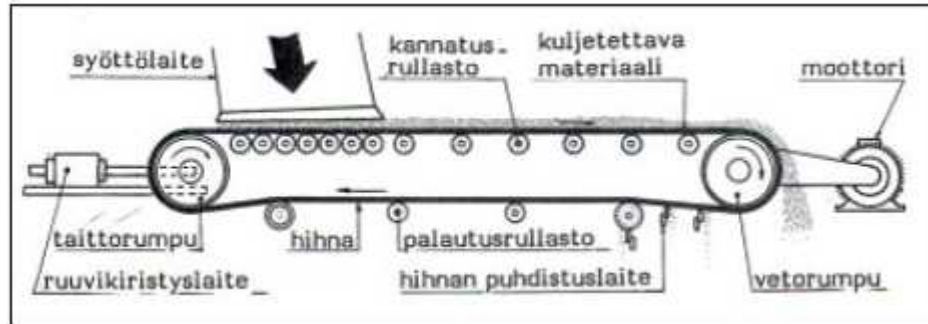
4 KULJETIN

Tehokas ja taloudellinen materiaalien siirto paperitehtaalla toteutetaan kuljettimien avulla. Kuljetin on materiaalien siirtoon kehitetty laite, joka saa käyttövoimansa yleensä sähköllä tai hydraulikalla toimivasta moottorista. Moottorina yleensä käytetään kolmevaiheista oikosulkumoottoria. Kuljetintyyppin valinta riippuu kuljetettavasta materiaalmäärästä. Keräyspaperin siirtämiseen pulperiin yleensä käytetään metallisia lamellikuljettimia tai kumisia hihnakuiljettimia. [5]



Kuva 3. Pulperin syöttökuljetin

Hihnakuuljetin on eräs yleisimmistä kuljetintyypeistä. Hihnakuuljetimessa kuljetinmatto pyörii kahden tai useamman rullan välissä, joista yhteen on asennettu moottori. Hihnaa tuetaan joko sileää pintaa vasten (liukualusteiset hihnakuuljetimet) tai tueksi voidaan asentaa laakeroituja tukitehoja (rullakannanteiset hihnakuuljetimet).



Kuva 4. Hihnakuuljetimen rakenne [6]

Hihnakuuljetimen pääosat ovat: hihna, kannatus- ja paluurullat, veto- ja taittorummut, syöttösuppilo, kiristyslaitteisto, puhdistuslaitteet ja turvalaitteet. Kannatusrullat kannattavat ja ohjaavat hihnaa. Paluupuolella hihna kulkee palautusrullien varassa. Paluupuolella sijaitsee myös hihnan puhdistuslaitteisto. Veturummun tehtävänä on siirtää käyttövoimaa moottorista hihnaan. Taittorummu on vapaasti pyörivä. Sen avulla hihnaa palautetaan takaisin vetorummulle. Kiristyslaitteiston tarkoitus on pitää kuljetinhihna sopivan tiukalla ja estää veto-rummun ja hihnan välistä luistoa. Kiristystapa riippuu hihnakuuljetimen pituudesta. Lyhyissä hihnakuuljetimissa käytetään ruuvikiristystä, missä hihnan kireyttä säädetään siirtämällä pääterumpua ruuvien avulla. Pitkissä kuljetimissa kiristyslaitteistona toimii vastapaino. Syöttösuppilon tehtävä on siirtää tavaraa hihnalle. [5]

Massavirtausmittaukset pulperin syöttökuljettimella

CONVEYOR CAPACITY DIMENSIONING 630 BDTPD		(FEED CONVEYOR)	
CONVEYOR DESCRIPTION		DRIVE DESCRIPTION	
Length of horizontal part	11.2 m	Drive sprocket diam	0.327 m
Height of sidewalls	1.0 m	Motor rotation speed (rpm)	1500 rpm
Length of ascending part	19.0 m	Gear ratio i	329
Height of sidewalls	1.2 m	Gear rotation speed (rpm)	4.56 rpm
Ascending angle	25.0 °	Required torque	9654 Nm
Lifting height (from floor level)	6.5 m	Required power	7.5 kW
Total length of conveyor	30.2 m	CHAIN DESCRIPTION	
Inner width m	1.5 m	Type of chain	M224-C-125
Filling rate %	80 %	Permissible load / chain	44800 N (safety factor 5)
Conveying volume	1.20 m ³ /m	Load / chain on nominal production	29556 N
		PRODUCTION DESCRIPTION	
		Production capacity	630 BDTPD
		Conveying capacity	890 t/d
		Minimum conveying capacity 40%	356 t/d
		Nominal material density	110 kg/m ³
		Height of material before equalizer	2.5 m
		Buffer on nominal production	6.5 min

		Recommended operational range														
Drive frequency (Hz)		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Conveying speed (m/min)		1.87	2.34	2.81	3.28	3.74	4.21	4.68	5.15	5.62	6.08	6.55	7.02	7.49	7.96	8.42
Conveying capacity (m ³ /h)		135	168	202	236	270	303	337	371	404	438	472	505	539	573	607
Material density kg/m ³	65	210	263	315	368	421	473	526	578	631	683	736	788	841	894	946
	70	226	283	340	396	453	509	566	623	679	736	793	849	906	962	1 019
	75	243	303	364	425	485	546	607	667	728	788	849	910	970	1 031	1 092
	80	259	323	388	453	518	582	647	712	776	841	906	970	1 035	1 100	1 165
	85	275	344	412	481	550	619	687	756	825	894	962	1 031	1 100	1 169	1 237
	90	291	364	437	509	582	655	728	801	873	946	1 019	1 092	1 165	1 237	1 310
	95	307	384	461	538	615	691	768	845	922	999	1 076	1 152	1 229	1 306	1 383
	100	323	404	485	566	647	728	809	890	970	1 051	1 132	1 213	1 294	1 375	1 456
	105	340	425	509	594	679	764	849	934	1 019	1 104	1 189	1 274	1 359	1 444	1 528
	110	356	445	534	623	712	801	890	979	1 067	1 156	1 245	1 334	1 423	1 512	1 601
	115	372	465	558	651	744	837	930	1 023	1 116	1 209	1 302	1 395	1 488	1 581	1 674
	120	388	485	582	679	776	873	970	1 067	1 165	1 262	1 359	1 456	1 553	1 650	1 747
	125	404	505	607	708	809	910	1 011	1 112	1 213	1 314	1 415	1 516	1 617	1 718	1 820
	130	421	526	631	736	841	946	1 051	1 156	1 262	1 367	1 472	1 577	1 682	1 787	1 892
	135	437	546	655	764	873	983	1 092	1 201	1 310	1 419	1 528	1 638	1 747	1 856	1 965
	140	453	566	679	793	906	1 019	1 132	1 245	1 359	1 472	1 585	1 698	1 811	1 925	2 038
	145	469	586	704	821	938	1 055	1 173	1 290	1 407	1 524	1 642	1 759	1 876	1 993	2 111
150	485	607	728	849	970	1 092	1 213	1 334	1 456	1 577	1 698	1 820	1 941	2 062	2 184	
155	501	627	752	877	1 003	1 128	1 253	1 379	1 504	1 630	1 755	1 880	2 006	2 131	2 256	

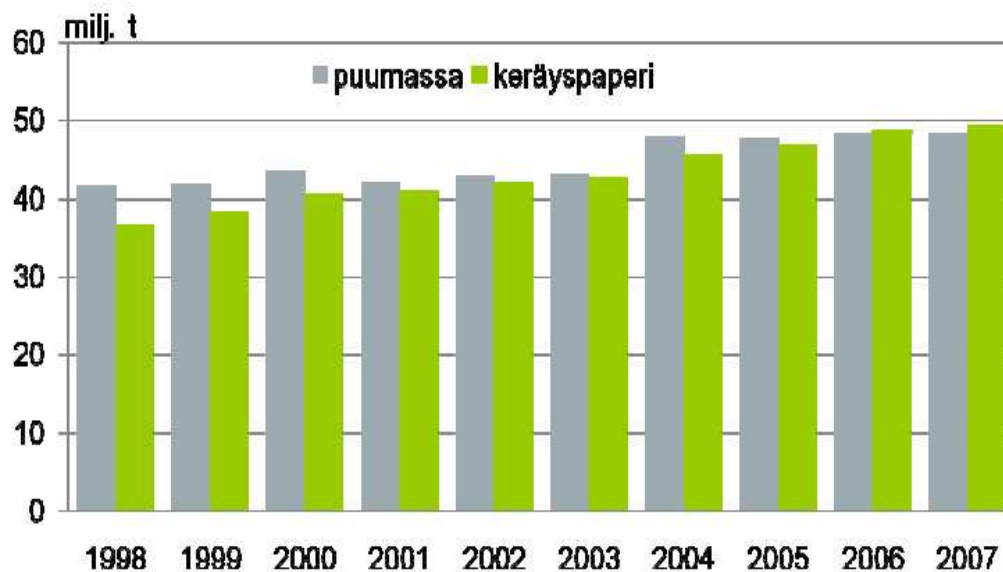
Capacity range is from 40% to 110%

Taulukko 1. Käytössä olevan kuljettimen ominaisuudet

Lamellikuljetin toimii hyvin samalla tavalla kuten hihnakuljetin. Erona on se, että materiaalin siirtoon käytetään metallisia tai muovisia lamelleja. Lamellien toisella puolella on hammastus, jonka avulla vetorulla liikuttaa kuljetinta.

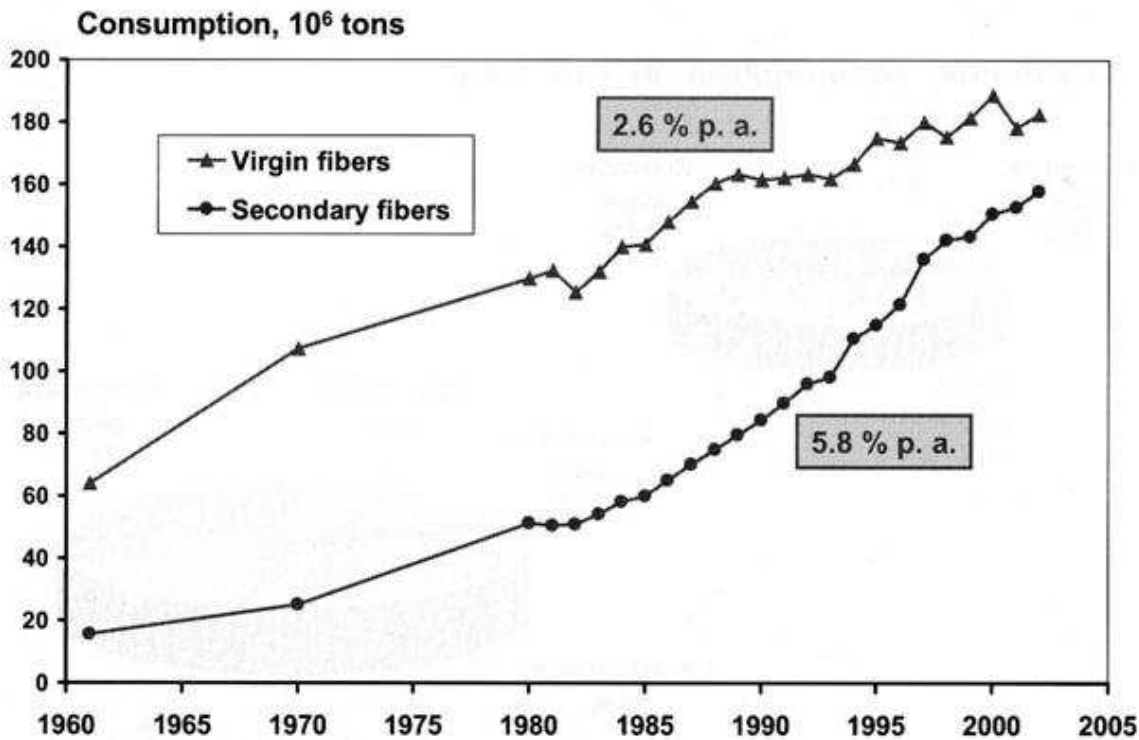
5 KERÄYSPAPERI

Keräyspaperi on suosittu raaka-aine paperiteollisuudessa. Esimerkiksi Euroopassa se on saanut suurimman paperiteollisuuden raaka-aineen aseman vuonna 2006. Maailmanlaajuisesti noin 50% paperinvalmistukseen käytettävästä raaka-aineesta on kierrätyspaperia. Sen suosio perustuu kilpailukykyiseen hintaan ja saatavuuteen. [7]



Kuva 5. Euroopalaisessa paperiteollisuudessa käytetyt raaka-ainemäärät [8]

Kierrätyspaperin käytön voimakas nousu alkoi jo 1980-luvulla, kuten näkyy kuvasta 6. Keräyspaperin käyttömäärät todennäköisesti tulevat kasvamaan tulevaisuudessakin. Syynä siihen on ekologisen ja ympäristöystävällisen ajattelutavan yleistymisen kuluttajien keskuudessa ja uusien ympäristösuojelulakien kehittäminen.



Kuva 6. Kierrätyskuitun ja neitseellisen kuidun kulutuksen kehitys

Yksi edellytys keräyspaperin käyttöön paperiteollisuudessa on tehokas talteenotto- ja lajittelujärjestelmä. Suomessa paperinkeräystä hoitavat suomalaisten metsäteollisuusyritysten omistama Paperinkeräys Oy, sekä lukuisat pienet yritykset ja jotkut kunnalliset jätehuolto-yritykset. Paperinkeräysalan yrityksen tehtävänä on paperin käsittely ja varastointi sekä keräyspaperin kuljetus tehtaalle.

5.1 Keräyspaperin varastointi ja kuljetus

Yleensä keräyspaperia varastoidaan paaleissa, joko sisä- tai ulkotiloissa. Varastointitapa vaikuttaa keräyspaperin laatuun ja kosteuteen. Ulkotiloissa varastoitu keräyspaperi altistuu sateelle, lumisateelle ja auringonpaisteelle. Tällöin varastointiajan pidentyessä valmiin paperin lujuus laskee, koska pitkäkuitupitoisuus laskee. Ulkona varastoidun keräyspaperin ISO-vaaleus, katkeamispituus ja taittolujuus myös heikkenevät. Mikrobin toiminta kiihtyy ja pahimmissa tapauksissa mätänemisprosessi voi alkaa. Mädäntynyt paperi voi aiheuttaa ongelmia paperikoneella. [9]

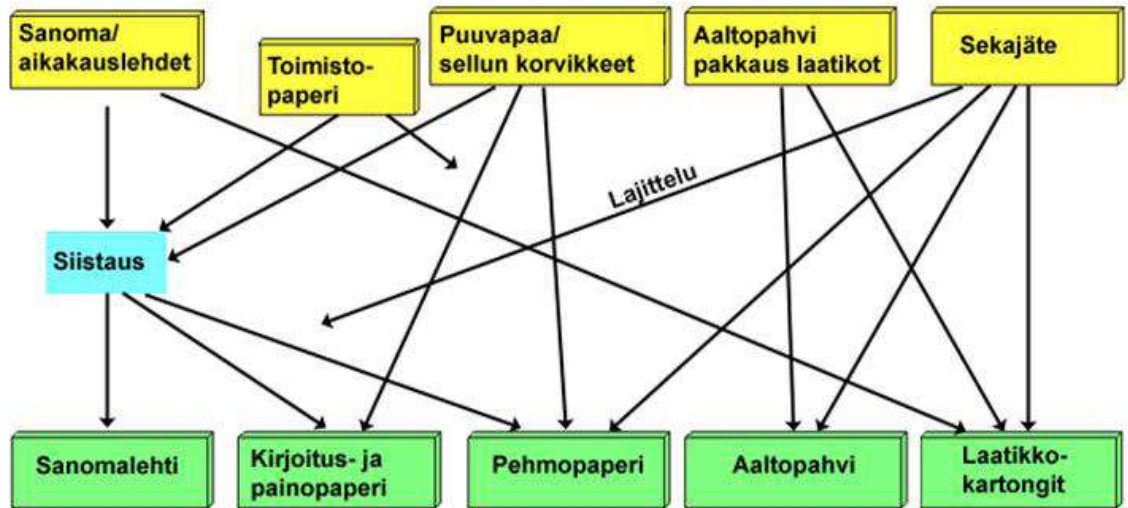
Keräyspaperia voidaan myös varastoida irtonaisessa muodossa. Irtonainen keräyspaperi yleensä varastoidaan sille tarkoitetuissa sisätiloissa. [8]

Keräyspaperi kuljetetaan paperitehaalle 250-1000 kg:n paaleina, joka rautateitse tai rekoilla. [10]

5.2 Keräyspaperin laatuluokat

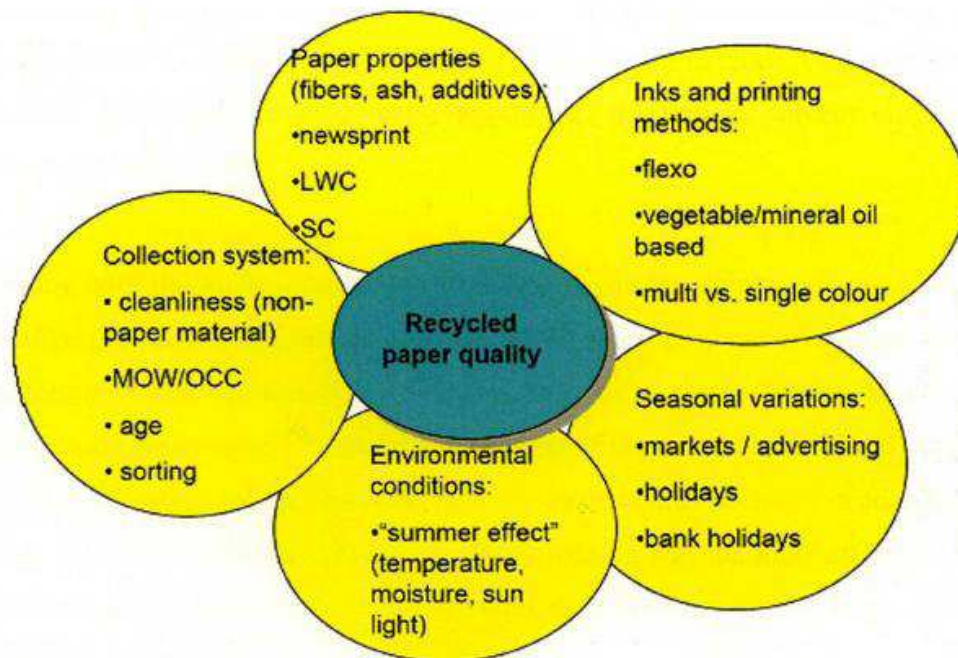
Keräyspaperia käytetään uusiomassan valmistukseen. Paperia voidaan kierrättää vain noin 3-5 kertaa, koska puukuitu lyhenee jokaisen käyttökerran jälkeen, kuitujen käyttökelpoisuus laskee ja lujuusominaisuudet heikkenevät.

Keräyspaperista valmistettu uusiomassan ja uusiomassasta valmistettavan lopputuotteen laatu on riippuvainen raaka-aineen laadusta. Keräyspaperin laatu myös vaikuttaa siihen, mitä uusiomassasta valmistetaan. Pääajatus on se, että lopputuote valmistetaan samanarvoisesta raaka-aineesta.



Kuva 7. Kierrätyspaperin käyttökohteet [7]

Keräyspaperin laatuun vaikuttavat paperin ominaisuudet, kuten kuitujen tyyppi, tuhkapitoisuus ja vaaleus. Keräyspaperin laatuun vaikuttavat myös käytetyt painatusmenetelmät, musteen tyyppi, keräystapa ja varastointiolosuhteet. Keräyspaperia kannattaa varastoida sisätiloissa, sopivassa lämpötilassa ja ilmankosteudessa. Keräyspaperin laatu on myös riippuvainen paperin sisältämistä epäpuhtauksista, kuten esimerkiksi erilaiset liimat, muovi, vaha, jne. Keräyspaperiin vaikuttavat tekijät on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Kierrätyspaperin laatuun vaikuttavat tekijät

Keräyspaperia jätetään eri paperilajiin eurooppalaisen keräyspaperistandardin SFS-EN 643:2001 mukaan (liite 3). Kyseinen standardi korvaa aiemmin käytössä olevan EN 643:1994 standardi ja se perustuu CEPI ja BIR laatustandardiin. CEPI (Confederation of European Paper Industries) on paperiteollisuuden yritysten laatima standardi ja BIR (Bureau International de la Récupération) on keräyspaperin myyjien kehittämä standardi. Lisäksi on olemassa lukuisia kansakunnallisia standardeja. Päättävöitteena on se, että EU:ssa jää voimaan vain ainoastaan EN 643:2001 standardi.

EN 643:2001 standardi määrää tavallisimmat Euroopassa myytävät keräyspaperi- ja kartonkilajit, sekä antaa yleiskuvan vakiolajeista määrittelemällä, mitä kukin laji sisältää. Luettelo sisältää viisi ryhmää raaka-aineiden laatuokituksen mukaan: [11]

- Ryhmä 1, alalajit
- Ryhmä 2, keskilajit
- Ryhmä 3, ylälajit
- Ryhmä 4, voimaperilajit
- Ryhmä 5, sekalaiset pakkaukset

Vaikka keräyspaperista valmistetun massan ominaisuudet eroavat muista massoista, ne täyttävät niiden käyttökohteiden vaatimuksia pinta- lujuus- ja optisten ominaisuuksien kannalta.

	Vaaleus, %	Tuhkapit., %	Sellu- pitoisuus, %	Veto- indeksi, Nm/g	Repäisy- indeksi, mNm ² /g	Valon- siron- kerroin, m ² /kg
UUSIOMASSA						
keskiarvo	58,8	8,1	32	31,9	6,34	56
vaihteluväli	54-63	6-11	27-44	26-36	5,7-7,0	52-60
hajonta	2,3	11,9	11,2	5,3	3,6	2,8
MEKAANINEN MASSA						
vaihteluväli	60-64	0,3-1,5	-	24-32	2,6-4,5	68-79

*sanomalehtipaperin massa

Taulukko 2. Uusiomassan ja mekaanisen massan ominaisuudet [7]

Uusiomassan valmistuksessa pyritään palauttamaan paperikuitujen alkuperäiset ominaisuudet ja poistaa epäpuhtauksia. Suurimmasta osasta suurikokoisista epäpuhtauksista päästään eroon jo pulperointivaiheessa. Painoväriä poistetaan pesu tai vaahdotusmenetelmällä. Paperin optisia ominaisuuksia voidaan parantaa valkaisuvaiheessa.

