



Syötön painemittauksien vakiointi

Konsta Kettunen

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2024

Autotekniikan tutkinto-ohjelma
Työkonetekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Autotekniikan tutkinto-ohjelma
Työkonetekniikka

KETTUNEN, KONSTA:
Syötön painemittauksien vakiointi

Opinnäytetyö 31 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Maaliskuu 2024

Opinnäytetyössä kehitettiin yksinkertainen mutta tehokas menetelmä kallioporauslaitteiden syötönpaineiden mittaukseen. Työn toimeksiantajana toimii Sandvik Mining and Construction Oy, joka toimittaa Tampereen tehtaalta lukuisia eri laitemalleja. Suurten toimitusmäärien takia halutaan kartoittaa lähtevien laitteiden syötönpaineiden vaihteluväli laitemalli kohtaisesti. Vaihteluvälin selvittämiseksi suunniteltiin mittauspöytäkirja ja tarkasteltiin ympäristön mahdollisia vaikutuksia mittauksiin.

Vakioitu mittausympäristö on olennainen osa luotettavien ja vertailukelpoisten tulosten varmistamista. Tässä ympäristössä pyritään tarkasti hallitsemaan kaikki ulkoiset tekijät, jotka voivat vaikuttaa olennaisesti saatuihin tuloksiin. Ympäristön vaikutusten pohdinnan lisäksi suunniteltiin mittauksia varten mittauspöytäkirja, jonka avulla pystytään ylläpitämään ja vertailemaan saatuja tuloksia laitemalli kohtaisesti.

Työn lopputuloksena on kattava mittauspöytäkirja ja ymmärrys syötönpainemittauksiin, jotta pystytään toistamaan mittaukset aina samalla tavalla. Tämä mittauspöytäkirja sisältää kaikki tarvittavat parametrit, kuten porakoneen liikenopeuden ja syötönpaineen, sekä yksityiskohtaiset tiedot mittausympäristöstä. Toteutettua mittauspöytäkirjaa tullaan käyttämään Sandvikin sisäisissä mittauksissa hieman yksityiskohtaisemmilla tiedoilla kuin tässä opinnäytetyössä on esitelty.

Asiasanat: vakiointi, mittauspöytäkirja, kalliopora, vaihteluväli

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Automotive Engineering

KETTUNEN, KONSTA:
Standardization of Feed Pressure Measurements

Bachelor's thesis 31 pages, appendices 1 page
March 2024

The purpose of this thesis was to develop a simple yet effective method for measuring feed pressures in rock drilling equipment. Sandvik Mining and Construction Oy commissioned this work, as they deliver a comprehensive range of different equipment models in high volume from their Tampere factory. Due to the large delivery volumes, there is a need to map the range of feed pressures for outgoing equipment models.

A standardized measurement environment is essential to ensure reliable and comparable results. In this environment, all external factors that could significantly affect the results are carefully controlled. In addition to assessing environmental impacts and analyzing them, a measurement protocol was designed for conducting the measurements, enabling the maintenance and comparison of results on a per-device model basis.

As a result of this work, a comprehensive measurement protocol was obtained, along with an understanding of feed pressure measurements, enabling the replication of measurements consistently. This measurement protocol includes all necessary parameters, such as drill rig speed and feed pressure, as well as detailed information about the measurement environment. The implemented measurement protocol will be used in Sandvik's internal measurements, with slightly more detailed information than presented in this thesis.

Key words: standardization, measurement protocol, rock drill, variation range

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SANDVIK GROUP	7
	2.1 Sandvik Mining and Rock Solutions	7
	2.2 Sandvik Tampere	7
3	KALLIOPORAUS	9
	3.1 DTH-poraus	10
	3.2 TH-poraus	11
4	SYÖTTÖHYDRAULIIKKA KALLIOPORAUKSESSA	12
	4.1 Syöttösylinteri.....	12
	4.2 Syöttösylinterin painemittauksen mittauspiste.....	13
	4.3 Syöttömoottori	15
	4.4 Syöttömoottorin painemittauksen mittauspiste	16
5	MITTAUS	17
	5.1 Tiedonkeruu	19
	5.2 Painelähttimet	20
	5.3 Datan käsittely.....	20
6	MITTAUSPÖYTÄKIRJA.....	22
	6.1 Datan tallennus	23
	6.2 Tulokset	24
7	TULOSTEN KÄSITTELY	26
	7.1 Minitab-analyysi	26
	7.2 Minitab-kuvaajat.....	27
8	YHTEENVETO	29
	LÄHTEET	30
	LIITTEET	31
	Liite 1. Mittauspöytäkirja	31