Käytetty raaka-aine	100% sanomalehdet
	100% toimistojae
	50-70% sanomalehdet / 30-50% aikakausilehdet
ISO vaaleus	42-70 --> 52-84
Tuhkapitoisuus	8-35% --> 2-5%
Sähkökulutus	350-400 kWt/t
Lopputuote	55-75%

Taulukko 3. Tyypillisen siistauslinjan parametrit [12]

Vaikka keräyspaperin käsittely voi olla kallista, se on silti taloudellisesti kannattava. Yhdestä keräyspaperin tonnista saadaan noin 850kg uusiomassaa. Tonni keräyspaperia maksaa noin 50-200 euroa/t, laadusta riippuen. [7]

6 PULPPEROINTI

Massapaalien pulpperointi on massakäsittelyn ensimmäinen vaihe. Vesi ja kuiva paperi syötetään pulperiin, jossa paperi hajoaa tasakoosteiseksi massasulpuksi. Vesi, kemikaalit ja paperikuidut sekoitetaan pulperin roottorin mekaanisen energian ja sulpun sisäisen kitkan avulla tasalaatuiseksi sulpuksi, jonka sakeus on 4-5 %. Pulpperoitu sulppu on pumpattavissa massakäsittelyn seuraavaan vaiheeseen. Pulpperoinnin aikana päästään eroon suurimmista epäpuhtauksista (kivet, muovit, metallit). [13]

Pulpperointijärjestelmään kuuluu pulperin ohella pulperin syöttölaitteisto, joskus toisio pulperi ja pulperin rejectin käsittelylaitteisto. Pulperin tyypin valinta riippuu raaka-aineesta.

Pulperityyppi	paperilaji	tila	sakeus %	kapasiteetti min, t/d	kapasiteetti max, t/d	kuidutus-aika, min	toiminta
HC pulperi	sanomalehti	irallinen	< 19	30	400	15 - 25	erä
	aikakausilehti	langaton paali					
MC pulperi	sanomalehti	irallinen	< 12	140	500	20 - 30	erä
	aikakausilehti	langaton paali					
LC pulperi	fluting liner	irallinen	< 6	200	1600	5 - 40	jatkuva-toiminen
	lajit, joilla korkea märkälujuus	hajotetut paalit					
rumpu	sanomalehti aikakausilehti ruskea kartonki nestepakkaus-kartonki	irallinen	< 20	100	1600	20 - 40	jatkuva-toiminen

Taulukko 4. Pulperityypit [10]

Pulperointiin vaikuttavat useat tekijät pulperin toiminnassa, kuten pulperointi aika, pulperin tyyppi ja teho, pulperointiolosuhteet (pulperointiveden lämpötila, sakeus ja pH). Pulperointitulosta voidaan arvioida massan laatuindeksi avulla (SQD). Massan laatuindeksi (SQD) määritetään mittaamalla näytearkin (standardoidulla tavalla ”täysin” hajotettu näytearki) ja laboratorioarkin vetolujuudet. Laatuindeksi kuvaa näiden suhdetta ja se lasketaan kaavalla:

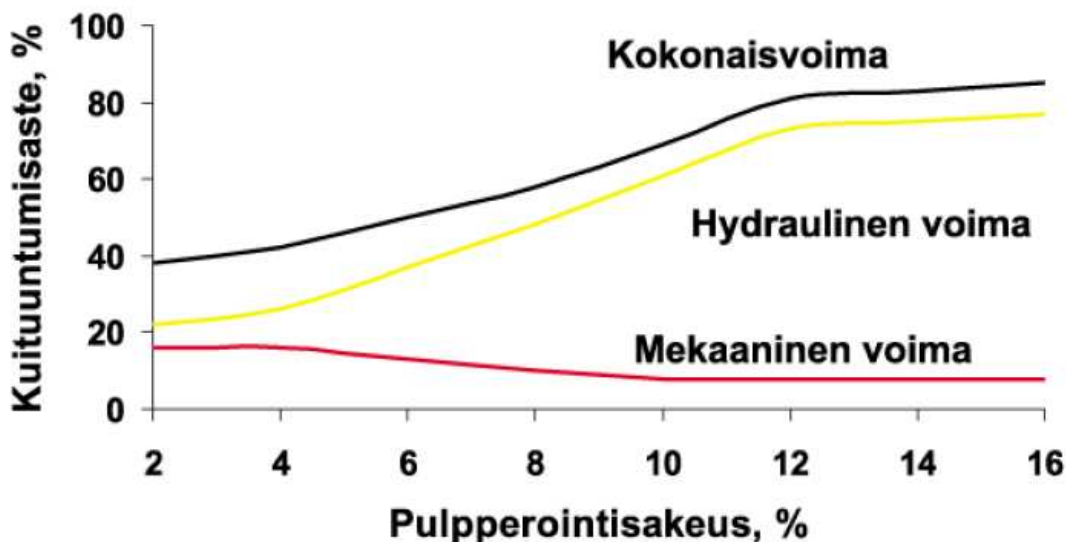
$$SQD = (\text{Näytearkin vetolujuus} / \text{laboratorioarkin vetolujuus}) * 100 \%$$

Vertaamalla jauhatukseen menevän massan vetolujuutta perusteellisesti hajotetun massan vastaavaan arvoon, voidaan arvioida hajotustoimintojen riittävyttä. Huono pulperointitulokset näkyvät käytännössä paperin

lujuusominaisuuksien laskuna, kuitujen katkeiluna ja jauhatuksen jälkeisen massan suotautuvuusvastuksen kasvuna. [13]

Kuitujen välisten sidosten purkamiseksi massaan lisätään lämmintä vettä. Veden lämpötilan nostaminen laskee veden viskositeettia ja näin vesi tunkeutuu kuituihin paremmin. Tämän seurauksena saadaan aikaan nopeampi paperin vettyminen ja nopeampi lujuuksien heikkeneminen. [4]

Koska pulperointi perustuu pääasiassa hydraulisten voimien kuiduttavaan vaikutukseen, pulperointisakeuden nostaminen nostaa pulperoidun massan kuituuntumisastetta. Nostettaessa pulperointisakeutta kuiduttamiseen tarvittava mekaanisen voiman tarve suhteutettuna pulperoitavaan määrään alenee ja siten pulperoinnin taloudellinen tehokkuus paranee. [13]



Kuva 9. Pulperointisakeuden vaikutus kuituuntumiseen [7]

Korkea pulperointisakeus myös hidastaa massan vettymistä ja sulpun liikettä pulperissa. Samalla massan pumpattavuus laskee.

Massan kuituuntumisen ja musteen poiston helpottamiseksi pulperiin lisätään useita eri kemikaaleja.

Kemikaali	Pitoisuus
NaOH	0,5-2%
Na ₂ SiO ₃	1-2,5%
H ₂ O ₂	0,5-1,5%
Rasvahapposaippu	0,2-1,0%

Taulukko 5. Yleisimmät pulperoinnissa käytetyt kemikaalit [14]

Lipeä (NaOH) auttaa poistamaan painoväriä, turvottaa kuituja ja pitää pH-arvoa sopivan korkeana. Alkalisella puolella ($\text{pH} > 7$) pulperointaessa massa hajoaa helpommin kuin happamissa oloissa. Matalalla veden pH tasolla vettä on vaikeampi saada kuidun sisään. Vesilasi (Na_2SiO_3) toimii pH-puskurina ja tehostaa painovärin despergointia. Vetyperoksidia (H_2O_2) käytetään massan valkaisuun ja painovärin poistoon. Saippu kerää irrotettuja painovärinpartikkeleita. [14]

6.1 Panospulpperi

Pulperin säiliö täytetään tietyllä määrällä vettä ja keräyspaperia. Täyttövaiheen jälkeen pulperin roottori hajoittaa paperia tietyn ajan. Sulputusvaiheen jälkeen sellu on pumppauskelpoista kuitulietettä. Panos pumpataan varastosäiliöön, josta se jatkaa edelleen kuiduttimille tai jauhimille. [13]



Kuva 10. Panospulpperi, korkeasakeus [7]

Panospulperisiin syötettävien sellupaalien paino mitataan ja sen avulla säädetään syötettävää vettä (pulperointisakeutta). Purkuvaiheessa sulpun sakeus mitataan ja mittauksen avulla säädetään pulperin laimennusvesimäärä. Laimennusvettä syötetään sekä pulperin purkukammioon että pumpun imupuolelle. [13]

Toimintaperiaate:

- vettä ja kuituainetta lisätään jaksottain

- hajotusaika 15-30 min
- sakeus noin 6% - 15 %
- sihtilevyjen reikäkoko suuri, jotta massa pääsisi tyhjenemään nopeasti
- massatulppu tasalaatuista, jos hajotusaika riittävä
- pieni kapasiteetti.

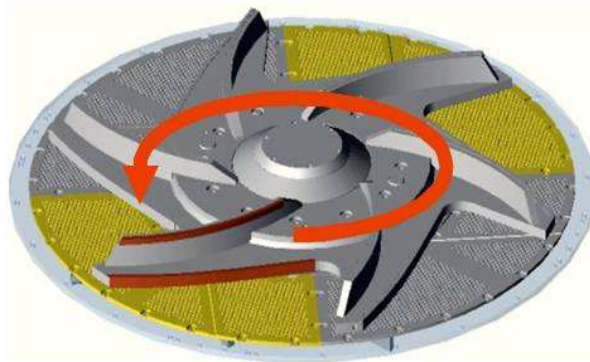
6.2 Jatkuvatoiminen pulperi

Jatkuvatoimiseen pulperiin syötetään jatkuvasti uutta massaa ja vettä. Sulppua pumpataan pulperista eteenpäin siten, että pulperin pinta pysyy vakiona. Jatkuvatoiminen pulperi vaatii kuiduttimen, joka voidaan sijoittaa pulperia purkavan pumpun jälkeen. [13]

Jatkuvatoimista pulperointia hallitaan säätämällä pulperin pinnankorkeutta sekä purkusakeutta. Pinnankorkeus säädetään syötettävän veden avulla ja sakeus syötettävän massan avulla. [13]

Toimintaperiaate:

- pinta pidetään vakiona
- kuituainesta ja vettä lisätään jatkuvasti
- sakeus 2-4 %
- viipymäaika 3-10 min
- sihtilevyn reikäkoko pieni
- massatulppu ei ole tasalaatuista
- suuri kapasiteetti.



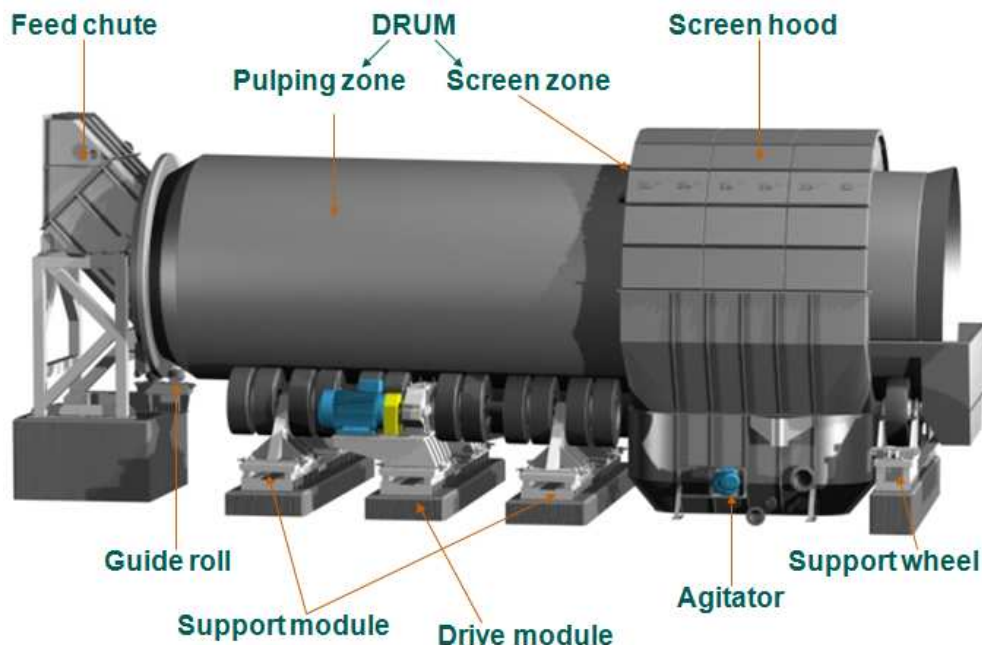
Kuva 11. Pulperin roottori [15]

6.3 Rumpupulperi

Rumpupulperi jaetaan kahteen osaan. Toisessa osassa tapahtuu keräyspaperin hajoitus ja toisessa lajittelu. Sakeus kuidutusosassa on 15-20% ja lajitteluosassa 4-5%. Pulperi on jatkuvatoiminen.

Keräyspaperia syötetään pulperiin syöttökuljettimen avulla. Pulperiin lisätään vettä ja kemikaaleja. Hydraulisen voiman ja pulperissa pyörivän roottorin aikaansaaman liike-energian avulla keräyspaperia hajoitetaan pieniksi palasiksi.

Rummun lajitteluosassa on pieniä (8mm) reikiä, joista aksepti menee läpi. Rejeksti menee rummun päästä. [3]

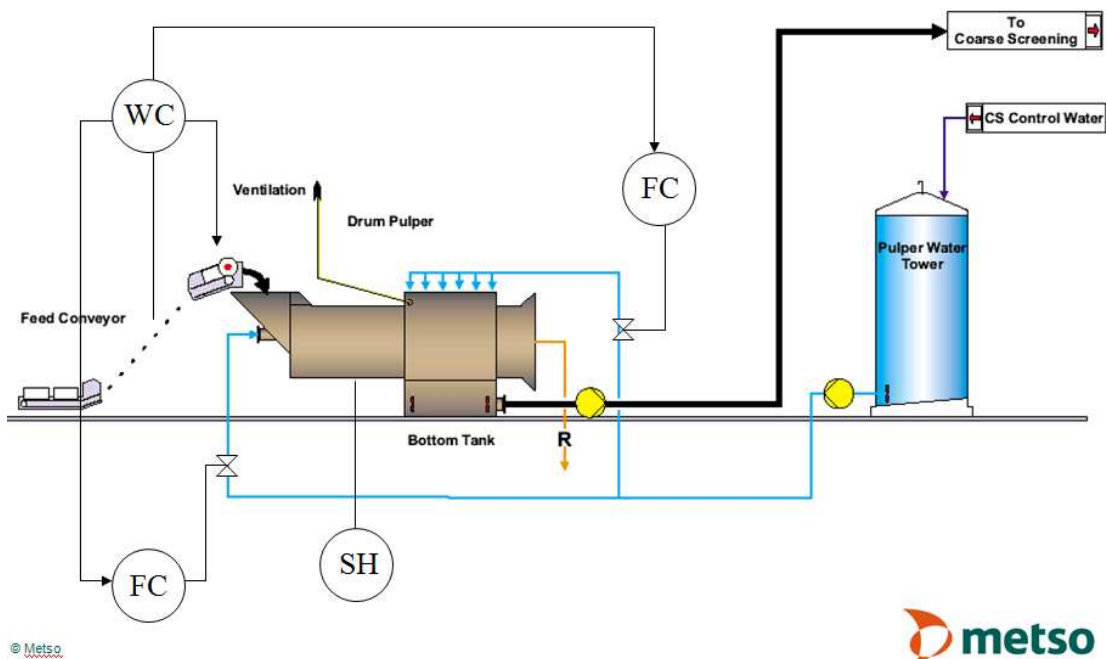


Kuva 12. Rumpupulper

Rumpupulperiin syötetään keräyspaperia vain irtonaisena. Raaka-aineena toimii tyypillisesti sanomalehtipaperit, aikakauslehdet ja toimistojae.

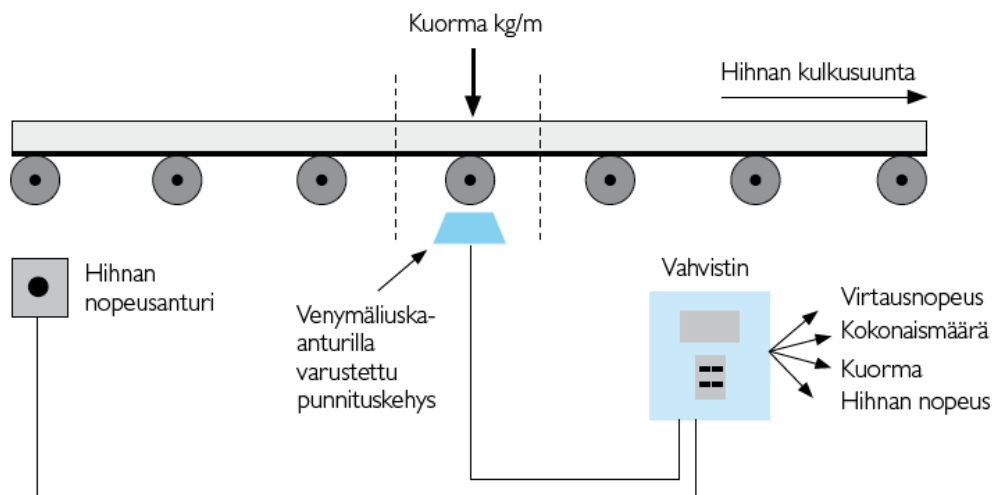
7 MITTAUSTAVAT

Keräyspaperia syötetään hihnakuljettimen avulla jatkuvatoimiseen rumpupulperiin massaltaan sopivina annoksina (annoksella tarkoitetaan tietyn painoista keräyspaperimäärää). Tarvittava kuiva-ainepitoisuus pulperissa saadaan aikaan säätämällä annoksien syötön aikaväliä.



Kuva 13. Ohjaukset

Keräyspaperin syöttöä varten pulperin syöttökuljettimen alle sijoitetaan kuljetinvaaka. Rumpupulperin ohjausjärjestelmä ohjaa kulljettimen päällä- tai pois päältä -tilaan kuljettimella olevan keräyspaperin massan ja kuljettimen tilan (päällä / pois päältä, kuljettimen nopeus) perusteella siten, että kuljettimen toimintasyklin aikana rumpupulperiin syötetään ennalta määrätty massa keräyspaperia riittävällä tarkkuudella. Kuljettimen tyhjät osiot myös otetaan huomioon. Sakeutta pulperissa ei mitata suoraan (liite 1), vaan keräyspaperin annoksien syöttöä ohjataan sakeussäätöveden venttiilin avulla. Apuna käytetään pulperin pinnankorkeuden säätöpiiriä, joka toimii erikseen.



Kuva 14. Hihnavaa'an rakenne [19]

Kuljetinvaa'at (kuva 18) mahdollistavat annoksien hyvin tarkan muodostamisen, ja näin sakeus pulperissa pysyy stabiilina. Haittana on laitteen hinta sekä kosteuden korjauksen puute. Lisäksi tätä mittaamenetelmää käyttäessä voi esiintyä anturista riippumattomia mittausrvirheitä, esimerkiksi jos tasaaja painaa keräyspaperin päälle liian voimakkaasti ja vaikuttaa hihnan kulkuun. [5, 16, 17]

Keräyspaperin määrää voidaan mitata myös radioaktiivisen säteilyn vaimenemiseen perustuvalla vaa'alla (kuva 19). Radiometrisen vaa'an suurin etu on sen tarkkuus. Lisäksi se on lähes huoltovapaa ja täysin kosketukseeton. Kääntöpuolena on korkea hinta (noin kaksi kertaa enemmän kuin perinteiset kuljetinvaa'at) ja tarve saada käytölupia. Esimerkiksi radioaktiivisen aineiden käyttöä Suomessa valvoo Säteilyturvakeskus. [18, 19]



Kuva 15. Ohmart Vega W-4800 kuljetinvaa'ka

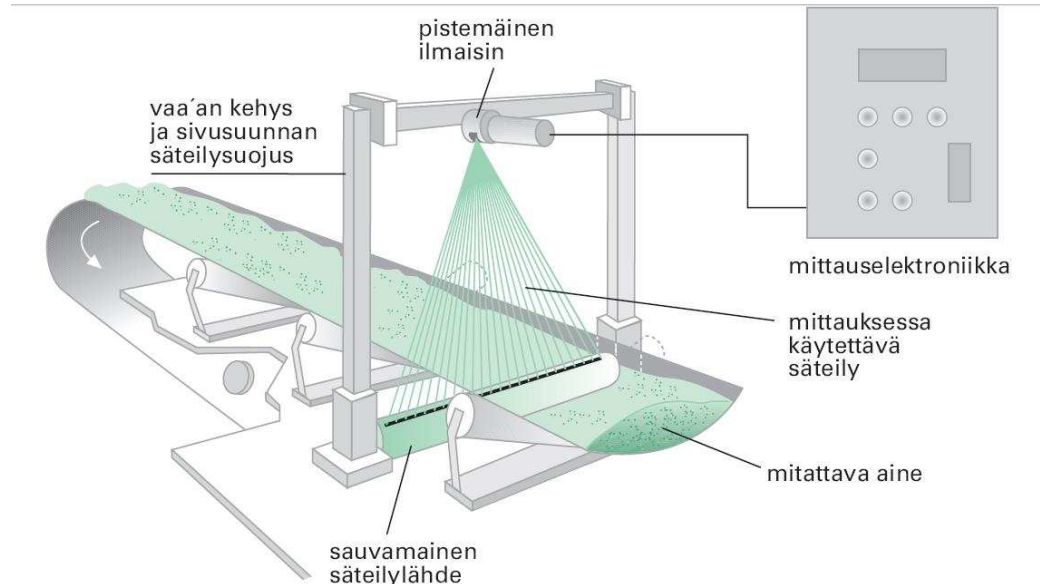
Jos keräyspaperin tiheys on suunnilleen samanlainen (esim. paalit), niin keräyspaperin syöttöä pulperiin ohjataan mittaamalla ja säätämällä keräyspaperin tilavuusvirtausta. Tätä varten käytetään ultraääniantureita, jotka asetetaan kuljettimen hihnan yläpuolelle. Tämän menetelmän etuina ovat anturin suhteellisen alhainen hinta sekä mekaaninen luotettavuus.

Kääntöpuolena on se, että suuret mittausrvirheet ovat mahdollisia, mikäli keräyspaperia syötetään paalien sijasta irrallisena. Seurauksena on, että sakeutta pulperin ammeessa on vaikea kontrolloida. Vaihtoehtoisesti tilavuuden mittaamiseen voidaan käyttää optista anturia (Fotoskan). Anturi ottaa valokuvia, ja kuvien perusteella lasketaan pulperiin syötetyn keräyspaperin tilavuus. [17, 20, 21]

Jos linja on varustettu panospulperilla, voidaan käyttää punnitusantureita pulperiin syötetyn raaka-aineen massan mittaamiseksi. Silloin punnitusanturi asetetaan pulperin alle. Kun pulperi on täytetty vedellä, raaka-aineen syöttö voi alkaa. Kun yhteinen paino saavuttaa halutun arvon, keräyspaperin syöttö loppuu. [18]

8 RADIOMETRINEN MITTAUS

Radiometriset mittauslaitteet perustuvat säteilyn ja tutkittavan aineen välisiin vuorovaikutuksiin: absorptioon, sirontaan, väliaineen virittymiseen, ydinreaktioihin, sekundaarisen säteilyn syntymiseen – joko yhteen ilmiöön tai näiden yhdistelmiin. Radiometrinen mittauslaite tyypillisesti koostuu umpilähteestä, säteilyn ilmaisimista ja mittauselektronikasta. [22]



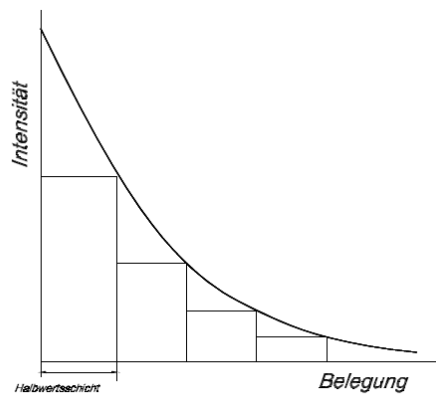
Kuva 16. Radiometrinen hihnavaaka [22]

Radiometrisia kuljetinvaakoja käyttämällä voidaan mitata massavirtausmittausta kuljettimilla mittausalueella 0-200kg/h – 0-10 000 kg/h [23]. Radiometrisen mittauksen edut ovat:

- Koskettamaton mittaustapa
- Ei liikkuvia osia
- Pitkä käyttöikä
- Vähäinen huollontarve

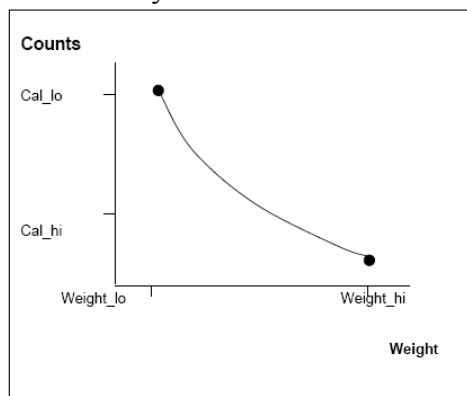
Koska radiometrinen mittausmenetelmä on koskettamaton, kuljettimen hihnan liikkeitä ja kireyden vaihteluita, tuuli, värinä ja muut mekaaniset voimat eivät vaikuta mittaustarkuuteen (liite 4). [5, 16, 32]

Radioaktiivisen aineen säteilyvoimakkuus heikkenee ajan kuluessa. Automaattinen säteilylähteen heikkenemisen kompensointi takaa sen, että kuljetinvaakan mittaustarkkuus pysyy samana.



Kuva 17. Säteilyn voimakkuus ajan funktiona [24]

Radiometriset kuljetinvaat ovat tunnettuja mittaustarkkuudesta. [5, 25]
Perustana hyvään mittaustulokseen on oikein suoritettu kalibrointi.



Kuva 18. Kalibrointi käyrä [26]

Kalibrointi tehdään ajamalla tyhjää kuljetinta ja suorittamalla taaramittausta. Kalibrointiin voidaan käyttää vertailupunnitusjärjestelmää, jossa kuljettimella siirretään tunnettua materiaaliukuormaa. Radiometrisen kuljetinvaat'an mittaustarkkuus riippuu vertailupunnitusmittaukseen käytetystä ajasta ja mittauksen tarkkuudesta. [19, 26, 27, 28]

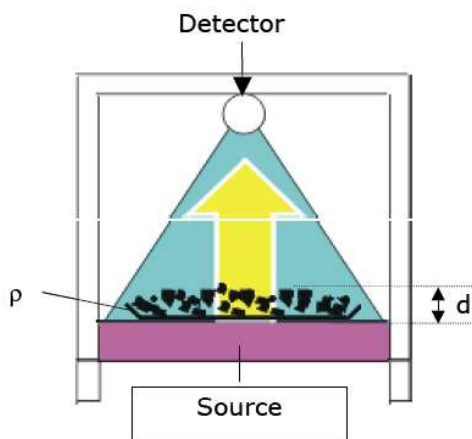
8.1 Mittausperiaate

Radiometriset mittausjärjestelmät käyttävät hyväksi radioaktiivisia aineita, joita valmistetaan virallisten määräysten mukaisesti ja joita suojataan sopivilla säteilysuojuksilla. Oikein käsiteltynä voidaan kaikenlaiset vaarat henkilöstölle sisäänrakennetuista radioaktiivisista aineista sulkea pois laskuista. Lain mukaan näitä mittauslaitteita saavat käyttää vain erikoisluvan saaneet henkilöt, joilla on riittävä kokemus ja koulutus. [28]

Radioaktiivista materiaalia käytetään, koska se on helposti käsiteltävää ja sen energia riippuu kuljettimen kuormituksesta säteilyn aikaansaamiseksi.

Säteily imeytyy kuljettimen hihnalla olevaan tuotteeseen, ilmaisimella saadaan vaimentuneen säteilyn ja mikroprosessiyksikkö määrittää sen. Vaimennuksen tapahtuminen suurimman kuljetuskyvyn aikana määrittää lähteen valinnan. Materiaalin jääminen lähteen ja ilmaisimen väliin vähentää ilmaisimen mittaustehoa. Toisin sanoen mitä suurempi on mitattavan materiaalin paino, sitä vähemmän säteilyä pääsee materiaalin läpi ilmaisimeen. [26] [27] [28]

Radiometrinen mittaus hyödyntää fysiikan lakia gamma-säteilyn vaimentumisesta sen kulkiessa mitattavan tuotteen läpi. Tuloksena oleva mittaus on suhde I/I_0 , vaimentumattoman säteilyn I_0 ja säteilyn I välillä, jota mitattava tuote vaimentaa. Ilmaisimen havaitsema jäljellä oleva säteily (tuokeilmaisimella) ilmoittaa mitattavan tuotteen massaa. [28]



Kuva 19. Radiometrisen kuljetinvaaran toimintaperiaate

Mittaus perustuu säteilyn absorptioon, gamma-säteilyn avulla mitataan keräyspaperin tiheyttä ja keräyspaperin kerrospaksuutta. Silloin saadaan tiheys kertaa paperin paksuus yhtä suuri kuin kuormitus, mittaussyksikkö kg/m . Ottamalla huomioon kuljettimen kulkunopeus saadaan tulokseksi massavirtaus, kg/s tai t/h . [29]

Absorboitu säteily voidaan laskea kaavalla: $I = I_0 \cdot e^{-\mu' \cdot \rho \cdot d}$, missä

- I on säteily (kuorman kanssa)
- I_0 on säteily (ilman kuormaa)
- μ on absorptiomokerroin
- ρ on keräyspaperin tiheys
- d on keräyspaperinkerroksen paksuus, ilmoitetaan cm

Säteilyä voidaan laskea toisella tavalla: [27]

$R_c = R_0 + \ln(I_0/I_c) \times (1/uT) \times a$, missä:

- R_0 on taaraus paino
- R_c on mitattava paino
- I_0 on ilmaisimen signaali (tyhjä kuljetin)
- I_c on ilmaisimen signaali (keräyspaperi kuljettimella)

- a on kuljettimen leveys
- uT on absorptiomiskerroin (vakio)

8.2 Radiometrinen mittausjärjestelmä

Jotta tietty mittausalue voitaisiin kattaa aukottomasti, mittauskonfigurointi täytyy toteuttaa siellä, missä lähteen mitat ja ilmaisin muodostavat parhaan geometrian kattuen samankokoisen mittauskentän. Saatavilla olevia erilaisia vaihtoehtoja kuvataan jäljempänä.

Millainen näistä järjestelyistä valitaan, riippuu lähinnä kuljettimen ominaisuudesta. Lisäksi, rakenneominaisuuksilla ja asiakaskohtaisilla vaatimuksilla voi olla vaikutusta laitteiston valintaan. Keskinäiset valinnat tehdään suunnitteluvaiheessa ja ne on otettava huomioon myöhemmin kokoonpanon ja käyttöönoton aikana.

Mittausjärjestelmä radiometristä massavirtausmittausta varten koostuu tyypillisesti seuraavista osista: [28]

- Radioaktiivinen sauvalähde
- Mittauskehys suojasäiliöllä pitolaitteella ilmaisinta varten
- Ilmaisin
- Mittausyksikkö
- Kaksijohdinkaapeli
- Hihnanopeusmittari (takometri)
- Jäähdytysvaippa ilmaisimelle

Virransyöttö anturille ja mittaussignaali (pulssit) parikaapelilla, joka yhdistää ilmaisimen ja laskentayksikön.

8.3 Sijainti kuljettimella

Mittauskehysten rakenteen sisältyy suojasäiliön sauvalähteellä, joka on tavallisesti asennettu kuljetinhihnan alle.



Kuva 20. Ronanin valmistamat umpilähteet RLL-1 ja SA-1

Ilmaisin on asennettu mittauskehyyksen poikkipalkkiin niin, että anturin aukko sijaitsee suoraan suojuksen säteilyulostulokanavan yläpuolella. Ilmaisin ja mittauselektronikkayksikkö on yhdistetty kaksijohtimisella kaapelilla. Takometria yhdistetään laskentayksikköön kolmejohtimisella kaapelilla. [28]

8.4 Sauvalähde

Radioaktiiviset lähteet teollisia sovelluksia varten ovat aina koteloituja radioaktiivisia aineita, jotka on tiiviisti hitsattu ruostumattomasta teräksestä olevan tukevan kotelon sisään, niin että radioaktiivinen aine ei voi vuotaa ulos. Saastuminen voidaan siten sulkea pois laskuista. Mitattavan tuotteen aktivoituminen käytetystä lähteestä ei ole mahdollista fysikaalisista syistä. [30]

Seuraavia isotooppeja käytetään ensisijassa radiometriseen kokonaismassavirtamittaukseen: kobolttia, caesiumia ja amerikumia.

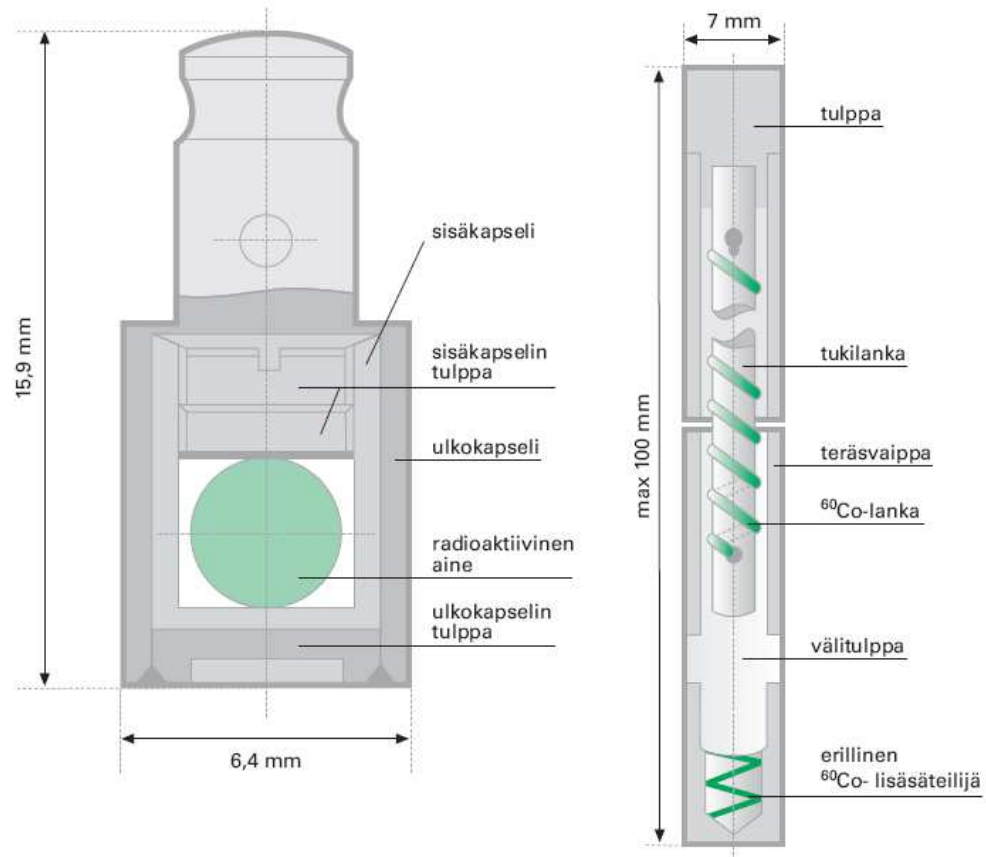
Nuklidi	Puoliintumis-aika	Säteilylaji	Energia MeV	Tyypillinen käyttötarkoitus
⁶⁰ Co	5,27 a	γ	1,17; 1,33	Pinnankorkeusmittari, pintakytkin, kuljetinvaaka
¹³⁷ Cs	30,2 a	γ	0,662	—
²⁴¹ Am	432,7 a	α, γ	5,5 α 0,060 γ	ioni-ilmaisin, neutronilähde, tiheysmittari, analyysointilaitte
¹⁰⁹ Cd	1,27 a	γ	0,022; 0,087	analyysointilaitte
⁵⁵ Fe	2,68 a	γ	0,0059	tuhkamittari, analyysointilaitte
¹⁹² Ir	74,0 d	γ	0,32; 0,47	gammaradiografialaite
⁸⁵ Kr	10,7 a	β	0,687	pinta-alamassamittari
¹⁴⁷ Pm	2,62 a	β	0,225	pinta-alamassamittari
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	29,1 a	β	0,546; 2,284	pinta-alamassamittari

Taulukko 6. Teollisuudessa eniten käytettyjä isotooppeja [22]

Co-60:lla on suhteellisen korkea energia, vastaavasti 1,17 ja 1,33 MeV. Sitä käytetään hyvin suuriin kuormiin. Sen puoliintumisaika on 5,27 vuotta. Puoliintumisaika on aika, jonka kuluessa kyseisen isotoopin aktiivisuus on vähentynyt puoleen sen alkuperäisestä arvosta. [28]

Cs-137 on useimmiten käytetty isotooppi radiometriseen kokonaisvirtamittaukseen. Sen energia 0,660 MeV on riittävä säteilyttämään yleisiä hihnakuormia. Johtuen matalammasta energiasta, mittausasteho on parempi kuin Co-60:lla. Myös, suojauskustannukset Cs-137 -lähteellä ovat pienemmät kuin Co-60 -lähteellä. Cs-137:n puoliintumisaika on noin 30 vuotta. Pitkän puoliintumisajan vuoksi, säteilylähdettä ei tarvitse vaihtaa käyttöaikana. Sauvamainen Cs-137 -lähde on koottu useasta kappaleesta. [28]

Am-241:llä on hyvin alhainen energia (60 keV), joka on paljon helpompi suojata. Siksi on paljon pienempi lyijysuojaus riittävä. Am-241 on harvoin käytetty johtuen sen pienestä säteilyenergiasta, pääasiallisesti materiaaleille kuten tupakka ja pesu jauhe. Joskus sitä käytetään hinnakuormien ollessa hyvin alhaisia. [28]



Kuva 21. Pistemäinen (vasemmalla) ja sauvamainen säteilylähde (oikealla) [22]

Matalasta energiasta johtuen on muistettava, että säteilyn vaimennus riippuu tuotteen painon ja korkeuden lisäksi myös atomin järjestysluvusta. Tämä tarkoittaa, että tulos voi olla vääristynyt, kun kemiallinen rakenne muuttuu. Miten paljon on määriteltävä tapauskohtaisesti. [28]

8.5 Mittauskehys kuljettimelle ja säteilylähteen suojaukset

Mittauskehys on erikoisrakenne kuljetinhihnoille, ketju- ja ruuvikuljettimille. Mittauskehukseen on rakennettu lyijysuojaus sauvalähteelle. Suojausta voidaan rakentaa muistakun materiaaleista, kuten teräksestä tai volframista. Ilmaisimien on asennettu poikkipalkkiin. Mitattava materiaali virtaa lähteen ja ilmaisimen välissä. Säteily lähde on tavallisesti asennettu kuljettavan materiaalin alle. [28]

Mittauskehyksiä on kahta erilaista tyyppiä, koboltti/caesium:lle ja amerikumille. Co tai Cs -versiossa ilmaisim on asennettu vaakasuoraan kahdella pitosakkelilla poikkipalkin alle. Amerikum-mittauskehyksessä ilmaisim asennetaan pystysuoraan keskiosaan kiinnitetystä lukituslaitteesta. [28]



Kuva 22. Radiometrisen kuljetinvaan X96S kehys

Radiometrisen vaan mittauskehykset Co ja Cs-lähteille on varustettu säteilystä suojaavasta teräsputkella. Suojausputken ulkohalkaisija ja säteilyn ulostulokanavan leveys vaihtelevat valmistajista riippuen. Kun ulostulokanava on suljettu, säteily törmää terässuojukseen. Avoin säteilyn ulostulokanava on tarkoin kohdistettu tuikeilmaisimeen, joka on asennettu vastakkaiselle puolelle. Suojauksen toisella puolella on aukko sauvalähteen vaihtamiseksi, joka on varmistettu erikoislukolla ja riippulukolla. Suojuksen toisella puolella on laite säteilyn ulostulokanavan avaamiseksi ja sulkemiseksi. [28]

8.6 Ilmaisim

Tuikelaskuria käytetään ilmaisimina (kuva 23), koska vain nämä ilmaisimet tarjoavat tarvittavan suuren herkkyuden gammasäteilylle, eikä säteilykenttä rajoita niiden käyttöä. [28]

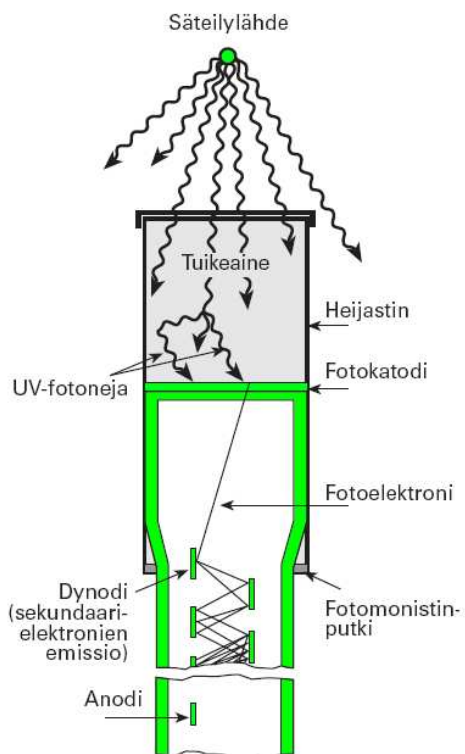


Kuva 23. Ilmais-in

Ilmais-in sisältää [31]:

- natriumjodididikettä, johon on seostettu talliumia (liite 8)
- valovahvistimen
- elektroniikkayksikön

Sisään rakennettu mikroprosessori määrittää konfiguraation, laskee pulssimäärän, ohjaa korkeajännitettä, mittaa mittapään lämpötilan, siirtää tiedot ja suorittaa kalibroinnin ja ohjaustoiminnot. Syöttö ja tietoliikenne laskentayksikköön tapahtuu kaksijohtimisella kaapelilla.

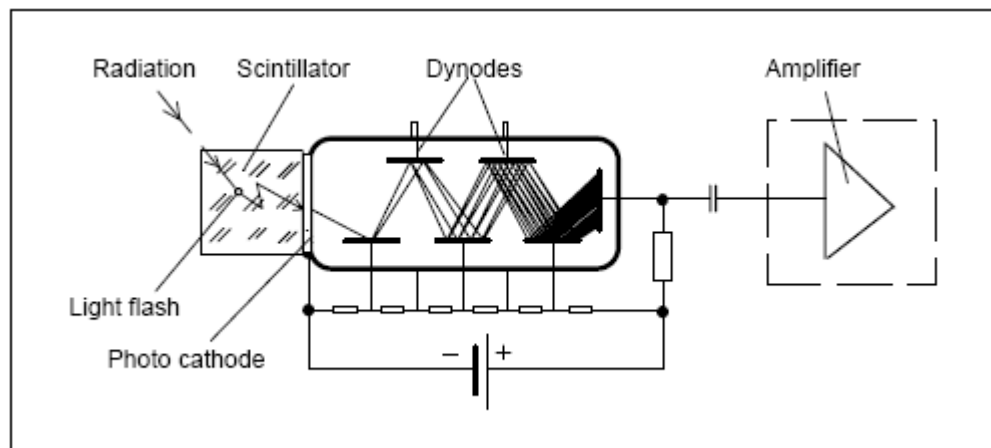


Kuva 24. Tuikeilmais-in [30]

Ilmaisimien koostuu erikoiskiteestä, joka tuottaa gammasäteilyä saadessaan valonvälähdyksiä. Valonvälähdyksen lukumäärä aikayksikköä kohti kuvaa mitatun säteilykentän voimakkuutta. Yksittäiset valonvälähdykset ovat hyvin lyhyitä, niin että suuri tarkkuus saavutetaan ja tätä ilmaisinta voidaan käyttää suuriin laskentamääriin.

Valovahvistimen valonherkkä kerros ilmaisee nämä valonvälähdykset. Tästä kerroksesta vapautuneet elektronit siirtyvät muutamaa väliänodeihin korkeajännitekaskadien avulla vapauttamaan sieltä lisää elektroneja. Tämän prosessin aikana lähes jokainen elektroni laukaisee elektroniryöpyä. Näiden saadut pulssit lasketaan ilmaisimessa ja tulokset lähetetään laskentayksikköön. Valovahvistin, joka on kytketty optisesti anturiin, muuntaa valonvälähdykset sähkösignaaleiksi.

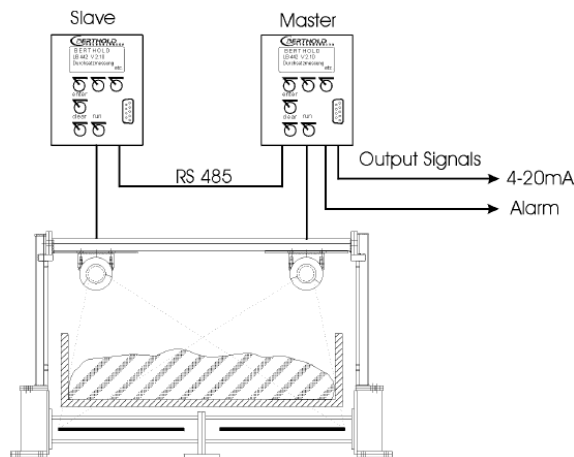
Hyvin suuren tarkkuuden ja hyvin pitkäaikaisen vakauden saavuttamiseksi, yhdysrakenteinen prosessori säätää valovahvistimen ihanteellisen käyttöasteen automaattisesti, tarkkailee raja-arvoja ja tallentaa kaikki ilmaisinkohtaiset tiedot. Teho syötetään 2-johdintekniikalla; kaikki mittaustiedot ja tiedot voidaan lähettää ilmaisimen ja laskurin välillä samanaikaisesti.