LYHENTEET JA TERMIT

Bar	Paineen yksikkö
Development	Kehitys
DTH	Uppoporaus (Down-the-hole)
Frekvenssi	Esiintymistiheys
FS	Koko mitta-alue (Full scale)
Mean	Keskiarvo
Research	Tutkimus
StDev	Keskihajonta
TH	Päättäiskevä (Top hammer)

1 JOHDANTO

Kallioporauslaitteiden tehokas ja luotettava toiminta on elintärkeää kaivosteollisuuden ja louhinnan prosesseissa. Näiden laitteiden suorituskyvyn optimointi on yksi keskeisimmistä tekijöistä. Oleellisimpia suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä on poranterän hallittu syöttäminen kallioperään. Tähän vaikuttaa suoraan syötön paine, jolla hallitaan porausnopeutta ja porausvoimaa. Tästä syystä syötön painemittausten tarkkuus ja vakioitu toteutus ovat avainasemassa näiden laitteiden suorituskyvyn optimoinnissa. Vakioitu mittaus mahdollistaa vertailla eri laitteiden tuottamia painearvoja luotettavasti ja systemaattisesti.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan syötön painemittausten toteutusta kahdessa erilaisessa kallioporauslaitetyypissä: syöttösylinterillä ja syöttömoottorilla toimivissa laitteissa. Näiden kahden erilaisen toteutustavan vertailu ja analyysi mahdollistavat syötön painemittausten haasteiden ja mahdollisuuksien syvällisemmän ymmärtämisen.

Työssä tullaan kehittämään mittauksien tueksi mittauspöytäkirja, joka mahdollistaa syötönpaineiden laitekohtaisten vaihteluvälin tutkimisen. Tämä tutkimus on tärkeä askel kohti normaalin syötön paineiden hajonnan määrittämistä ja sen vakiointiin tähtäävien toimenpiteiden toteuttamista.

Opinnäytetyö toteutetaan yhteistyössä Sandvik Mining and Construction Oy:n Surface Mining Research & Development-osaston kanssa. Tämä yhteistyö tarjoaa ainutlaatuisen mahdollisuuden syventyä käytännön haasteisiin ja tarpeisiin, jotka liittyvät syötön painemittauksiin. Tavoitteena on tuottaa konkreettisia suosituksia ja ratkaisuja Sandvikin kallioporauslaitteiden syötön painemittausten vakioituihin mittauksiin ja normaalin vaihteluvälin määrittämiseen.

2 SANDVIK GROUP

Sandvik Group on kansainvälinen teknologiayritys, joka toimii useilla eri teollisuudenaloilla. Yhtiö on perustettu vuonna 1862 Sandvikenissä, Ruotsissa, ja siitä lähtien se on kasvanut merkittäväksi toimijaksi maailmanlaajuisesti. Sandvikin liiketoiminta-alueet kattavat metallintyöstön, kaivostoiminnan, rakentamisen, energia-alan ja materiaalinkäsittelyn. (Sandvik n.d.a.)

2.1 Sandvik Mining and Rock Solutions

Sandvik Mining and Rock Solutions on Sandvik Groupin liiketoiminta-alue, joka keskittyy kaivos- ja louhintateollisuuden ratkaisuihin. Se toimittaa monipuolisia laitteita, kuten poraus- ja lastauslaitteita sekä murskaus- ja seulontalaitteita. Automatisointi ja älykkäät järjestelmät ovat olennainen osa sen palveluita, tehostaen tuotantoa. Yhtiön tavoitteena on tarjota asiakkailleen optimaalisia ratkaisuja, jotka parantavat tehokkuutta, turvallisuutta ja kestävyyttä kaivostoiminnassa. (Sandvik 2023.)

2.2 Sandvik Tampere

Sandvik Mining and Construction Oy:n Tampereen tehdas on yksi maailman johtavista pintaporausteknologian kehittäjistä ja valmistajista. Tehdas (kuva 1) on ansainnut maineensa laadukkaista porauslaitteistaan, jotka ovat keskeinen osa maailmanlaajuisista kaivosteollisuuden infrastruktuuria.

Tehtaan laajaan tuotevalikoimaan kuuluu esimerkiksi Sandvik DX-sarjan poravaunut, jotka ovat alan tehokkaimpia ja luotettavimpia. Niitä käytetään erilaisiin poraustöihin, kuten kallioperän louhintaan sekä infrastruktuurin rakentamiseen. Laajan tuotevalikoiman lisäksi tehdas mahdollistaa asiakkailleen koulutusta, huoltopalveluita ja teknistä tukea varmistaakseen laitteiden tehokkaan ja luotettavan toiminnan.