Kuva 25. Säteilyilmaisimien [32]

Ilmaisimien on asennettu tukevaan ruostumattomasta teräksestä koteloon, joka suojaa kojetta normaalilta ympäristörasitukselta. Co/Cs radiometrisissa vaa'assa ilmaisimien on asennettu mittaussivuseinän kuljettimen rinnalle, koska mittaussivuseinän sivuseinät ja keskikappale imevät itseensä suurimman osan säteilystä. Ilmaisimen aukon täytyy olla tasan lähteen yläpuolella.

Joskus kierrätyspaperia mitattaessa on käytettävä kahta ilmaisinta, johtuen kuljettimen leveydestä. Tällöin toinen ilmaisimien on yhdistettävä erityiseen orjalaskentayksikköön. Toisen ilmaisimen laskentayksikkö toimii isäntänä. Orjajärjestelmän laskentatulokset ja virheilmoitukset lähetetään isännälle RS-485-sarjaportin avulla.



Kuva 26. Isäntä/orja kytkentä

Laskentatulosten ja mahdollisten virheilmoitusten lähettämisen lisäksi slave-yksiköllä ei ole muita tehtäviä. Isäntä ottaa koko mittauksen hallintaansa. Koska molemmat ilmaisimet ovat täysin yhteensopivia, on epäolennaista, kumpi ilmaisimista on yhdistetty orjaan tai isäntään. Parametriasetus ja kalibrointi tapahtuvat master-yksikön toimesta.

8.7 Takometri

Takometriä käytetään kuljettimen nopeuden mittaamiseksi. Nopeuslähetin voi käsitellä signaalia pulssikäyntinopeusmittareista 500-5000 pulssia/kierros ja myös 0/4 - 20 mA virtasignaaleja, joista lasketaan kuljettimen nopeus.

Hihnakuljetin nopeuden mittauksissa 160 mm:n läpimittainen juoksupyörä kiinnitetään nopeusmittariin. Nopeusmittaria on asennettava niin, että takometrin pyörä on alemmalla hihnalla.

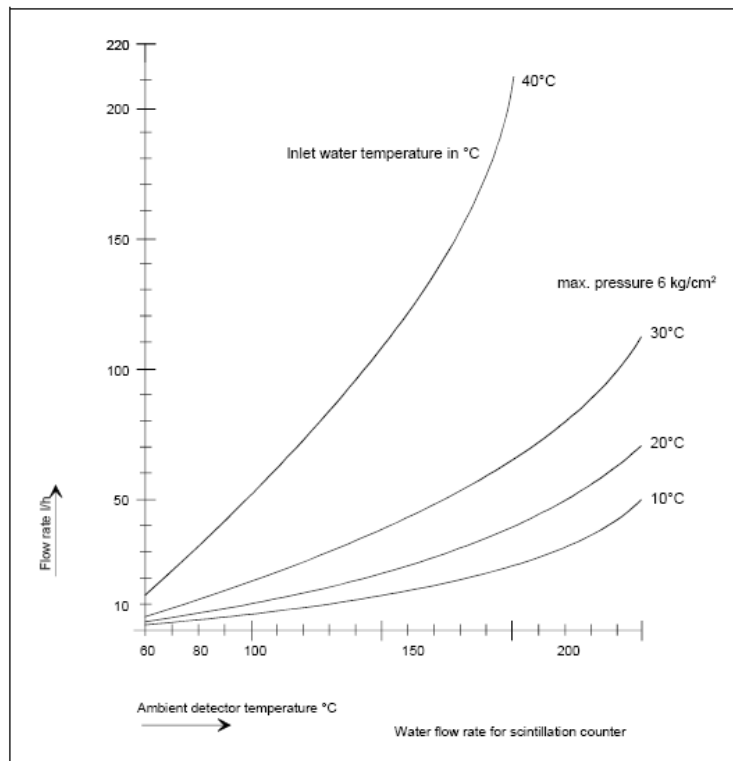
Ketju- ja ruuvikuljettimien nopeuden mittauksissa on käyntinopeusmittari kiinnitettävä pyörivään akseliin joustavalla kytkimellä. Käyttöakselin läpimitan pitäisi olla 12 mm.

Edellyttäen, että kuljettimen nopeus pysyy samana, nopeutta ei tarvitse valvoa ajantasaisesti. Kuljetinjärjestelmävalmistajien useat kokeet ja lausunnot osoittavat kuitenkin, ettei nopeus ole muuttumaton heti kuljettimen käynnistyksen jälkeen.

8.8 Vesijäähdytys

Tuikeilmaisimen suurin sallittu käyttölämpötila on 50 °C. Jos on olemassa mahdollisuus, että lämpötila nousee yli 50 °C, on pakko käyttää jäähdytysjärjestelmää. Jäähdytysaineena pitäisi ensisijassa käyttää vettä, koska ilma ei voi varmistaa riittävää jäähdytystä korkeissa lämpötiloissa. Vesi

täytyy puhdistaa likajäämien välttämiseksi jäähdytysvaipassa, jotka voivat vaikuttaa haitallisesti jäähdytystehoon.



Kuva 27. Veden tarve jäähdytykseen [28]

8.9 Säteilyvalvonta

Radioaktiivisten aineiden valvonta on Säteilyturvakeskuksen (STUK) vastuulla. Säteilysuojauslaki tuli voimaan vuonna 1957, ja lakia uusittiin vuosina 1991 ja 1998. Lain tarkoituksena on estää ja rajoittaa säteilyn haittavaikutuksia. Säteilylain ja sen perusteella annettujen säädösten ja määräysten noudattamista valvoo STUK. Säteilylaki noudattaa kansainvälisiä standardeja ja säteilyannosrajoja. Säteilytoiminnan yksityiskohtaisia säännöksiä on esitetty Säteilyturvakeskuksen säteilyturvallisuusohjeissa (ST-ohjeissa). [38] [39]

Radioaktiivisten aineiden tai radioaktiivista ainetta sisältävien laitteiden käyttöä varten on haettava STUK:in turvallisuuslupa. Säteilylain mukaan radioaktiivisten aineiden valmistus, käyttö, kuljetus, tuonti ja vienti, hallussapito ja kauppa sekä säteilyä aikaansaavien koneiden ja laitteiden käyttö on sallittua vain erityisen turvallisuusluvan nojalla. Lupa tarvitaan myös säteilyä aikaansaavien koneiden ja laitteiden asennus-, korjaus- ja huoltotyöhön, jos työ kohdistuu turvallisuuteen vaikuttavalla tavalla säteilyä tuottaviin tai siltä suojaaviin osiin. [38] [39]

Säteilylain mukaan turvallisuuslupa myönnetään, jos säteilyn käyttö täyttää seuraavat vaatimukset [38]:

- toiminnalla saavutettava hyöty on suurempi kuin toiminnasta aiheutuva haitta (oikeutusperiaate)
- toiminta on siten järjestetty, että siitä aiheutuva terveydelle haitallinen säteilyaltistus pidetään niin alhaisena kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista (optimointiperiaate)
- yksilön säteilyaltistus ei ylitä asetuksella vahvistettavia enimmäisarvoja (yksilönsuojaperiaate)
- hakemuksessa on riittävän luotettavasti osoitettu säteilyn käyttötarkoitus ja käyttöpaikka, säteilylähteet sekä säteilyn käyttöön liittyvät laitteet ja varusteet
- säteilyn käyttöorganisaatio
- järjestelyt toiminnassa mahdollisesti syntyvistä radioaktiivisista jätteistä huolehtimiseksi ovat sellaiset, että säteilyä voidaan turvallisesti käyttää.

Turvallisuuslupaa hakevan yrityksen on nimettävä säteilyn käytön turvallisuudesta vastaava johtaja ja esitettävä säteilyn käytön laatu ja laajuus sekä olosuhteet säteilyn käyttöpaikalla. Säteilyasiantuntijan pätevyys todetaan Säteilyturvallisuuskeskuksessa. Luvanhakijan on pakko luovuttaa STUK:lle seuraavat tiedot: selvitykset säteilyn käyttöpaikasta ja suojarakenteista rakenne- ja pohjapiirustuksineen, tiedot säteilylähteistä ja säteily suojausjärjestelyistä (muun muassa varoitusmerkeistä, toiminta- ja oleskelurajoituksista, säteilymittareista, suojavälineistä ja henkilökohtaisten annosten tarkkailun järjestämisestä sekä radioaktiivisten aineiden varastoimisesta ja jätteiden hävittämisestä). [38]

Työskennellessä saatu säteilyannos lasketaan kaavalla: $D=A \times k \times t / r^2 \times s$, missä

A on aineen aktiivisuus (MBq)

k on säteilyvakio (Co-60 – 0,35 μ Sv ja Cs-137 – 0,09 μ Sv)

t on aika

r on etäisyys säteilylähteestä

s on suojausluokka

Sallittu vuosisaantiraja on 5mSv. [28]

9 PUNNITUSANTURIT

Punnitusanturit voidaan jakaa neljään ryhmään: venymäliuskapunnitusanturit, taipuma-punnitusanturit, tanko-punnitusanturit, puristus-punnitusanturit, ja rengasvääntö-punnitusanturit.

9.1 Yleistä

Yleisesti puhuen punnitusanturien mittaustarkkuus on tarpeeksi hyvä.

Ylikuorma on ensisijainen syy punnitusanturin virheelle.

Punnitusanturikapasiteettia lasketaan kaavalla [33]

$LC_{cap} = Ft + Fw + (\text{omapaino} + \text{liikkuva kuorma} * Fa) / N$, missä

N - punnitusanturien lukumäärä

Fa - dynaaminen kuormatekijä

Fw - tuulivoiman vaikutus (suppiloihin)

Ft - nolla-asetuslaitteiden yhteisvaikutus:

Ft - liikkuva kuorma * nolla-asetuslaitteet (%) / (N*100)

Esimerkiksi:

Lava-asteikko, kapasiteetiltaan 1500 kg, on varustettu neljällä punnitusanturilla. Asteikolla on alkunolla-asetus 16 % ja nollaseuranta 4 %.

Omapaino = 100 kg. Punnitusanturin kapasiteetin pitäisi olla:

$Ft = 1500 * (16 + 4) / (4 * 100) = 75$

$LC_{cap} = [100 + (1500 * 1,4) / 4] + 75 + 0 = 625 \text{ kg}$



Kuva 28. Punnitusyksiköt

Mitä enemmän punnitusyksikköjä on, sitä parempi on mittaustarkkuus. Hihnavaaka mittaa jatkuvatoimisesti kuljetinhihnalla siirrettävää materiaalia painon ja hihnanopeuden perusteella. Hihnavaaka'n ohjausyksikkö kerää ja käsittelee mittaustulokset ja tuottaa punnitustuloksena vaa'an yli kulkeneen materiaalmäärän (t) ja hetkellisen massavirran (t/h).

Yksirullahihnavaaka on edullinen ja luotettava perusvaaka. Matalarakenteisena se voidaan asentaa helposti ja nopeasti olemassa olevaan hihnakuuljettimeen, jossa yksi rullasto korvataan punnitusrullastolla. Tarkempi punnitustulos saavutetaan kaksirullavaaka'alla tai monirullavaaka'alla. [46]

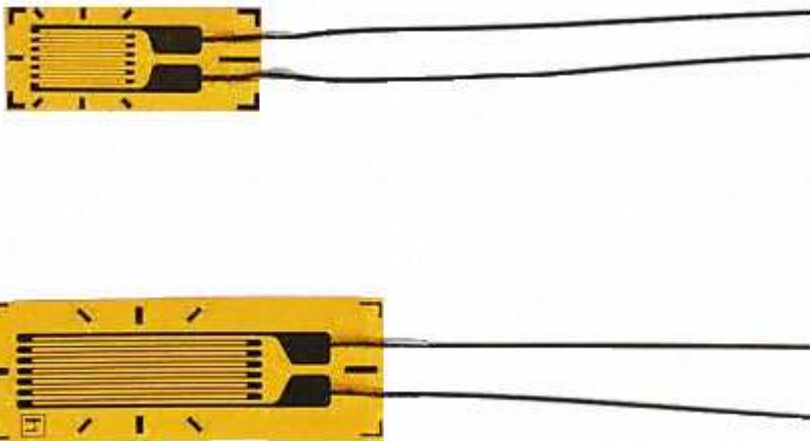
Yksirullahihnavaaka koostuu suuntaistukiperiaatteella toimivasta punnitusyksiköstä ja siihen kiinnitetystä rullastotelineestä. Punnitusanturi valitaan hihnakuorman mukaan ja punnitusrullasto valmistetaan tapauskohtaisesti tilaajan rullaprofiilin ja hihnaleveyden mukaan. Punnitusanturi on EU-testattu (OIML R60, International Organization of Legal Metrology) ja suljettu hitsaamalla. Vaaka asennetaan kuljettimen runkorakenteeseen kolmen säädettävän kiinnitysruuvin avulla. Tukeva suuntaistukirakenne säilyttää säätöarvonsa pitkäaikaisessa käytössä ja takaa hyvän punnitustarkkuuden (virhe $\pm 1...2 \%$) myös epäkeskeisillä hihnakuormilla.

Kaksirullahihnavaaka rakennetaan sijoittamalla kaksi samanlaista punnitusyksikköä peräkkäin. Tuloksena on parempi punnitustarkkuus (virhe $\pm 0,5...1$ %).

Monirullahihnavaaka tuetaan neljän punnitusanturin varaan ja varustetaan yleensä vähintään neljällä rullastolla. Tällä ratkaisulla saavutetaan paras mahdollinen punnitustarkkuus (virhe $< \pm 0,5$ %).

9.1.1 Venymäliuska - punnitusanturi

Venymäliuska-punnitusanturin pääasiallinen rakennekomponentti on tunnistava elementti tai jousielementti. Elementti on suunniteltu siten, että se muodostaa venymän, joka on suorassa suhteessa käytettyyn kuormaan. Tunnistavat elementit on tavallisesti valmistettu suurilus-seosteräksistä (niklattu ympäristönsuojelua varten), saostus-karkaistuista ruostumattomista teräksistä, lämpökäsitellyistä alumiiniseoksista tai beryllium-kupariseoksista. [33]



Kuva 29. Jousielementti

Kiinnittämällä venymäliuskat tarkasti koneistettuun elementtiin, käytetty voima voidaan tunnistaa vastuksen vaihteluina. Venymäliuskat, tavallisesti neljä tai neljän monikertoja, yhdistetään Wheatstone-sillan konfigurointiin kääntämään hyvin pienen vastusmuutoksen käyttökelpoiseksi sähkösignaaliksi. Passiivikomponentit, kuten vastukset ja lämpötilariippuvaiset johtimet, käytetään kompensoimaan ja kalibroimaan sillan ulostulosignaalia. [33]

9.1.2 Taipuma - punnitusanturit

Tunnistavat elementit, jotka altistetaan taivutusvoimille, ovat monissa konfiguroinneissa laajasti käytössä kaupallisissa muuntimissa. Taipuvat tangot tarjoavat suuria kuormitustasoja suhteellisen pienillä voimilla, mikä tekee niistä ihanteellisia pienitehoisia punnitusantureita. [33]



Kuva 30. LCDA-25 taipuma-punnitusanturi

Lisäksi, siinä tapauksessa, jolloin tangolla on symmetrinen taipuma-akseli, on aina kaksi pintaa altistettuna yhtäsuurille vastakkaissuuntaisille voimille. Tämä tarjoaa hyvän keinon kokosiltapiirin toteuttamiseksi, jolloin lämpötilan kompensointi on suhteellisen helppoa.

Useimmat taipuma-periaatetta käyttävät tuotteet ovat suunnikas- tai kaksoistaipumatyyppiä. [33]

Taipuma tarjoaa mittausperiaatteena erinomaisen lineaarisuuden. Taipuvilla tangoilla on suhteellisen korkeat rasitustasot suuremmalla taipumalla verrattuna muihin mittausperiaatteisiin. Tämä vuorostaan tarkoittaa, että vaikka kenno altistetaan suuremmalle staattiselle ylikuormalle, ovat mekaaniset pysähdykset toteuttamiskelpoisempia. Dynaamiset ylikuormaominaisuudet ovat erinomaiset tyypillisen suuren taipuman takia. [33]

9.1.3 Tanko - punnitusanturi

Tanko -punnitusanturit ovat tulleet yhä suosituimmiksi kaiken tyyppisille aineille ja suurikapasiteetti-sovelluksille. Mittausperiaatteena tarjoaa työntö vakioprofiilin annetulle kapasiteetille, hyvän vastuksen sivukuormille ja suhteellisen pienen herkkyyden kuormituspisteeseen. [33]



Kuva 31. LC501 tanko-punnitusanturi

Tangoon on koneistettu syvennys kuhunkin sivuun jättäen keskelle suhteellisen ohuen osan. Suurimman osan kuorman määräämästä työntövoimasta kantaa kiskon uuma, jolloin taivutusmomenttia vastustavat pääasiassa laipat. Neutraaliakselilla, jossa taipumarasitus on merkityksetön, rasituksen tila kiskon uumassa on puhdasta työntöä vaikuttaen pysty- ja vaakasuuntiin. [33]

Tuloksena ovat periaateakselit kohdassa 45° tangon pituussuuntaisella akselilla ja vastaavat periaatteelliset rasitukset ovat samaa suuruusluokkaa ja vastakkaismerkkisiä. Venymäliuskarit asennetaan tankouuman molemmille puolille ja yhdistetään täydeksi siltapiiriksi kuormamittausta varten. Vaikka venymäliuskojen asentaminen tietynlaiseen syvennykseen on vaikeampaa, ne voidaan mielellään tiivistää ja suojata ympäristövaikutuksilta. Työntöuman tunnistavat elementit eivät rajoitu tankokonfigurointeihin. [33]

Pienen kapasiteetin työntöpunnitusanturit ovat vaikeita valmistaa, koska ne vaativat hyvin ohuen uuman saavuttaakseen tarvittavat rasitustasot. Suuren kapasiteetin työntöpunnitusanturit perustuvat tavallisesti kaksois-työntöumaan tankokonfiguroinnissa, koska yksittäiset tangot tulevat kalliiksi ja ovat hankalia asentaa. [33]

Työntötankopunnitusanturit ovat suhteellisen epäherkkiä kuormauspisteelle ja tarjoavat hyvän vastuksen sivukuormille. Tämä yksinkertaistaa sen käyttöä monessa punnitussovelluksessa. Ylikuormitusominaisuudet ovat tavallisesti hieman parempia verrattuna taipuviin tankoihin, vaikka mekaaniset pysähdykset ovat vähemmän mahdollisia minimaalisen taipuman takia. [33]

9.1.4 Rengasvääntö - punnitusanturi

Rengasvääntö-mittausperiaate on suhteellisen uusi ja sopii hyvin kapasiteettirajoihin, joissa tavallisesti käytetään työntö- ja taipuvia tankoja.

Kuormitusmittarit on kiinnitetty elementin renkaanmuotoiseen osaan, joka taipuu kuorman vaikutuksesta. Tämä tapahtuma aiheuttaa renkaan halkaisijan pienenemisen ylhäällä, jolloin halkaisija kasvaa alhaalla. Näin ollen, yksikköä kuormitettaessa kahta mittaria puristetaan ja kahta mittaria kiristetään. [33]

Tunnistavan elementin geometrinen suunnittelu tarjoaa lisääntyviä ryömintä- ja hystereesiominaisuuksia verrattuna työntö ja taipuma-mittausperiaatteeseen. [33]



Kuva 32. LP7130 rengasvääntö-punnitusanturi

Johtuen yksikön puristuskuormatavasta, se ei kärsi tankoihin tavallisesti liittyvistä liikemääristä ja on siksi luontaisesti turvallisempi laite, jolloin pidetään yllä äärimmäisen matalaa profiilia. Mekaaninen ylikuormasuojaus saavutetaan esiasetetulla etäisyydellä kuormaa vastaanottavan renkaan ja pohjalevyn välillä. Rengasvääntö-punnitusantureilla on hyvin pieni taipuma, joka tekee niistä ihanteellisen nopeaan punnitukseen, ja ne ovat myös herkempiä šokkiylikuormalle. [33]

9.1.5 Puristus - punnitussanturit

Puristus-punnitusanturit voivat perustua työntö-, taivutus-, rengasvääntö- tai sauvamittaukseen. Sauvapunnitusanturin historia johtaa ajassa takaisin aikaisimpiin venymäliuskamuuntimiin. Sauvaelementti koostuu yhdestä (yksisauvainen) tai useammista (monisauvainen) osista. [33]



Kuva 33. LCFD-10 puristuspunnitussanturi

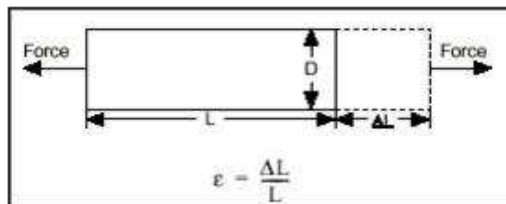
Vaikka periaatte on yksinkertainen, sauvaelementillä on lukuisia erityisominaisuuksia, jotka tekevät näistä punnitussanturityypeistä vaikeita suunnitella ja valmistaa. Itse sauvan pitäisi olla tarpeeksi pitkä sen poikkileikkauksen suhteen, tarjotakseen yhtäläisen rasituskentän riippumatta loppuolosuhteista. Koska sauvakonfigurointi altistuu toissijaisille vaikutuksille, sivuakseli- tai epäkeskisille kuormaosatekijöille, varauksia täytyy tehdä näiden minimoimiseksi, esimerkiksi käyttämällä kahta kalvoa sauvan yläpäässä. [33]

Sauvapunnitusanturit ovat luontaisesti epälineaarisia johtuen poikkileikkauksen vaihtelusta, jolloin muoto muuttuu kuormitettaessa (Poissonin suhde). Tämä epälineaarisuus voidaan kompensoida puolijohdemittarilla, yhdistämällä plus- ja miinus-herätelinjat. Puolijohdemittarin ulostulo toimii palautteena siltajännitesäädössä vastakkaisessa suunnassa epälineaarisuusvirheelle. [33]

9.2 Toimintaperiaate

Jännitystä ja venymää aiheutuu silloin, kun ulkoisia voimia kohdistetaan liikkumattomaan kappaleeseen. Jännitys on määritelty kappaleen sisäiseksi lepovoimaksi ja venymä tarkoittaa puolestaan aiheutuvaa syrjäytymistä ja muodonmuutosta. Sisäisen lepovoiman yhtenäistä jakautumista varten jännitys voidaan laskea jakamalla kappaleen alueeseen A kohdistuva voima F.