KUVA 1. Sandvik Tampereen tehdas (Yle 2023, muokattu)

Tampereen tehtaan Surface Drilling divisioonalla on oma tuotekehitysosasto, jossa työskentelee alan parhaita asiantuntijoita. Osasto kehittää jatkuvasti uusia ja innovatiivisia ratkaisuja, jotka parantavat porausteknologian tehokkuutta ja turvallisuutta. Tuotekehityksen rooli nousee merkittäväksi, kun pyritään jatkuvasti vastaamaan asiakkaiden muuttuviin tarpeisiin.

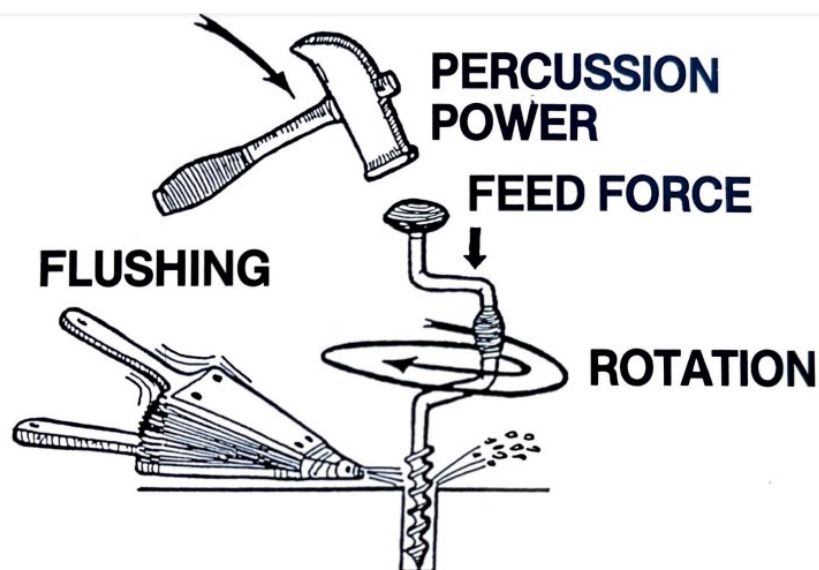
Tehdas on sitoutunut kestävään kehitykseen ja investoi energiatehokkaisiin tuotantoprosesseihin, sekä pyrkii jatkuvasti vähentämään ympäristövaikutuksiaan. Sandvik Tampereen tehdas on tärkeä osa Tampereen teollisuushistoriaa ja tulevaisuutta. Se on yksi Suomen merkittävimmistä vientiyrityksistä ja työllistää suuren joukon ihmisiä. Tehdas on myös tärkeä osa Sandvikin globaalia verkostoa ja edistää pintaporausteknologian kehitystä kaikkialla maailmassa.

3 KALLIOPORAUS

Kallioporaus on tekniikka, jota käytetään porattaessa reikiä kallioon eri tarkoituksiin, kuten kaivostoimintaan, maanalaiseen rakentamiseen, geologisiin tutkimuksiin tai vedenottoon. Menetelmää käytetään silloin, kun perinteiset poraustavat, kuten maaperän poraus, eivät ole tehokkaita tai käyttökelpoisia kovien kalliokerrosten läpi. (Omnia 2021.)

Kallioporaus suoritetaan erityisillä kallioporakoneilla, jotka on suunniteltu kestämään vaativia olosuhteita. Nämä porakoneet voivat olla rotaatioiskuporakoneita tai hydraulisia porakoneita, jotka kykenevät poraamaan kalliota jatkuvasti tai iskuttavalla tavalla. Porauksessa käytetään erilaisia poranteriä ja poraputkia riippuen tarkoituksesta ja kalliomateriaalista. (Omnia 2021.)

Kallioporaus voi olla osa laajempaa geoteknistä suunnittelua tai kaivostoimintaa, ja se vaatii erikoistunutta kalustoa ja asiantuntemusta varmistaakseen tehokkaan ja turvallisen poraamisen kovissa kallioperäisissä ympäristöissä. Kuvassa 2 esitetty kallioporausperusperiaate, joka koostuu neljästä porausparametristä: iskuteho, syöttövoima, terän pyörimisnopeus ja huuhtelu (Rock excavation handbook 1999, 64.)