Venymä määritellään kappaleen muodonmuuttumisena jokaista pituusyksikköä kohden kuormituksen aikana. Venymä lasketaan jakamalla alkuperäisen pituuden yhteenlaskettu muodonmuutos alkuperäisellä pituudella L. [34]

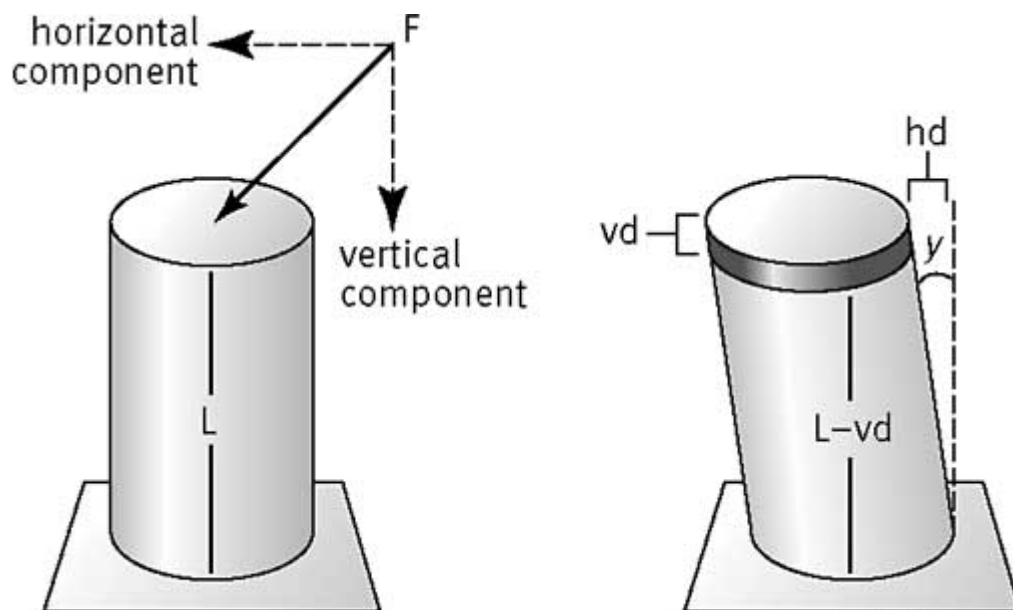


Kuva 34. Venymä [34]

Venymä voi olla puristuksen tai vedon aiheuttamaa, ja sitä mitataan yleensä venymäantureiden avulla. Lordi Kelvin oli ensimmäisenä osoittanut metalliantureiden sähkövastuksen muuttumisesta mekaanisen rasituksen vaikutuksesta vuonna 1856. Tätä ilmiötä ryhdyttiin hyödyntämään käytännössä ensimmäisen kerran 1930-luvulla. [35] [36]

Periaatteessa kaikki venymäanturit on suunniteltu muuttamaan mekaaninen liike sähköiseksi signaaliksi. Kapasitanssin, induktanssin tai vastuksen muutos on suhteessa anturiin kohdistuvaan jännitteeseen. Mikäli johtoon kohdistetaan jännitettä, johto pitenee hiukan ja sen halkaisija pienenee. Tämä puolestaan vaikuttaa johdon vastukseen R suhteutettuna johdon lujuuden venymäherkkyyteen S . Venymän vaikutuksesta venymäherkkyys, joka tunnetaan anturikerrotimeksi (gauge factor) GF saadaan seuraavalla kaavalla: Anturikerroin = $(\Delta R/R) / (\Delta L/L) = (\Delta R/R)/\text{venymä}$.

Ihanteellista venymäanturia käytettäessä, vastus muuttuisi ainoastaan sen pinnan muodonmuutoksien mukaisesti, johon anturi on kiinnitetty. Käytännössä kuitenkin lämpötila, materiaalin ominaisuudet ja anturin pintaan kiinnittävä liima sekä metallin vakaus vaikuttavat mitattuun vastukseen. Koska useimpien materiaalien ominaisuudet poikkeavat toisistaan eri suunnissa, pelkän pitkittäisvenymän selvittäminen ei yksin riitä perusteelliseen analysointiin. Lisäksi on mitattava myös Poisson-suhde, taipuma sekä vääntörasitukset. Kaikki nämä edellyttävät erilaisten venymäanturikokoonpanojen käyttöä. [35] [36]

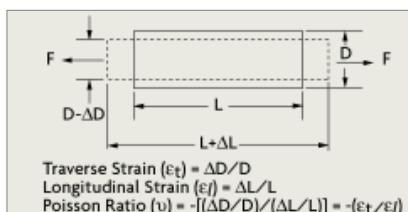


Kuva 35. Leikkausjännitys

Leikkausjännitys huomioi venyvän kohteen kulmavetäytymän. Jos horisontaalinen voima kohdistuu kappaleen oikeaan yläkulmaan se pakottaa kappaleen jonkinlaiseen puolisuunnikkaan muotoon (kuva 35).

Leikkausjännitys ilmaistaan tässä tapauksessa vertikaalisen y-akselin ja uuden asennon välisten radiaanien kulmanmuutoksena. Leikkausjännitys on tämän kulman tangenti. [35] [36]

Poisson-suhde ilmaisee venyvän tangon ohentumista ja pidentymistä (kuva 36). Poisson-suhde määritellään venymän negatiivisena suhteena poikittaissuunnassa (aiheutuu tangon halkaisijan supistumisesta), pituussuunnassa vaikuttavaan venymiseen. Pituuden kasvaessa ja halkaisijan supistuessa johdon sähkövastus kasvaa. [35] [36]



Kuva 36. Poisson-suhde

Momenttirasitus lasketaan määrittelemällä voiman ja sen aiheuttaman taipuman välinen suhde. Huolimatta siitä, että vääntörasitusta ei mitata yhtä usein kuin muuntyyppisiä rasituksia, vääntörasitus mitataan kuitenkin silloin, kun vääntymisen aiheuttama rasitus on selvitetävää. Vääntörasitus lasketaan jakamalla momenttirasitus jouston vääntökertoimella. [35] [36]

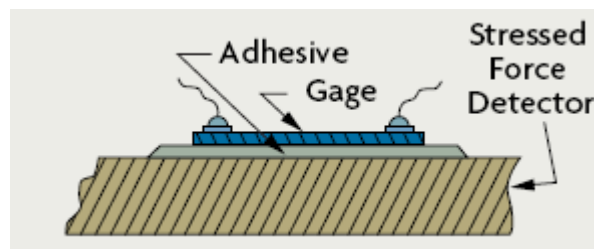
9.3 Anturityypit

Kappaleen muodonmuutos voidaan mitata mekaanisesti, optisesti, akustisesti, pneumaattisesti ja sähköisesti. Varhaisimmat venymäanturit olivat mekaanisia laitteita, jotka mittasivat venymää seuraamalla muutoksia pituudessa ja vertailemalla näitä kappaleen alkuperäiseen pituuteen. Esimerkiksi laajennusmittarissa käytetään useita erilaisia vääntöjä venymän muuttamiseksi luettavaksi arvoksi. Yleensä mekaanisilla laitteilla saadaan kuitenkin matalampia resoluutioita, ja laitteet ovat raskastekoisempia sekä hankalampia käyttää. [35] [36]

Optiset ilmaisimet ovat herkkiä ja tarkkoja, mutta samalla myös herkästi rikkoontuvia eivätkä siten kovin suosittuja teollisessa käytössä. Näissä ilmaisimissa venymän mittaamiseen käytetään optisten tasaisuuksien aiheuttamia taajuuspoikkeamia. Optiset ilmaisimet toimivat parhaiten laboratorio-olosuhteissa. [35] [36]

Yleisimmin käytetty venymän määrän mukaan vaihtuva ominaisuus on sähkövastus. Huolimatta kapasitanssiin ja induktanssiin perustuvien venymäanturien kehittämisestä, niiden tärinäherkkyys, asennusvaatimukset ja piirin vaativuus ovat rajoittaneet tällaisten ilmaisimien käyttöä. Valosähköanturi käyttää jännitettä vastaavan sähkövirran luomiseen kevyttä sädetä, kahta tiheää ritilää sekä valokennoilmaisinta. Näiden laitteiden anturin pituus voi olla vain pari millimetriä, mutta ne ovat erittäin kalliita ja helposti rikkoontuvia. [35] [36]

Ensimmäinen liimattu metallijohtoa käyttävä venymäanturi kehitettiin 1938. Metallinen, kalvolla varustettu venymäanturi koostui noin 0,025 mm paksuisesta langasta muodostuvasta ritilästä, joka oli kiinnitetty suoraan venyvään pintaan ohuella epoksihartsikerroksella (kuva 37). Tällaista pintaa rasitettaessa pinnan pituudessa tapahtuvat muutokset välitetään vastukselle, ja vastaava venymä mitataan langan lineaarisesti venymän mukana muuttuvan sähköisen vastuksen avulla. Lankakalvon ja liima-aineen on toimittava yhdessä. Venymän ja liima-aineen on toimittava myös sähköeristimenä lankaritulän sekä pinnan välissä. [35] [36]



Kuva 37. Venymäanturi

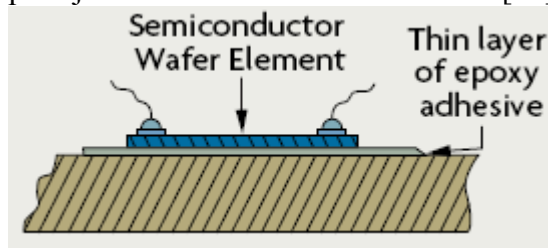
Venymäanturia valittaessa on anturin vastaavien ominaisuuksien lisäksi huomioitava myös anturin vakaus sekä lämpötilaherkkyys. Valitettavasti parhaimmat venymäanturimateriaalit ovat myös herkkiä lämpötilanvaihtelulle

ja vaste myös muuttuu antureiden käyttöiän kasvaessa. Tämä ei välttämättä ole vakava ongelma lyhytaikaisissa mittauksissa, mutta jatkuvassa teollisessa käytössä lämpötilan ja ajautumisen kompensointi on huomioitava. [35] [36]

Kaikilla venymäanturin johtomateriaaleilla on oma yksilöllinen anturikertoimensa, vasteensa, anturikertoimen lämpötilakertoimensa, vasteen lämpökertoimensa ja vakautensa. Tyypillisiä materiaaleja ovat constantan (kupari-nikkeliseos), nichrome V (nikkeli- ja kromiseos), platinaseokset (yleensä volframi), isoelastic (nikkeli- ja rautaseos) ja karma-tyyppiset seosjohdot (nikkeli- ja kromiseos), kalvot tai puolijohdemateriaalit. Yleisimmät venymäantureissa käytetyt seokset ovat kupari-nikkeliseoksia ja nikkeli-kromiseoksia. [35] [36]

1950-luvun puolivälissä Bellin laboratorion tutkijat havaitsivat germaniumin ja silikonin pietsosähköön liittyvät ominaisuudet. Huolimatta materiaalien merkittävästä epälineaarisuudesta sekä lämpötilaherkkyydestä, niiden anturikertoimet ja herkkyys olivat yli satakertaisia metallijohtoja tai kalvoja käyttäviin venymäantureihin verrattuna. Silikonikiekot ovat myös metallisia joustavampia. Venytyksen jälkeen ne palautuvat helpommin alkuperäiseen muotoonsa. [35] [36]

Ensimmäiset puolijohteita (silikonია) käyttävät venymäanturit kehitettiin noin vuonna 1970 autoteollisuuden käyttöön. Muihin venymäantureihin verrattuna nämä puolijohteita hyödyntävät venymäanturit ovat riippuvaisia pietsovasteen vaikutuksesta silikoniin tai germaniumiin, ja mittaavat vasteen muuttumista venymään verrattuna. Puolijohteilla varustettu venymäanturi on eräänlainen kiekko, jonka vasteosa on hajautettu silikonisubstraattiin. Kiekkoa ei ole yleensä tuettu, ja kiinnittäminen suoraan venyvään pintaan on tehtävä huolellisesti, sillä kiinnitykseen käytetään ainoastaan ohutta epoksikerrosta (kuva 38). Koko on merkittävästi pienempi, ja kustannukset ovat myös huomattavasti matalampia metallikalvolla varustettuun anturiin verrattuna. Samaa epoksia, jota käytetään kalvoantureiden asentamiseen, käytetään myös puolijohdeantureiden kiinnittämiseen. [35] [36]

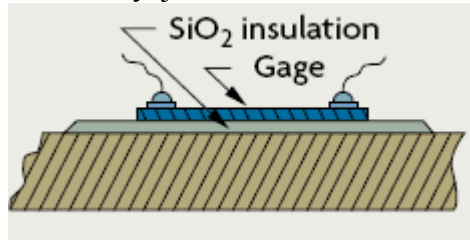


Kuva 38. Venymäanturi

Huolimatta siitä, että puolijohdekiekkojen parempi kestävyys ja herkkyys ovat selviä etuja, näiden laitteiden suurempi herkkyys lämpötilanvaihteluille ja taipumus ajautumiseen ovat haittoja metallikalvolla varustettuihin antureihin verrattuna. Toinen puolijohteita käyttäviin venymäantureihin liittyvä haitta on niiden venymän ja vasteen välisen suhteen epälineaarisuus, mikä vaihtelee 10-20 % suoran yhtälöstä. Tietokoneohjatuilla laitteilla näistä

rajoituksista voidaan päästä eroon ohjelmiston suorittaman kompensoinnin avulla. [35] [36]

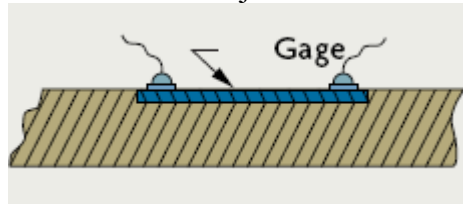
Eräs etu on myös ohutkalvoinen anturi, jota käytettäessä liima-ainetta ei tarvita (kuva 39). Anturi on valmistettu asettamalla ensin sähköeristys (yleensä keraaminen) venyvään metallipintaan ja asettamalla venymäanturi sitten tämän eristävän kerroksen päälle. Materiaalien molekyylit sidotaan toisiinsa tyhjiökasvatuksen tai sirotushöyrystyksen avulla. [35] [36]



Kuva 39. Venymäanturi

Koska ohuella kalvolla varustettu anturi kiinnitetään kohteeseen molekulaarisesti, asennus on kestävämpi ja vastearvot vaihtelevat vähemmän. Toinen etu on se, että venymän ilmaisimena voidaan käyttää metallikalvoa tai sädettä yhdessä keraamisen eristyksen kanssa. [35] [36]

Hajautetut puolijohdevenymäanturit ovat edistysaskel teknologian kehityksessä, sillä ne eivät edellytä liima-aineiden käyttöä. Lisäksi pintavuoto ja hystereesi poistuvat liima-aineen puuttumisen vuoksi. Hajautettu puolijohdevenymäanturi käyttää valolitografiaan perustuvia suojausmenetelmiä ja kiinteän boorin diffuusiota vaste-elementtien sitomiseen. Sähköjohdot kiinnitetään suoraan kuvioon (kuva 40). [35] [36]

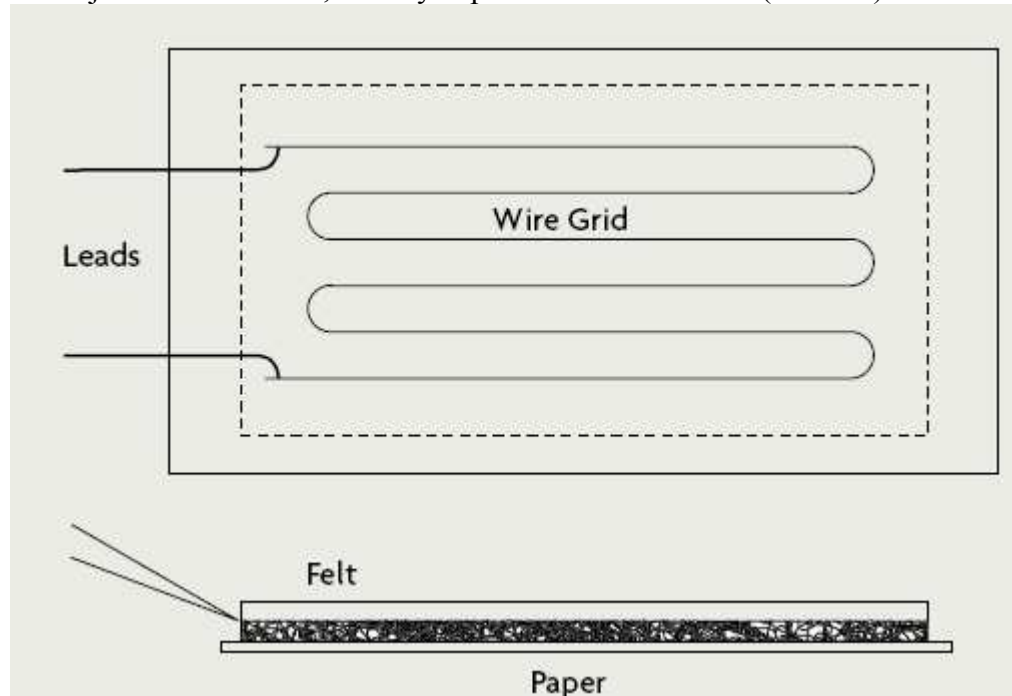


Kuva 40. Venymäanturi

Hajautetun anturin käyttö rajoittuu lämpötilaltaan kohtuullisiin sovelluksiin ja edellyttää lämpötilan kompensointia. Hajautettuja puolijohdeita käytetään usein ilmaiselementteinä paineenilmaisimissa. Ne ovat pienikokoisia, edullisia, tarkkoja ja toistettavia. Paineasteikko on laaja ja lähtösignaali on voimakas. Haittapuolia ovat ympäristölämpötilaan liittyvä herkkyys, mikä voidaan kuitenkin kompensoida älykkäällä siirtolaitetekniikalla. [35] [36]

Yhteenvedävästi voidaan sanoa, että ihanteellinen venymäanturi on pienikokoinen ja kevyt, edullinen, helposti kiinnitettävä ja äärimmäisen herkkä venymän suhteen, ja reagoi mahdollisimman vähän ympäristölämpötilan tai prosessilämpötilan muuttumiseen. [35] [36]

Liimatun puolijohteisen venymäanturin rakennetta kuvattiin kuvioiden avulla kuvissa 37 ja 38. Nämä laitteet ovat suosittuja venymän mittauskeinoja. Anturi koostuu erittäin ohuesta metallilangasta koostuvasta ritilästä, kalvosta tai puolijohdemateriaalista, joka on liimattu mitattavaan pintaan tai välittäjäatriisiin ohuen, eristetyn epoksikerroksen avulla (kuva 41).



Kuva 41. Liimattu puolijohteinen venymäanturi

Venymän kohdistuessa välittäjäatriisiin, venymä siirtyy liiman kautta ritilään. Sähkövasteen vaihtelua ritilässä mitataan venymän mittaamiseksi. Ritilä on muodoltaan sellainen, että muodostuva vaste on mahdollisimman suuri samalla kun anturin pituus ja leveys ovat mahdollisimman pieniä. [35] [36]

Liimatuilla venymäantureilla on hyvä maine. Ne ovat verrattain edullisia, ja niiden yleinen tarkkuus on yli $\pm 0.10\%$. Niistä on saatavilla lyhyitä malleja, eivätkä ne reagoi voimakkaasti lämpötilanmuutoksiin. Ne ovat kooltaan pieniä, sekä kevyitä ja erittäin herkkiä. Liimattavia venymäantureita voidaan käyttää sekä staattisen että dynaamisen venymän mittaamiseen. [35] [36]

Venymäantureiden osia venyvään pintaan liimattaessa on tärkeää muistaa, että saman venymän on kohdistuttava sekä anturiin että pintaan. Ilmaisimien ja pinnan väliin laitetaan liimaa, joten kokoonpano altistuu herkästi liimauksen heikentymisestä juontuvalle pintavuodolle sekä termoelastisen venymän aiheuttamalle hystereesille. Useat liimat ja epoksihartsit ovat herkkiä pintavuodoille, joten on tärkeää käyttää nimenomaan venymäantureille suunniteltuja hartseja. [35] [36]

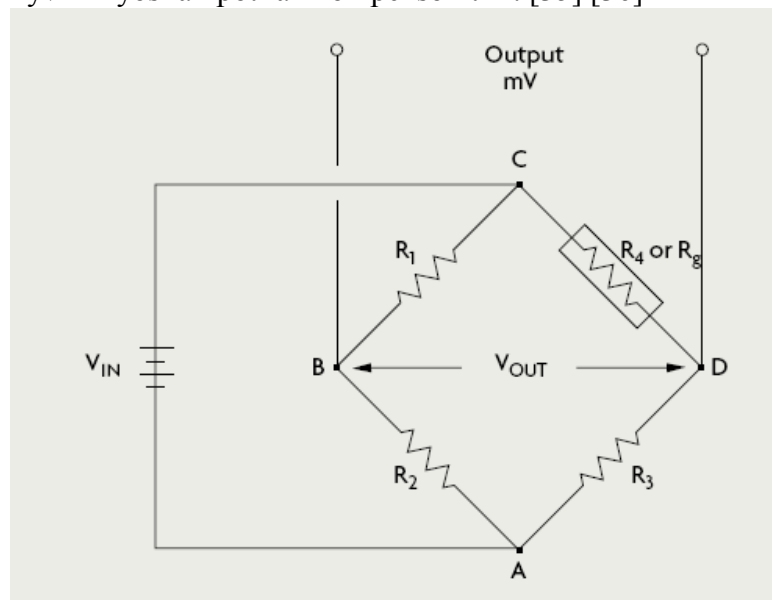
Liimattu venymäanturi sopii useissa erilaisissa ympäristöolosuhteissa tapahtuvaan käyttöön. Venymäanturilla voidaan mitata venymää erittäin korkeissa lämpötiloissa toimivissa suihkumoottoreissa sekä kryptoteknisiä nesteitä käyttävissä sovelluksissa jopa niinkin alhaisissa lämpötiloissa kuin -269C (-452F). Anturit ovat kevyitä ja pienikokoisia, sekä erittäin herkkiä, ja sopivat siten sekä staattisiin että dynaamisiin sovelluksiin. Kalvo-osat ovat saatavissa $120 - 5000$ ohm vastusyksiköillä. Antureita, joiden pituus on $0,008 - 4,0$, myydään yleisesti. Kolme tärkeintä tekijää anturia valittaessa ovat käyttölämpötila, mitattavan venymän ominaisuudet sekä vakaudelle asetettavat vaatimukset. Lisäksi sopivan välittäjäaineen, ritiläseoksen, liiman ja suojaavan pinnoituksen valinta auttaa varmistamaan sovelluksen toimivuuden. [35] [36]

9.4 Mittauspiirit

Venymää vasten mittaamiseen tarkoitetulla liimatulla venymäanturilla mitattaessa kyseinen anturi on kytkettävä sähköpiiriin joka kykenee mittaamaan pienimmätkin venymää vastaavat muutokset vasteessa. Venymäantureiden muuntimissa käytetään yleensä neljää venymäanturielementtiä, jotka on kytketty sähköisesti Wheatstonen siltapiiriin muodostamiseksi. [35] [36]

9.4.1 Wheatstonen silta

Wheatstonen silta on jaettu siltapiiri, jota käytetään staattisen sekä dynaamisen sähkövasteen mittaamiseen. Wheatstonen sillan lähtöjännite ilmaistaa millivoltitana yhtä voltituloa kohden. Wheatstonen piiri sopii hyvin myös lämpötilan kompensointiin. [35] [36]



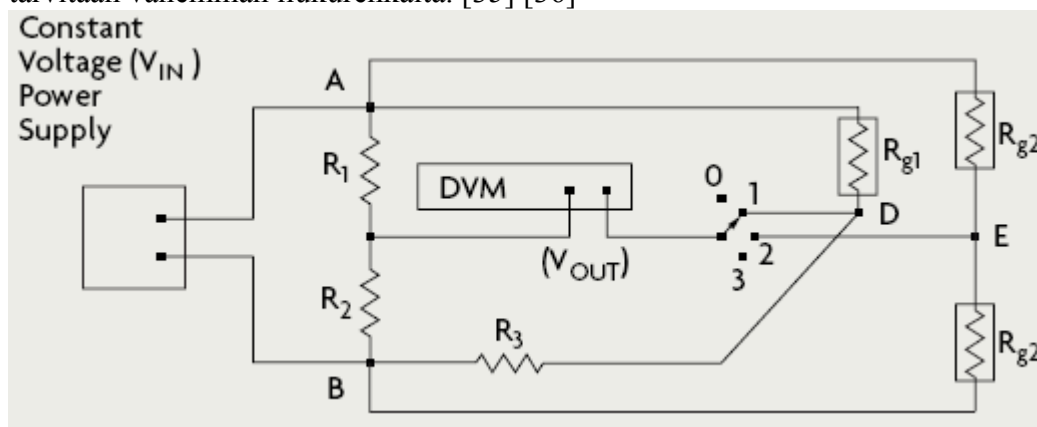
Kuva 42. Wheatstonen silta

kohdistuu puristava voima ja toinen pingottuu, voi osoittautua hyödylliseksi. Tällaisessa kokoonpanossa sillan teho voidaan tehokkaasti kaksinkertaistaa samaa venytystä varten. Kokoonpanoissa, joissa kaikki haarat on kytketty venymäantureihin, lämpötila kompensoidaan automaattisesti, sillä lämpötilavaihteluiden aiheuttamat muutokset vasteessa ovat samoja kaikissa sillan haaroissa. [35] [36]

Neljästä osasta koostuvassa Wheatstonen sillassa yleensä kaksi anturia on puristuksessa ja kaksi pingotettu. Esimerkiksi, mikäli R1 ja R3 on pingotettu (positiivinen) ja R2 sekä R4 on puristettu (negatiivinen), lähtö suhteutetaan kaikkien erikseen mitattujen venymien summaan. Silta on epätasapainossa venymäeroja vastaavassa suhteessa silloin, kun käytetään vierekkäisissä haaroissa sijaitsevia antureita. Mikäli anturit sijaitsevat vastakkaisissa haaroissa, sillan tasapaino on suhteessa venymien summaan. Taivutusrasitusta, aksiaalirasitusta, leikkausrasitusta tai vääntörasitusta mitattaessa, venymäanturin kokoonpano määrittelee lähdön sekä mitattavan venymän välisen suhteen. Kuten kuvasta 42 ilmenee, venymän voidaan olettaa olevan negatiivinen antureissa R1 ja R4 silloin kun positiivista vetorasitusta ilmenee antureissa R2 ja R3 ja yhteenlaskettu teho (V_{out}) vastaa tällöin yksittäisen anturin nelinkertaista vastetta. [35] [36]

9.4.2 Chevronin silta

Kuvassa 44 on esitetty Chevronin silta. Kyseessä on useasta kanavasta koostuva kokoonpano, joka kompensoi sillan haarojen vasteissa ilmeneviä muutoksia vaihtamalla niitä säännöllisesti. Tässä neljää sijaintia käytetään digitaalisen jännitemittarin (DVM) vaihtamiseksi G-sillan (yksi aktiivinen mittari) ja H-sillan (kaksi aktiivista mittaria) konfigurointien välillä. DVM-mittauslaite jakaa aina virransyötön sekä sisäisen H-sillan. Tämä on suosituin kokoonpano pyörivien laitteiden rasituksen mittaamisessa, sillä mittaamiseen tarvitaan vähemmän liukurenkaita. [35] [36]

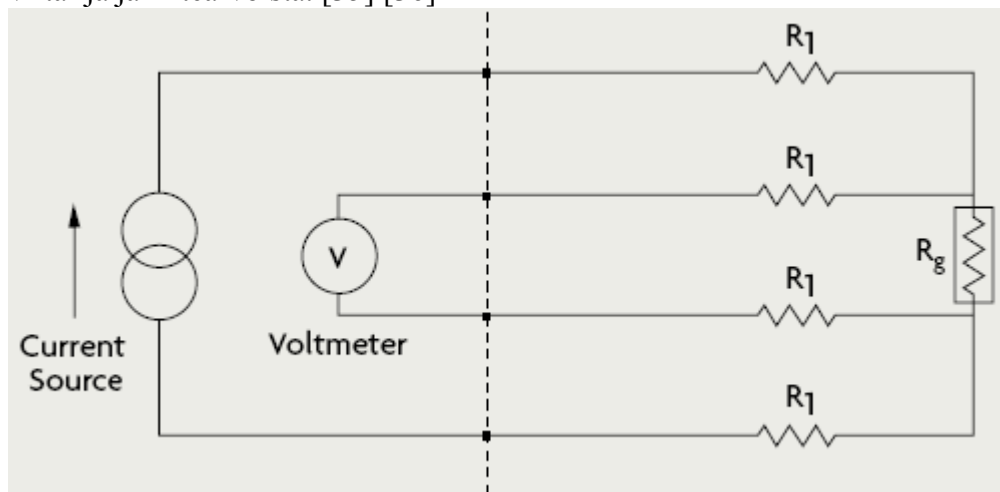


Kuva 44. Chevronin silta

9.4.3 Neljän johdon Ohm-piiri

Huolimatta siitä, että Wheatstonen silta on suosituimpia tapoja mitata sähkövastetta, myös muita menetelmiä voidaan käyttää. Neljällä johdolla varustettu ohm-piiriin hyvä puoli on se, että johdot eivät vaikuta mittaukseen, sillä jännite kohdistetaan suoraan venymäanturiosaan. [35] [36]

Neljällä johdolla varustetusta ohm-piiristä koostuva kokoonpano voi sisältää myös jännitemittarin, virtalähteen ja neljällä johdolla varustettuja resistoreja R_1 , jotka on kytketty sarjaan anturin vastuksen kanssa (kuva 45). Jännitemittari kytketään ohms DVM-laitteen ilmaisinsiirtimiin ja virtalähde kytketään DVM-laitteen ohms-liittimiin. Venymän mittaamiseksi, heikkovirta (yleensä yksi milliampeeri) ohjataan piiriin. Jännitemittarin mitatessa jännitehäviötä R_g :ssä, absoluuttinen vastearvo lasketaan multimetrin avulla virta- ja jännitearvoista. [35] [36]



Kuva 45. Ohm-piiri

Mittaus suoritetaan yleensä mittaamalla ensin anturin vastearvo rasittamattomassa tilassa ja suorittamalla mittaus sitten uudelleen rasituksen alaisuudessa. Mitatut arvot jaetaan rasittamattomalla vasteella, jolloin tulokseksi saadaan venymän murto-osa. Tätä arvoa käytetään venymän laskentaan yhdessä anturikertoimen (GF, gauge factor) kanssa.

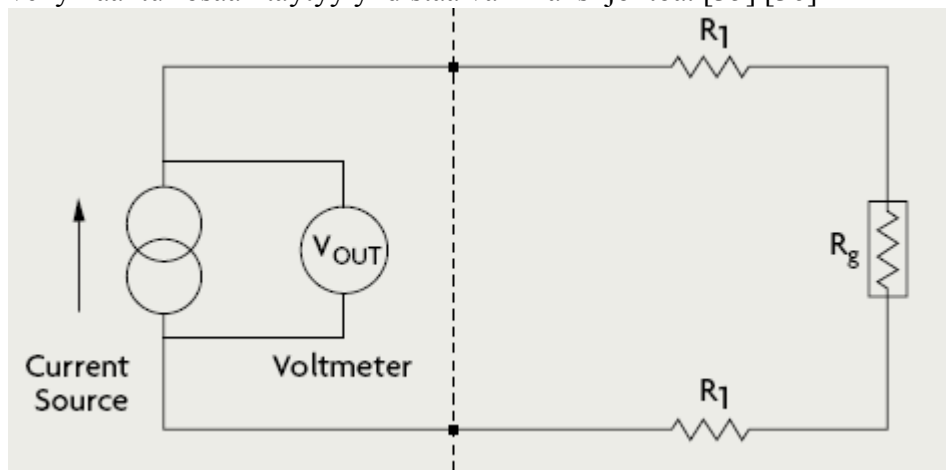
Neljän johdon piiri sopii myös automaattisen siirtojännitteen kompensointiin. Jännite mitataan ensin silloin kun virtaa ei ole. Tämä mitattu arvo vähennetään sitten jännitelukemasta virran ollessa päällä. Lopputuloksena saatavaa jännite-erotusta käytetään sitten anturin vasteen laskentaan. Herkkyytensä vuoksi, neljällä johdolla varustettuja antureita käytetään pientaajuuksisen dynaamisen rasituksen mittaamiseen. Korkeamman taajuuden rasitusta mitattaessa, sillan lähtöä on tehostettava. Samaa piiriä voidaan käyttää myös puolijohteella varustetuissa venymäantureissa sekä erittäin nopeissa digitaalisissa jännitemittareissa. Mikäli DVM:n herkkyys on 100 mikrovoltia, virtalähde on 0,44 milliampeeria, venymäanturielementin

vastus on 350 ohm ja anturikerroin on 100 ja mittauksen resoluutio on 6 microstrain -yksikköä. [35] [36]

9.4.4 Vakiovirtapiiri

Vaste voidaan mitata herättämällä siltaa joko vakiojännitteellä tai vakiovirtalähteen avulla. Koska $R = V/I$, mikäli V tai I pysyy muuttumattomana, toinen vaihtelee vasteen mukaan. Molempia menetelmiä voidaan käyttää. [35] [36]

Huolimatta siitä, että vakiovirtalähteen käyttöön ei liity teoreettista hyötyä (kuva 46) vakiojännitteeseen verrattuna, joissain tapauksissa sillan anto on lineaarisempi vakiovirtaa käyttävässä järjestelmässä. Vakiovirtalähdettä käytettäessä ei myöskään jännitettä tarvitse havaita sillasta, joten venymäanturiosaan täytyy yhdistää vain kaksi johtoa. [35] [36]



Kuva 46. Vakiovirtapiiri

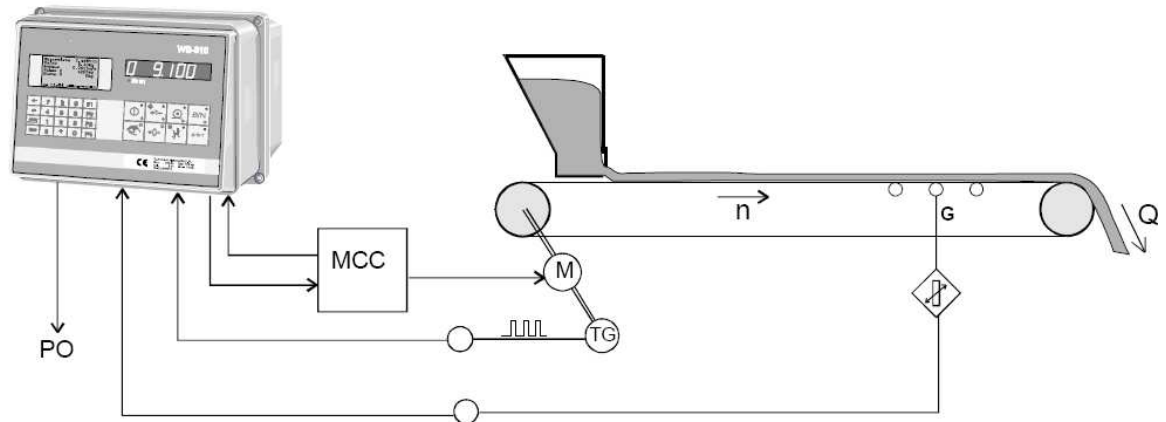
Vakiovirtapiiri on tehokkaimmillaan dynaamista venymää mitattaessa, sillä dynaamisen voiman muuttaessa venymäanturin (R_g) vastetta, tällöin mitattaisiin lähdön (V_{out}) ajallisesti muuttuvaa osaa, jolloin hitaasti muuttuvat vaikutukset, kuten esimerkiksi lämpötilanvaihtelun johdon päävasteessa aiheuttamat muutokset jäisivät huomaamatta. Tämän kokoonpanon avulla lämpötilaryöminnät ovat miltei olemattomia. [35] [36]

9.5 Ohjain

Ohjain on tärkeä osa punnitusjärjestelmää. Ohjain on varustettu näyttöllä ja ohjauspaneelilla. Ohjaimia voidaan liittää laajempaan ohjausjärjestelmään sarjaliitännän kautta. [42] [43]

9.5.1 Summaava hihnaavaaka

Summaavan hihnavaa'an ohjaimen tehtävä on summata vaa'an kautta kulkevaa materiaalimäärää. [44] [46]

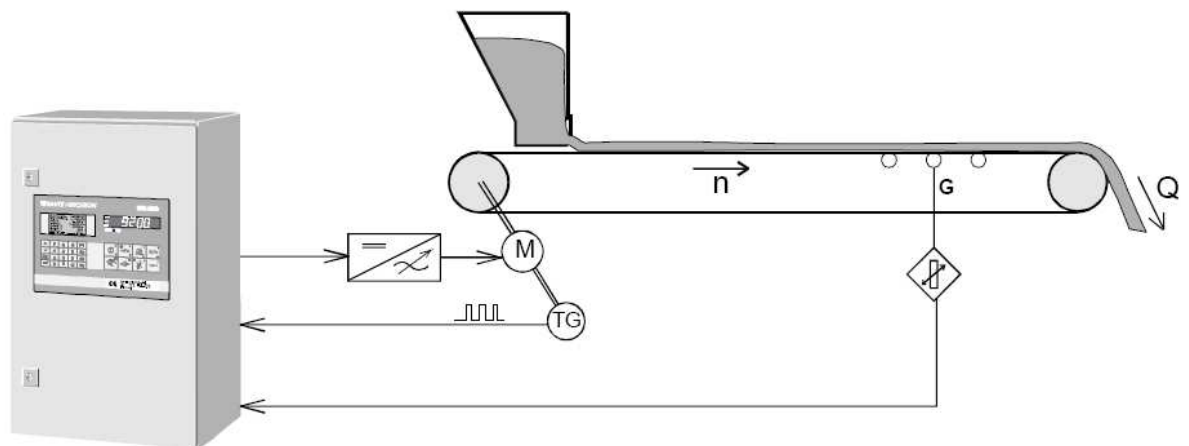


Kuva 47. Summaavan hihnavaa'an toimintaperiaate [42]

Hihnalla kulkevan materiaalin paino (G) mitataan mittausrullaston kohdalla punnituskennon avulla. Hihnan nopeus mitataan pulssitakometrillä (TG). Ohjaimesta saatu ohjaustieto 24VDC käytetään moottorin ohjaukseen. [42]

9.5.2 Annosteleva hihnaavaaka

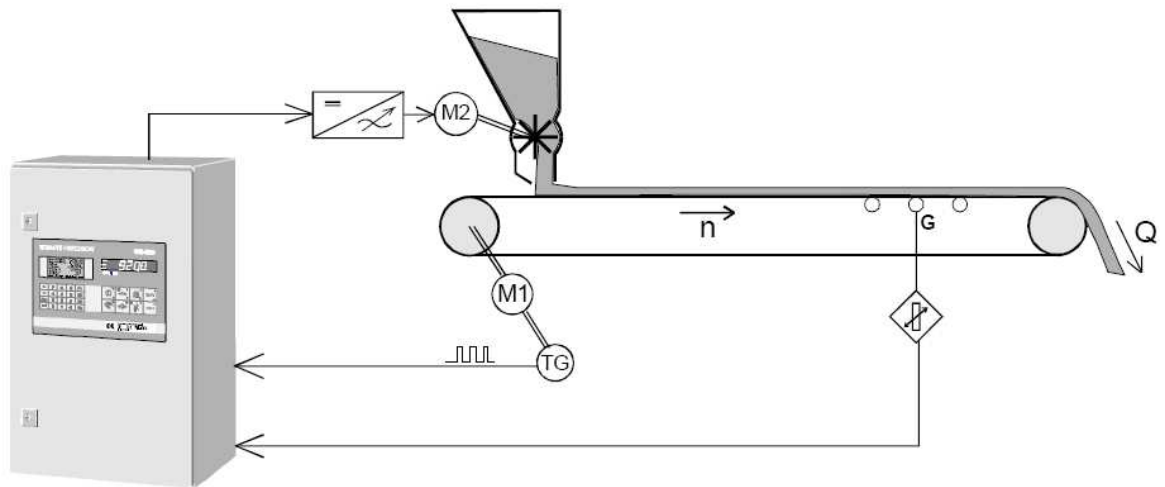
Ohjaimen tehtävänä on pitää vaa'an kautta kulkeva materiaali virta asetellussa arvossa ja laskea vaa'an kautta kulkevaa materiaalimäärää. Hihnavaa'an ohjaus voi olla nopeus- tai syöttösäiteinen. [43]



Kuva 48. Nopeussäiteisen hihnavaa'an toimintaperiaate [43]

Nopeussäiteisessä ohjauksessa materiaalin syöttö on vakio ja hihnan nopeutta säädetään. Materiaalin syötössä tapahtuvat vaihtelut kompensoidaan muuttamalla vastaavasti hihnan nopeutta (n), jolloin hihnalta lähtevä

materiaalivirta (Q) pysyy vakiona. Hihnan nopeus mitataan pulssitakometrillä (TG) ja hihnan nopeutta muutetaan ajomoottorin (M) nopeutta muuttamalla. Hihnalla kulkevan materiaalin paino (G) mitataan mittausrullaston kohdalta punnituskennon avulla. [43]



Kuva 49. Syöttösäateisen hihnavaa'an toimintaperiaate [43]

Syöttösäateisessä hihnavaa'ssa materiaalivirtaa (Q) pidetään vakiona säätämällä materiaalin syöttötoimilaitetta punnituskennon mittaaman painon perusteella. Säädössä kompensoidaan myös mahdolliset hihnan nopeusvaihtelut. Hihnan nopeuden mittaus suoritetaan pulssitakometrin avulla. [43] Takometri lähettää pulsseja, joista jokainen vastaa määrättyä hihnan siirtymää, joten sen avulla voidaan mitata sekä hihnan pituus että sen nopeus. [41]

9.5.3 Kalibrointi

Kalibrointi suoritetaan ajamalla tunnettu materiaalimäärä hihnavaa'an kautta ja vaa'an laskemaa materiaalimäärää verrataan tunnettuun materiaalipainoon. Sitten lasketaan korjauskerroin kaavalla $\text{korjauskerroin} = \frac{\text{punnittu paino}}{\text{mitattu paino}}$. Korjauskertoimen arvo merkitään ylös ja nollataan summalaskuri. Hihna käynnistetään normaalitilassa. Kun punnittu materiaalimäärä on poistunut hihnasta kuljetin pysäytetään. Sen jälkeen tunnettu paino verrataan summalaskurista saatuun arvoon. [44]

9.6 Asennus ja käyttö

Venymäanturipiirin antona on erittäin matala jännitesignaali, mikä edellyttää vähintään 100 mikrovoltin herkkyyttä tai parempaa herkkyyttä. Signaalin mataluus tekee siitä erityisen herkän muiden sähkölaitteiden aiheuttamalle tarpeettomalle häirinnälle. Liian lähellä vaihtovirtakaapeleita sijaitsevien johtojen aiheuttama kapasitiivinen kytkentä tai maavirta ovat mahdollisia virheiden aiheuttajia venymää mitattaessa. Muita virheidenaiheuttajia voivat

olla magneettisesti indusoituneet jännitteet, joita aiheutuu silloin kun johdot kulkevat vaihtelevien magneettikenttien kautta, sekä johtojen tarpeettomat kosketinresistanssit, eristyksen rikkoontuminen ja termoelementin vaikutukset erilaisten metallien risteymäkohdissa. Tällaiset häiriöt voivat yhdessä aiheuttaa merkittävää signaalin heikentymistä. [35] [36]

9.6.1 Suojaus

Suurin osa sähköisiin häiriöihin sekä meluun liittyvistä ongelmista voidaan ratkaista suojauksen avulla. Mittausjohtojen suojaaminen estää häiriöitä ja voi myös vähentää kaikkia eristyksen heikentymisen aiheuttamia ongelmia. Suojaus suojaa mittausta myös kapasitiiviselta kytkennältä. Mikäli mittausjohdot reititetään lähelle sähkömagneettista häiriötä aiheuttavia kohteita, kuten muuntimia, johtojen kiertäminen vähentää magneettisen induktion aiheuttamaa signaalin häiritsemistä. Johtoja kierrettäessä, magneettivirtavuo kääntyy ja alueet, joihin virta kohdistuu, kumoutuvat. Kierrettyjä ja suojattuja johtoja käytetään miltei poikkeuksetta teollisissa sovelluksissa. [35] [36]

Varsinaisten laitteiden suojaus on aivan yhtä tärkeätä kuin johtojen suojaaminen. Suoja on levy metallista valmistettu laatikko, joka ympäröi analogista piiristöä ja on kytketty suojaukseen. Mikäli maavirrat virtaavat venymäanturielementtiin tai sen johtoihin, Wheatstonen siltapiiri ei erota niitä virtalähteen aiheuttamasta virtauksesta. Laitteiston suojaaminen takaa kuitenkin sen, että sähkökomponenttien liittinten jännite on sama, mikä estää tarpeettomat virtaukset. [35] [36]

Testattavan kappaleen ja virransyötön negatiivisen liittimen väliin asennettu suojajohto tarjoaa toisen reitin mittauspiirin ohitse. Luomalla suojajohdolla varustetun retin virheitä aiheuttavan virran reitille, kaikki osat (kuormittamaton virtalähde, venymäanturi, kaikki muut mittauslaitteet) ovat jännitteeltään samoja kuin testattava kohde. Käyttämällä kierrettyjä ja suojattuja johtoa sekä integroimalla DVM-laitteet suojaukseen, yhteiset meluhaitat voidaan poistaa miltei kokonaan. [35] [36]

9.6.2 Vakaus

Venymäanturin mittausjärjestelmän tulisi olla vakaa eikä se saisi muuttua eri aikoina. Kalibroituja laitteiden kalibrointi muuttuu ja heikkenee jonkin verran ajan myötä. Liimattujen venymäantureiden ilmaisimien vakaus on hajautettuja venymäanturin elementtejä heikompi. Puutteellisen liimauksen aiheuttama hystereesi sekä pintavuodot ovat tärkeimpiä epävakauden aiheuttajia erityisesti korkeissa käyttölämpötiloissa. [35] [36]

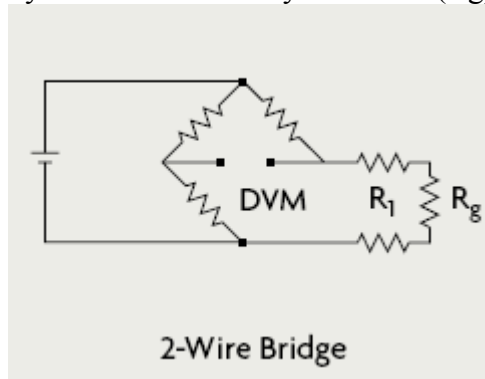
Ennen venymäantureiden osien kiinnittämistä on varmistettava, että rasituksen kohteena oleva ilmaisin on yhtenäinen ja homogeeninen, sillä kaikki mahdolliset pinnan epätasaisuudet aiheuttavat virheitä vakaudessa.

Jäännösrasituksien poistamiseksi voiman mittaamiseen käytettävistä välineistä, kyseiset laitteet on karkaistava perusteellisesti, kovetettava ja rasitus on poistettava lämpötilan avulla tehtävällä vanhentamisella. Ilmaisimet, joiden voiman mittaamiseen käytettävät laitteet on varustettu jousilla, kalvoilla tai palkeilla, on myös eristettävä mekaanisesti. Näin ilmaisinosia suojataan asennuksen tai sähköjohtojen ilmaisimeen kiinnittämisen aiheuttamalta rasitukselta. [35] [36]

Vakaita ilmaisimia, kuten kerrostettuja ohutkalvoisia elementtejä käytettäessä, ja voiman mittaukseen käytettävän laitteen rakenteen ollessa suunniteltu asianmukaisesti, tasapainotus sekä kompensoivat vastukset ovat riittäviä laitteen säännölliseen uudelleenkalibrointiin. Vakaimmat ilmaisimet on valmistettu platinasta tai muusta matalan lämpötilakertoimen omaavista materiaaleista. ilmaisimen käyttö sen määriteltujen rajoitusten puitteissa on myös tärkeää. Muussa tapauksessa kalibroinnissa voi ilmetä pysyviä muutoksia. ilmaisimen altistaminen käyttörajoitukset ylittävälle tai alittaville lämpötiloille voi myös heikentää laitteen tehokkuutta. Ilmaisimien on myös suojattava värinältä, kiihdytykseltä sekä iskuilta. [35] [36]

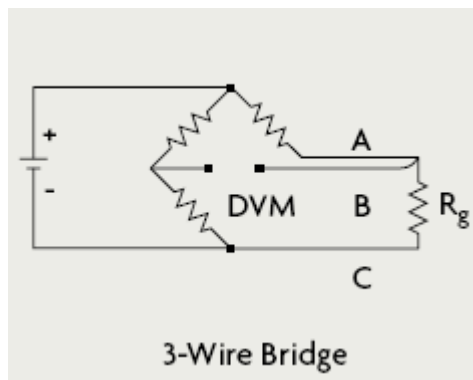
9.6.3 Johdon vaikutukset

Venymäanturit kiinnitetään toisinaan jonkin matkan päähän mittauslaitteesta. Tämä lisää lämpötilanvaihteluiden aiheuttamien virheiden määrää, johdon herkyyden heikentymistä sekä johdon vasteen muutoksia. Kahta johtoa käyttävässä kokoonpanossa (kuva 50), kaksi johtoa on kytketty sarjaan venymäanturiosan kanssa eikä mitään johdon vastuksenen muutoksia (R_1) kyetä erottamaan venymäanturin (R_g) vasteesta tapahtuvista muutoksista.



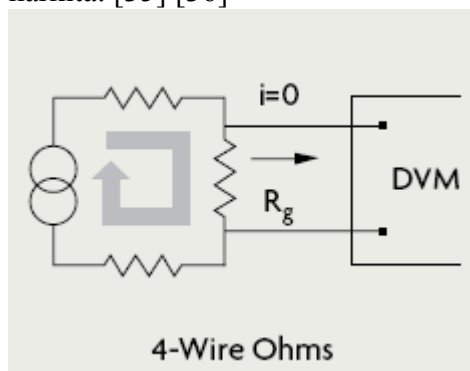
Kuva 50. 2-johto silta

Johdon vaikutuksien korjaamiseksi ylimääräinen kolmas johto voidaan asentaa sillan ylimpään haaraan kuvan 51 mukaisesti. Tällaisessa kokoonpanossa johto C toimii havaitsevana johtona, jossa ei ole virtaa, ja johdot A ja B sijaitsevat sillan vastapäisissä haaroissa. Tämä on hyväksytty vähimmäisvaatimus venymäantureiden siltaan kytkemisessä, jotta jatkojohtojen aiheuttamia virheitä voitaisiin poistaa ainakin jonkin verran. [35] [36]

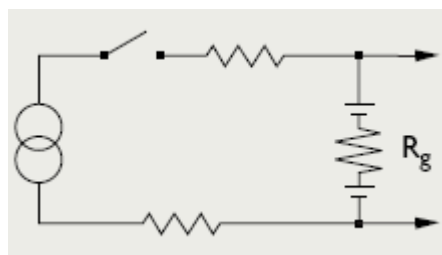


Kuva 51. 3-johto silta

Teoriassa täysi kompensointi on mahdollista saavuttaa, mikäli ilmaisimeen kiinnitetyillä johdoilla on sama nimellisarvo, sama lämpötilakerroin, ja niiden lämpötila pysyy samana. Todellisuudessa johtojen valmistuksessa on huomioitu noin 10 % toleranssi ja kolmea johtoa käyttävät kokoonpanot eivät täysin eliminoi kahden johdon virheitä, mutta vähentävät niitä kuitenkin kokojärjestyksessä. Mikäli parempia tuloksia halutaan saavuttaa, neljästä johdosta koostuvia ja kompensoivia kokoonpanoja (kuvat 52 ja 53) kannattaa harkita. [35] [36]



Kuva 52. 4-johdon piiri



Kuva 53. Kompensoiiva piiri

Kahta johtoa käyttävissä kokoonpanoissa johdon vastuksen aiheuttama virhe liittyy suhteen R_1/r_g vasteen toimintaan. Johdon virhe ei ole yleensä merkittävä, mikäli johdon vastus (R_1) on matala anturin vastukseen (R_g) verrattuna, mutta mikäli johdon vastus on yli 0,1 % anturin nimellisarvosta, tämä virhetekijä muuttuu merkittäväksi. Tästä syystä johdot on

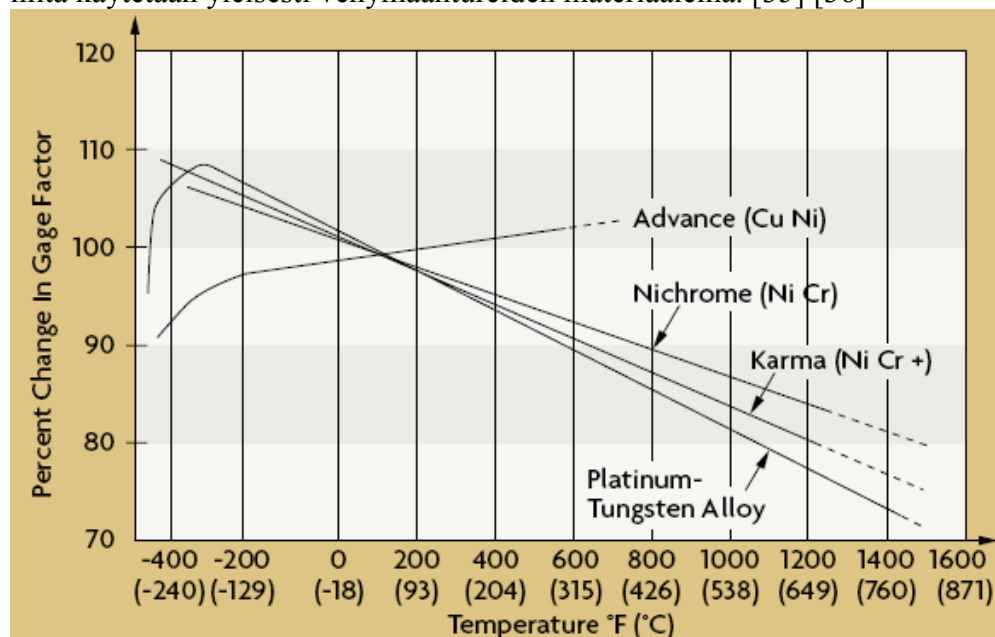
pidettävä mahdollisimman lyhyinä teollisissa sovelluksissa tai poistettava sijoittamalla lähetin suoraan ilmaisimeen. [35] [36]

9.6.4 Lämpötila ja anturikerroin

Venymän havaitsemiseen käytettävien materiaalien, kuten kuparin, sisäinen rakenne muuttuu korkeissa lämpötiloissa. Lämpötila ei muuta ainoastaan venymäanturin ominaisuuksia, vaan voi muuttaa myös sen materiaalin ominaisuuksia, johon venymäanturi on kiinnitetty. Anturin ja perusmateriaalin väliset laajentumiskertoimien erot voivat aiheuttaa muutoksia anturin mitoissa. [35] [36]

Venymäanturin ja/tai alusmateriaalin laajentuminen ja supistuminen aiheuttaa virheitä, joita on vaikea korjata. Esimerkiksi resistiivisyyden muuttuminen tai venymäanturin elementin vasteen lämpötilakertoimien muuttuminen muuttaa laitteen kalibrointiin käytettävää nollapistettä. [35] [36]

Anturikerroin tarkoittaa ilmaisimen herkkyyttä venymälle. Valmistajan tulisi aina ilmoittaa anturikertoimen lämpötilaherkkyttä koskevat tiedot. Kuva 54 esittää erilaisten venymäanturimateriaalien anturikertoimien vaihteluja käyttölämpötilan osalta. Kupari-nikkeliseoksien, kuten esimerkiksi Advancen, anturikertoimet ovat suhteellisen herkkiä käyttölämpötilan muutoksille, joten niitä käytetään yleisesti venymäantureiden materiaaleina. [35] [36]

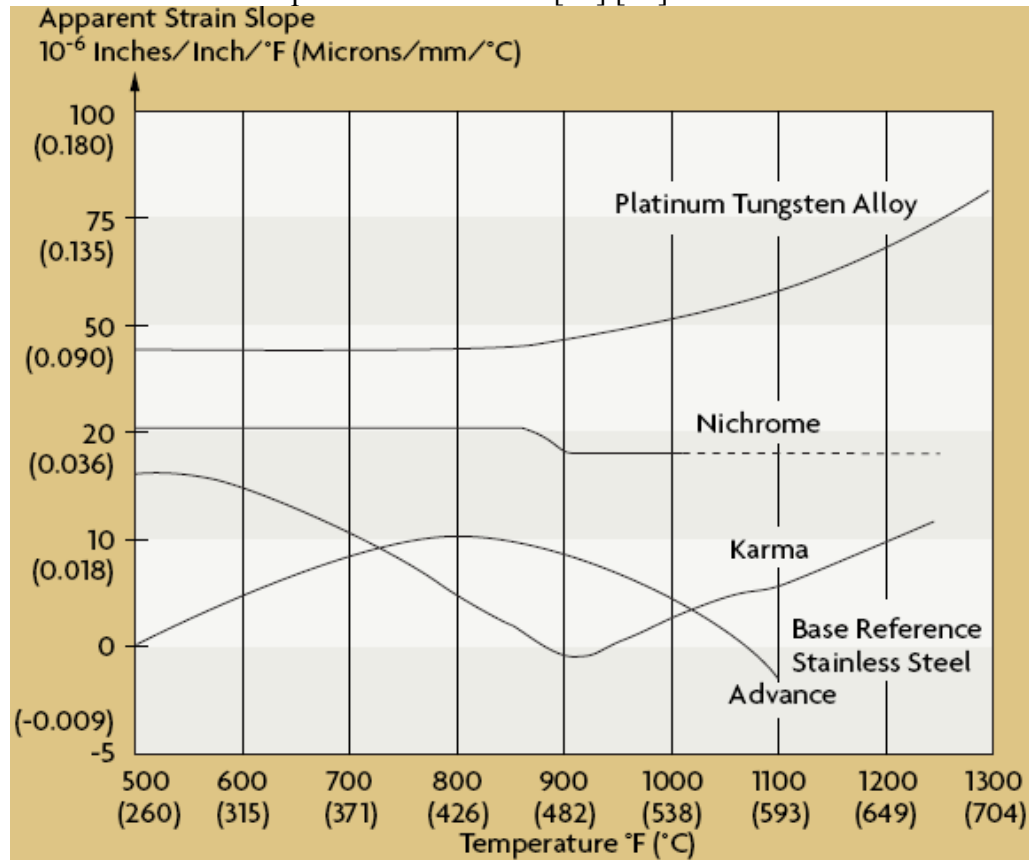


Kuva 54. Anturikertoimen riippuvuus lämpötilasta

9.6.5 Näennäinen jännitys

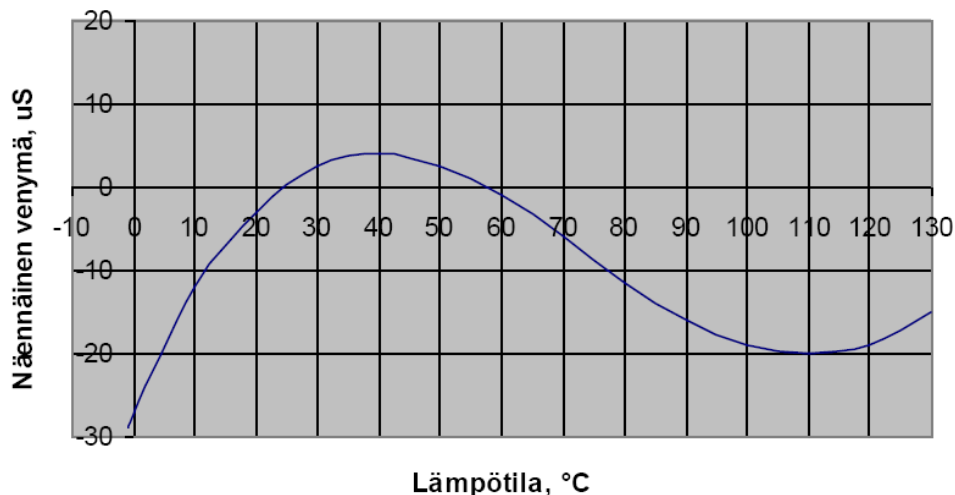
Näennäinen jännitys tarkoittaa mitä tahansa pakotetun osan rasituksesta johtumatonta muutosta anturin vastuksessa. Näennäinen jännitys on seurausta

venymäanturin lämpökertoimen sekä testattavan kappaleen ja anturin laajentumisen välisen erotuksen interaktiosta. Lämpötilanvaihtelun aiheuttamaa, erilaisten venymäanturin materiaalien näennäisen jännityksen vaihtelua kuvataan kuvassa 55. Lämpötilan aiheuttamien muutosten lisäksi, näennäinen jännitys voi muuttua myös metallin ja liima-aineen vanhentumisen sekä epävakauden vuoksi. [35] [36]



Kuva 55. Lämpötilasta johtuva venymän vaihtelu

Näennäisen jännityksen kompensointia tarvitaan silloin kun lämpötila vaihtelee venymää mitattaessa. Useimmissa sovelluksissa virheen määrä riippuu käytetystä seoksesta, vaaditusta tarkkuudesta ja lämpötilavaihtelun määrästä. Mikäli anturin käyttölämpötila ja näennäisen jännityksen ominaisuudet tiedetään, myös kompensointi on mahdollista. [35] [36]



Kuva 56. Näennäinen venymä lämpötilan funktiona [37]

10 JOHTOPÄÄTOKSET

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, että on olemassa kaksi tapaa mitata keräyspaperin massavirtausta pulpperin syöttökuljettimella. Yksi tapa on käyttää radiometristä vakaa, toinen tapa on käyttää venymäliuska-punnitusantureita. [5] [48] Molemmilla tavoilla on edut ja haitat (liite 4).

Radiometrinen mittaustapa on tarkka, kosketukseeton ja lähes huoltovapaa.[1] Koskettumuuden ansiosta radiometrinen mittaustapa on tunteeton kuljettimen hihnan kireydelle, ilmavirtauksille ja tärinälle. [5] Kääntöpuolena on korkea hinta, käyttölupien tarve ja terve kouluttaa säteilyturvallisuudesta vastaavia työntekijöitä. [18] Säteilylähteen heikkeneminen vaatii kompensointia, mikä ei ole siinänsä iso ongelma, sillä puoliintumisaika Co-60:lle on yli 5 vuotta ja Cs-137:n puoliintumisaika on 30 vuotta. [16]

Kuljetinvaaka koostuu yksi- kaksi- tai monirullaisista kehyksistä, jotka ovat varustettu venymäliuska-punnitusantureilla, hihna nopeusantureilla ja vahvistimella. [47] [49] [50] Etuina on yksinkertainen kalibrointi, vähäinen huoltotarve ja riittävä tarkkuus. [16] [49] Mittausvirheitä voi esiintyä jos kuljettimen hihna on kulunut, tai jos esimerkiksi tasaaja painaa hihnaa vasten liian kovin. [5]

LÄHTEET

- [1] Kukkonen, Ari. Sakeusmittaus – sormituntumasta säteilyn takaisinsiirontaan. Kunnossapito 2, 2007
- [2] <http://www.google.com/finance?q=HEL:MEO1V>
- [3] Dip line. Drum pulping Wuhan Chenming Hanyang paper Co. Ltd. Function description. Metso Paper OY, 2007
- [4] Körkkö, M ja Laitinen, O. Deinking Primer, 2008
Saatavissa:
<http://www.cost-e46.eu.org/files/Deinking%20primer/Deinking%20Primer%20-%20Pulping.pdf>
- [5] Kalevi Huhtanen. Metso Oy. Kysymiksiä massamittauksista.
S-osoite: kalevi.huhtanen@metso.com
- [6] Parikka, R. Mäkelä, K. Sarsama, J. ja Virolainen, K. Hihnakuuljettimien käytön turvallisuuden ja luotettavuuden parantaminen. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 2000.
Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2036.pdf>
- [7] VTT Tuotteet ja tuotanto, Prowledge OY, KnowPap CD-levy
- [8] Pesonen, Jussi. OCC:n käytettävyys paperinvalmistuksessa. Opinnäytetyö. TAMK, 2009
- [9] Mauno, Artto. Uusiomassan valmistuksen ja massan laadun optimoinnin työkalujen kehitys. Opinnäytetyö. TAMK, 2010
- [10] Määttä, Heli. Uusiomassa ja sen käyttö paperivalmistuksessa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2008
- [11] Standardi SFS-EN 643:2001
- [12] Belotelov, S.E. Tekninen johtaja, AEROKOR Oy. Massakäsittelyn teknologia ja laitteisto. Pulp Paper Board 9, 2007
- [13] Hietaniemi, Janne. Johdatus paperinvalmistukseen. Prosessiteknikan kurssin opintomateriaalit, 2008
- [14] Jernström, Anne. Suomalaisten kotikeräyspaperin siistattavuus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2002
- [15] OptiSlush VC Pulper Station. Myynti esitys. Metso Oy, 2008
- [16] Kukkonen, Ari. Virtausmittausmenetelmiä.

Saatavissa: http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/4_1_2_04.pdf

[17] Panov, S. Kysymiksiä massamittauksista.

S-osoite: panov_sa_53@mail.ru

[18] Jukka Eerola, Kouvo Automation Oy

S-osoite: jukka.eerola@kouvo.fi

[19] Kukkonen, Ari. Pölkyistä puuteriin kuljetinvaa'at ja muut kiintomateriaalien määramittausmenetelmät. Promaint 1, 2009

[20] Kuzaev, A.P. Automaatioinsinööri, Bratsk PCM

[21] <http://interfais.ru>

[22] Väisälä Seppo, Korpela Helina, Kaituri Mauri. Säteilyn käyttö teollisuudessa ja tutkimuksessa.

Saatavissa:

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja3/

[23] <http://www.berthold-us.com/industrial/literature%20and%20technical%20information/LB442.pdf>

[24] Bittner, Jurgen. Grundlagen der radiometrischen gewichtsbestimmung. RGI, 2011

[25] Bittner, Jurgen. RGI GMBH

S-osoite: bittner@rgi-ms.com

Puh. +49 7081 5026

[26] Ohmart Vega W-4800 Technical reference manual

Saatavissa:

<http://www.vega.com/downloads/ohmart/%28TRM%29%20Technical%20Reference%20Manual/31563-US.pdf>

[27] Ronan X96S Weight Scale. Instructions and Operating Manual

Saatavissa:

<http://www.ronanmeasure.com/pages/images/X96S%20Weight080207.pdf>

[28] Radiometric Bulk Flow Meter LB442. Berthold, 2001

[29] Antti Korpilahti, Timo Melkas. Metsätehon raportti 213: Kosteuden online-mittaus metsätähdehakkeesta. Metsäteho Oy, 2010

Saatavissa:

http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_213_Kosteuden_online-mittaus_metsatahdehakkeesta_ak-tm.pdf

[30] Klemola, Seppo. Säteilyn ilmaisimet

Saatavissa:

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja1/_files/12222632510020947/default/kirja1_4.pdf

[31] Helmuth Spieler, Introduction to Radiation Detectors and Electronics, Lecture Notes. Berkeley, 1998

Saatavissa: http://www-physics.lbl.gov/~spieler/physics_198_notes/PDF

[32] Frank-Peter Folcz, WEPA Paper Mill Manager

Puh. +49 2991 721 3370

[33] Load cell technology in practice

Saatavissa: http://www.aeroconsystems.com/electronics/load_cell_primer.pdf

[33] Load cell technology in practice, SA Instrumentation and Control, kesäkuu 2002

Saatavissa: <http://www.instrumentation.co.za/article.aspx?pkarticleid=1856>

[34] Load Measurements: How-To Guide, National Instruments, 4 toukokuuta, 2011

Saatavissa: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7138>

[35] <http://www.omega.com/literature/transactions/volume3/strain.html>

[36] http://ee.sharif.edu/~industrialcontrol/Strain_Gage_Tutorial.pdf

[37] http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.2010/Luento1_2006.pdf

[38] Olavi Pukkila. Säteilytoiminnan säännökset

Saatavissa:

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja3/

[39] Säteilytoiminnan turvallisuusperusteet. STUK ohje ST1.1, 23.5.2005

Saatavissa: www.finlex.fi/pdf/normit/22496-ST1-1.pdf

[40] Seppo Kivivuori. Materiaalien muokkaus ja lämpökäsittely. TKK, 2008

Saatavissa: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/mt-0.2116/materiaali/MT-0_2116_kurssin_pruju.pdf

[41] Vaakalaite AK käyttö- ja asennusohje. Sarlin, 10.6.2008

[42] WB-910 Summaava hihnavaaka käyttöohje. Lahti Precision OY

[43] WB-920 Annosteleva hihnavaaka käyttöohje. Lahti Precision OY

[44] WA-810 Summaava hihnavaakapääteWA-810 Summaava hihnavaakapääte. Laajennettu käyttöohje. Lahti Precision OY

[45] Punnituselektroniikka KePro 2200. Kouvo Automation OY, 30.6.2006

[46] Rehula, Anja. Lahti Precision Oy. Kysymiksiä massamittauksista.
S-osoite: anja.rehula@lahtiprecision.com

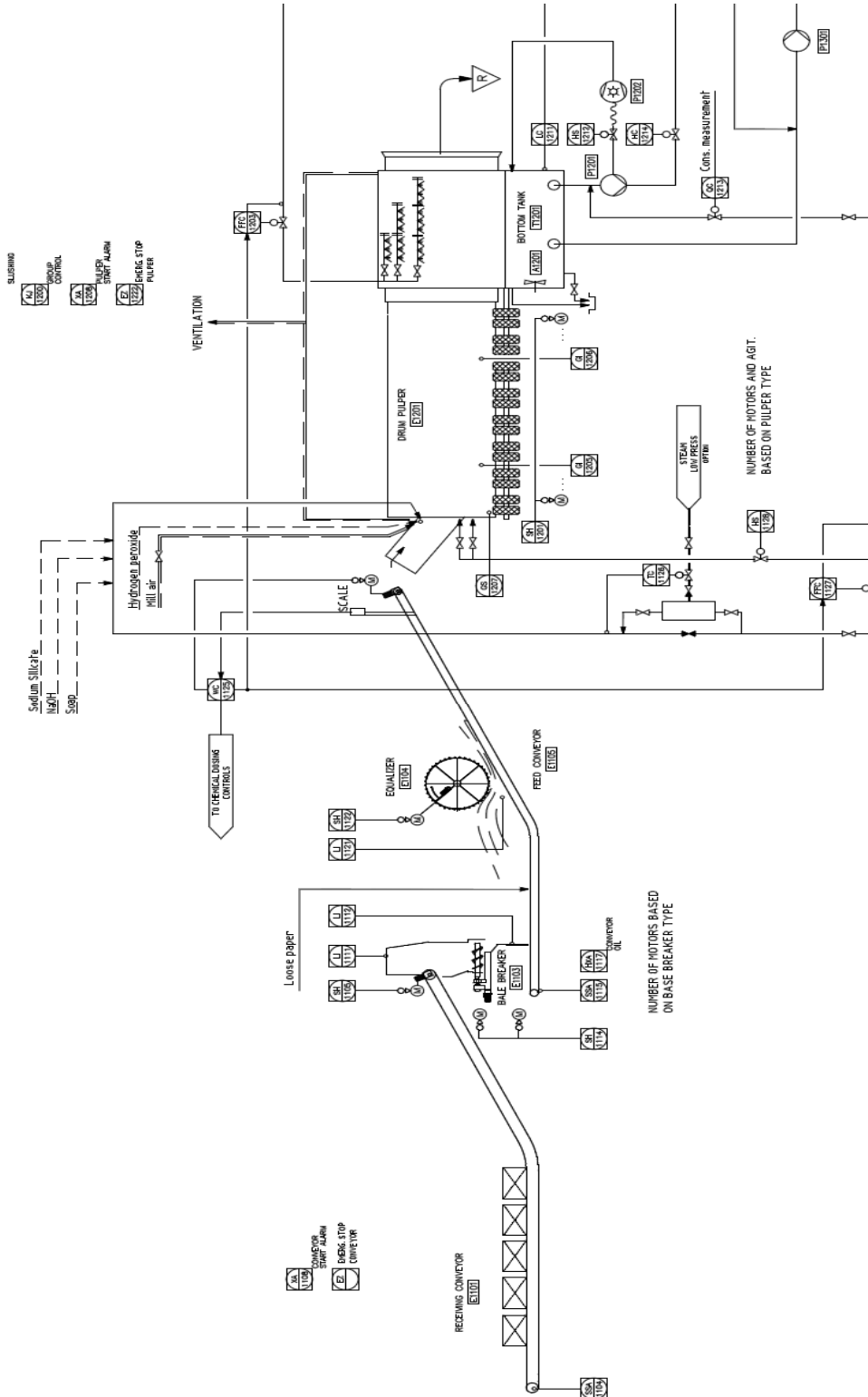
[47] Sibakoff, Jari. Sarlin Oy. Kysymiksiä massamittauksista.
S-osoite: jari.sibakoff@sarlin.com

[48] Riecken, Meike. Sartorius Mechatronics GMBH. Kysymiksiä
massamittauksista.
S-osoite: meike.riecken@sartorius.com

[49] Koskela, Petri. Sintrol Oy. Kysymiksiä massamittauksista.
S-osoite: petri.koskela@sintrol.com

[50] Lagergren, Hagen. SEG. Kysymiksiä massamittauksista.
S-osoite: info@s-e-g.com
Puh. +46 8764 7400

PULPPERI JA PULPPERIN KERÄYSPAPERINSYÖTTÖJÄRJESTELMÄ



SFS-EN 643, keräyspaperin standardilajit

Ryhmä 1 - alalajit

- 1.01 Sekalainen paperi ja kartonki, lajittelematon
- 1.02 Sekalaiset paperit ja kartongit (lajiteltu)
- 1.03 Harmaa kartonki
- 1.04 Supermarketeista kerätty paperi ja kartonki
- 1.05 Aaltopahvilaatikot
- 1.06 Myymättä jääneet aikakauslehdet
- 1.06.01 Myymättä jääneet aikakauslehdet ilman liimaa
- 1.07 Puhelinluettelot
- 1.08 Sekalaiset sanomalehdet ja aikakauslehdet 1
- 1.09 Sekalaiset sanomalehdet ja aikakauslehdet 2
- 1.10 Sekalaiset sanomalehdet ja aikakauslehdet
- 1.11 Lajiteltu, siistaukseen tarkoitettu graafinen paperi

Ryhmä 3 - ylälajit

- 3.01 Sekalainen, lievästi värillinen, puuvapaa painokoneen leikkuutähde
- 3.02 Sekalainen, lievästi värillinen, puuvapaa painokoneen leikkuutähde
- 3.03 Puuvapaat sidokset
- 3.04 Revitty, valkoinen leikkuutähde
- 3.05 Valkoiset, puuvapaat kirjoituspaperit
- 3.06 Valkoiset liikekirjelomakkeet
- 3.07 Valkoiset, puuvapaat tietokonetulosteet
- 3.08 Painettu, valkaisu sulfaattikartonki
- 3.09 Kevyesti painettu, valkaisu sulfaattikartonki
- 3.10 Moniväripainettu paperi
- 3.11 Voimakkain värein painettu, valkoinen monikerroskartonki
- 3.12 Valkoinen monikerroskartonki, jossa kevyt värpaimatus
- 3.13 Valkoinen, painamaton monikerroskartonki
- 3.14 Valkoinen sanomalehtipaperi
- 3.15 Valkoinen, mekaanisesta massasta valmistettu, päällystetty ja päällystämätön paperi
- 3.15.01 Valkoinen, mekaanisesta massasta valmistettu, päällystetty paperi
- 3.16 Valkoinen, puuvapaa, päällystetty paperi, joka ei sisällä liimaa
- 3.17 Valkoinen leikkuutähde
- 3.18 Valkoinen, puuvapaa leikkuutähde
- 3.18.01 Valkoinen, puuvapaa, päällystämätön leikkuutähde
- 3.19 Painamaton, valkaisu sulfaattikartonki

Ryhmä 2 - keskilajit

- 2.01 Sanomalehdet
- 2.02 Myymättä jääneet sanomalehdet
- 2.02.01 Myymättä jääneet sanomalehdet, fleksopaimatus ei sallittu
- 2.03 Kevyesti painettu valkoinen leikkuutähde
- 2.03.01 Kevyesti painettu valkoinen leikkuutähde ilman liimaa
- 2.04 Voimakkain värein painettu valkoinen leikkuutähde
- 2.04.01 Voimakkain värein painettu valkoinen leikkuutähde ilman liimaa
- 2.05 Lajiteltu toimituspaperi
- 2.06 Värilliset kirjoituspaperit
- 2.07 Valkoiset puuvapaat kirjat
- 2.08 Värilliset puuvapaat aikakauslehdet
- 2.09 Itsejäljentävä paperi
- 2.10 Valkaisu puuvapaa PE-päällystetty kartonki
- 2.11 Muu PE-päällystetty kartonki
- 2.12 Mekaanisesta massasta valmistetut tietokonetulosteet

Ryhmä 4 - voimaperilajit

- 4.01 Aaltopahvin leikkuutähde
- 4.01.01 Käyttämätön aaltopahvi
- 4.01.02 Käyttämätön aaltopahvi
- 4.02 Käytetty aaltopahvi 1
- 4.03 Käytetty aaltopahvi 2
- 4.04 Käytetyt voimaperisakit
- 4.04.01 Käytetyt voimaperisakit, mukana muovipäällysteistä paperia
- 4.05 Käyttämättömät voimaperisakit
- 4.05.01 Käyttämättömät voimaperisakit, mukana muovipäällysteistä paperia
- 4.06 Käytetty voimaperi ja -kartonki
- 4.07 Uusi voimaperi ja -kartonki
- 4.08 Uusi pullopakkaukskartonki

Ryhmä 5 - erikoislajit

- 5.01 Sekalainen keräyspaperi ja -kartonki
- 5.02 Sekalaiset pakkaukset
- 5.03 Nestekartonkipakkaukset
- 5.04 Kaarepaperi
- 5.05 Märkälujat tarrat
- 5.06 Painamattomat, valkoiset, märkälujat puuvapaat paperit
- 5.07 Painetut, valkoiset, märkälujitetut puuvapaat paperit

MITTAUSMENETELMIEN VERTAILU

	W4800	Load Cell	Beam-Balance
Conveyor Types	Belt, Screw, Apron, Bucket, Vibrating, or Drag Chain	Belt or Cable Stringer	Belt or Cable Stringer
Installation			
Support Requirements	May be bolted to conveyor frame	May be bolted to conveyor frame	Must be rigidly supported independent of conveyor frame
Space Required	Approximately 14 in (356 mm)	1-2 ft (300-600 mm)	6-10 ft (1.8-3.1 m)
Idler Alignment	Not important	Not important	Idlers must be perpendicular and square to belt center line
Portability/Relocation	Easily moved without removing conveyor	May be moved without removing conveyor	Conveyor must be removed
Conveyor Condition Effects			
Belt Tension	No effect	Variations in belt tension affects accuracy	Variations in belt tension affects accuracy
Idler Lubrication	No effect	No effect	Weighing idler lubrication requires recalibration
Process Material Effects			
Dusty Product	No effect	Dust can affect load cell accuracy	Causes wear and binding of support bearing affecting calibration
Corrosive Product	No effect	Corrosion can affect load cell accuracy	Causes wear and binding of support bearing affecting calibration
Material Spillage	No effect - can be easily cleaned	Major source of error if product becomes caught in idler	Major source of error if product becomes caught in weigh-bridge and side stringer
Environmental Effects			
Wind	No effect	Belt movement can affect accuracy	Belt movement can affect accuracy

X96S HIHNAVAA'AN TEKNISET TIEDOT



SPECIFICATIONS

MODEL X96S

Process Computer:	Microprocessor-based unit with a liquid crystal display, push-button interface, HART* Communications, process control output, process condition inputs, serial communications.
Chassis:	19" Rack Mount, Surface Mount or Panel Mount
Enclosure:	Standard NEMA-4 Stainless Steel NEMA-4X Explosion Proof
Electrical:	Power inputs: 90 to 24 VAC +/- 15%, 50/60 Hz; 24 VDC +/- 15%
Environmental:	Ambient Temperature Range: 0° to 140° F° (-18° to 60° C) Humidity: 90% Non-Condensing
Electronics:	Processor: Embedded 80 x 86 Compatible Processor Memory: Flash, Static RAM, battery Backup RAM A/D Converters: 16-bit, Dual Slope, Auto-Zeroing Display: Graphic LCD, Fluorescent Back-lit
Inputs: (Optional)	Tachometer: 0-10 VDC, 4-20 mA, or Pulse Rate TTL Load Detector: 0.42-2.4 VDC or Pulse TTL Temperature Compensation: 100 Ohm Pt, 120 Ohm Ni, or 4-20 mA (Mass Flow or Density)
Outputs: (Optional)	Three 4-20 mA; One assigned to each Channel Four Single Set-point SPDT Relays: 3 Amp at 28 VDC or 240 VAC Remote Totalizer Pulse: 20 msec Pulse, Open Collector 50 mA at 24 VDC
Display Units:	(Engineering Units per Gage) Level: in, ft, mm, cm, or m Density: % Solids; SpG, Baume H, Baume L, API, Brix, Ball, or Twaddell Mass Flow: lb/mn, kg/min, mT/min, mT/hr, sT/min, sT/hr, IT/min or IT/hr Weight: lb/min, kg/min, mT/hr, sT/hr, IT/hr, kg/hr or oz/min
Computer Interface:	HART* and Communications

W-4800 HIHNAVAA’AN TEKNISET TIEDOT

	±0.5% span typical	Accuracy depends on specific application parameters	
Typical Sources	Cesium-137	0.667 MeV gamma radiation emitter, 30.2 year half life	
Conveyor	Width	305mm to 2438mm (12" to 60")	
	Type	Belt or drag chain	
Source Holder	Type	Multiple point source	
	Models	SHGL or SHLD	
	License	General License (U.S.A. only)	
	Shutter Type	None	
Power Requirements*	AC	115 VAC at 50 to 60Hz, at 450 VA maximum power consumption (50 VA under normal operating conditions)	
Measurement	Zero Standardization	Empty conveyor	
	Calibration Check	Empty conveyor with absorber plate	
	Accuracy	±1.0% or better of full scale, dependent upon application	
	Loading Range	14.5 to 278 kg/sq meter (3 to 57 lbs/sq ft)	
	Tachometer		
GEN2000™ Electronics Housing	4-wire hookup with DC	1.02–0.643mm (#18–20AWG) four conductor shielded	
	Certification to CSA and UL standards	Designed to meet National Electric Code (U.S. & Canada) Class I, Groups A, B, C & D, Div 1 & 2 Class II, Groups E, F & G, Div 1 & 2	
	CENELEC certification	EExd IIC T5 (pending)	
	Enclosure rating	NEMA 4X IP-66	
	Ambient temperature	–20 °C to 60 °C (–4°F to 140°F) option for lower temperatures available	
	Humidity	0-95%, non-condensing	
	Vibration	Tested to IEC 68-2-8, IEC 68-2-27, and IEC 68-2-36	
	Material	Cast aluminum ASTM A 357	
	Weight	Housing	5.44 kg (12lb)
	Diagnostics	LED indication	+6V, Memory Corruption, CPU Active, High Voltage
Power Requirements*	AC	100–230VAC ±10% (90–250VAC) at 50–60Hz, at 15VA maximum power consumption (25VA max with heater) CE compliance requires 100–230VAC ±10%	
	DC	20–60VDC (less than 100mV, 1–1,000Hz ripple) at 15VA. CE compliance requires 24VDC±10%	
	Wiring	1.63–0.643mm (#14–#22AWG)	

LB442 HIHNAVAA'AN TEKNISET TIEDOT

Technical Data LB 442

Evaluation Unit LB 442

Design	19" module 3 HE, 21 TE protection class IP 20
Weight	approx. 2 kg
Power Supply	115/230 V AC \pm 10 % 50 - 60 Hz alternatively 18 - 32 V DC or 24 V AC +10 % -15 %
Power Consumption	ca. 30 VA (AC), 30 W (DC)
Operating Temp.	0 ... +50 °C (273 ... 323 K) no condensation
Storage Temp.	-40 ... +70 °C (233 ... 323 K) no condensation
Arrangements	- in a panel - in wall mounted housing (max. 2 units) - in a 19" Rack 3 HE, 84 TE (max. 4 units)
CPU	- data protection with flash memory - self control with watch-dog-timer
Dialog	English, German, French

Input - Output

3 Digital-Inputs	DI 1: belt stop, batch start, reset totalizer DI 2: external tare, print start, product 3/4, start-stop+print DI 3: product 1/2
3 Digital Outputs	DO 1: failure message DO 2: external totalizer DO 3: min/max, batch ready, tare
Relay Contacts:	maximum load (non inductive): AC: max. 250 V, max. 1 A, max. 200 VA DC: max. 300 V, max. 1 A, max. 60 W
Current Output	for mass flow in t/h, kg/h 0/4 - 20 mA, isolated, max. 500 Ω
Current Output	for speed or moisture signal 0/4 - 20 mA, isolated, 50 Ω
RS 232	for parameter print out or measurement value print out
RS 485	for max. 8 probes or measurement value print out
Probe connection	[EEx ib] IIB [EEx ib] IIC (option)

Probes

Housing	stainless steel, IP65	
Cable Entry	M 16	M 12
Cable Diameter	5 ... 10 mm	4 ... 7 mm
Cable	LiYY or LiYCY 2x1 mm ²	
Maximum Length	with BERTHOLD cable IDTNR 32024	
	EEx ib IIB	EEx ib IIC
	1000 m	250 m

Explosion-Proof

ATEX	II 2G EEx ib d IIC T6
Dust-Ex (option)	II 2D IP65 T 80 °C
FM (option)	Class I Division 1 Group A, B, C, D Class II Division 1 Group E, F, G temperature class T6 (85 °C)

Point Detectors

Scintillation Counter	Nal (TI) crystal
Temperature Stability	\pm 0,1 % (at -20 ... +50 °C)
Operating Temp.	-40 ... +60 °C (233 ... 333 K)
Water Cooling	available as option
Storage Temp.	-40 ... +70 °C (233 ... 343 K)

Rod Detectors

Scintillation Counter	plastic scintillator
Scintillator-Length	500, 750, 1000, 1250, 1500, 2000 mm
Temperature-Stability	\pm 0,5 % (at -20 ... +50 °C)
Operating and Storage Temp.	-40 ... +55 °C (233 ... 328 K)
Water Cooling	available as option
Typical dose rate at empty conveyor:	3 μ Sv/h

Measuring Frames

Dimensions	for belt width 500 to 2800 mm see „Technical Information LB 442”
------------	---

Design modifications may occur without notice

TUIKEAINEET

Summary of practical inorganic scintillator materials

(from Derenzo)

Material	Form	λ_{\max} (nm)	τ_f (ns)	ρ (g/cm ³)	Photons per MeV
NaI(Tl) (20°C)	crystal	415	230	3.67	38,000
pure NaI (-196°C)	crystal	303	60	3.67	76,000
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ (20°C)	crystal	480	300	7.13	8,200
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ (-100°C)	crystal	480	2000	7.13	24,000
CsI(Na)	crystal	420	630	4.51	39,000
CsI(Tl)	crystal	540	800	4.51	60,000
CsI (pure)	crystal	315	16	4.51	2,300
CsF	crystal	390	2	4.64	2,500
BaF ₂ (slow)	crystal	310	630	4.9	10,000
BaF ₂ (fast)	crystal	220	0.8	4.9	1,800
Gd ₂ SiO ₅ (Ce)	crystal	440	60	6.71	10,000
CdWO ₄	crystal	530	15000	7.9	7,000
CaWO ₄	crystal	430	6000	6.1	6,000
CeF ₃	crystal	340	27	6.16	4,400
PbWO ₄	crystal	460	2, 10, 38	8.2	500
Lu ₂ SiO ₅ (Ce)	crystal	420	40	7.4	30,000
YAlO ₃ (Ce)	crystal	390	31	5.35	19,700
Y ₂ SiO ₅ (Ce)	crystal	420	70	2.70	45,000

Note the wide range of decay times τ_f , from 0.8 ns in BaF₂ to 15 μ s in CdWO₄.

Some materials also show multiple emissions (BaF₂, PbWO₄).

PUNNITUSANTURIT, VERTAILUTAULUKKO

Type	Weight Range	Accuracy (FS)	Apps	Strength	Weakness
Mechanical Load Cells					
Hydraulic Load Cells	Up to 10,000,000 lb	0.25%	Tanks, bins and hoppers. Hazardous areas	Takes high impacts, insensitive to temperature.	Expensive, complex.
Pneumatic Load Cells	Wide	High	Food industry, hazardous areas	Intrinsically safe. Contains no fluids.	Slow response. Requires clean, dry air
Strain Gage Load Cells					
Bending Beam Load Cells	10-5k lbs.	0.03%	Tanks, platform scales,	Low cost, simple construction	Strain gages are exposed, require protection
Shear Beam Load Cells	10-5k lbs.	0.03%	Tanks, platform scales, off-center loads	High side load rejection, better sealing and protection	
Canister Load Cells	to 500k lbs.	0.05%	Truck, tank, track, and hopper scales	Handles load movements	No horizontal load protection
Ring and Pancake Load Cells	5- 500k lbs.		Tanks, bins, scales	All stainless steel	No load movement allowed
Button and washer Load Cells	0-50k lbs 0-200 lbs, typ.	1%	Small scales	Small, inexpensive	Loads must be centered, no load movement permitted
Other Load Cells					
Helical	0-40k lbs.	0.2%	Platform, forklift, wheel load, automotive seat weight	Handles off-axis loads, overloads, shocks	
Fiber optic		0.1%	Electrical transmission cables, stud or bolt mounts	Immune to RFI/EMI and high temps, intrinsically safe	
Piezo-resistive		0.03%		Extremely sensitive, high signal output level	High cost, nonlinear output