KUVA 2. Porauksen perusperiaate (Tamrock 1984, 178)

3.1 DTH-poraus

DTH-porausessa käytetään pneumaattista vasaraa, joka on integroitu poranterän kanssa. Vasara toimii paineilmalla ja iskee suoraan poranterään, jolloin porattava kallio murskaantuu. Tässä poraustavassa käytetään korkeapaineista paineilmaa, joka syötetään poraputken läpi aina vasaralle asti. Korkealla paineilmalla mahdollistetaan vasaran sisällä männän liike (isku), sekä riittävä ilmamäärä puhdistamaan poratusta reiästä irtokivi maanpinnalle. Kuvassa 3 on esitelty DTH-poralaite Leopard DI650i.



KUVA 3. Leopard DI650i (Sandvik n.d.b)

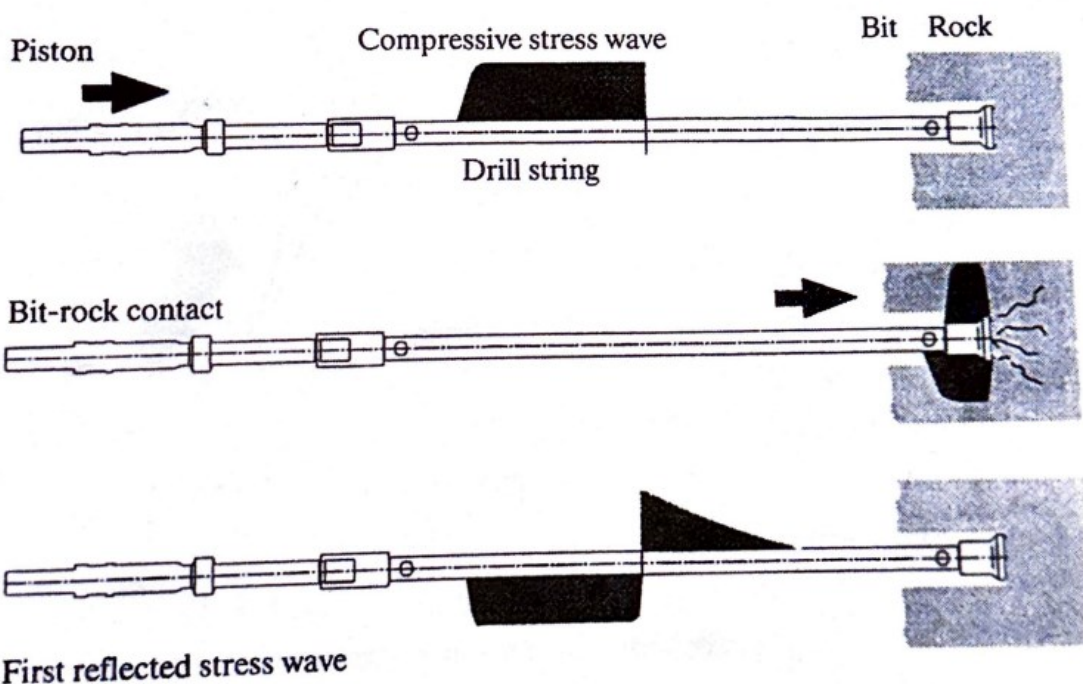
DTH-poraus on monipuolinen menetelmä, joka tarjoaa tehokkaan tavan porata suuria reikiä kovassa kivessä. Menetelmää käytetään yleisimmin kaivoksilla räjäytettävän maaperän poraamiseen. Kuvassa 4 on Sandvik RH560 vasara.



KUVA 4. DTH-vasara RH560 (Sandvik n.d.c)

3.2 TH-poraus

Top Hammer-poraaminen on toinen käytetty menetelmä kiven poraukseen ja louhintaan. Tämä menetelmä eroaa DTH-porauksesta siten, että isku tuotetaan porakoneelta ja siitä se siirtyy porakankea pitkin porakruunulle. Top Hammer poraamisessa riittää pienempi paineilma, koska isku tuotetaan hydraulikalla ja paineilma tuodaan vain irtokivi porareiästä maanpinnalle. Kuvassa 5 on esitetty Top Hammer porauksen periaate, jossa mäntä (piston) iskee porakankeen (drill string), jonka päässä on terä (bit) joka murskaa kiveä. Lisäksi täytyy huomioida, että kuvassa 2 esitellyt porausparametrit toimivat saman aikaisesti. Tämä kokonaisuus mahdollistaa kallioon porauksen.



KUVA 5. Top Hammer isku (Heiniö 1999, 63)

Top Hammer poraus sopii parhaiten rakennustyömaille, tie- ja maanrakennukseen. Se tuottaa tarkan ja nopean pienempien reikien poraamisen erityyppisissä kivissä.

4 SYÖTTÖHYDRAULIIKKA KALLIOPORAUKSESSA

Syöttöhydrauliikka kallioporauksessa viittaa hydraulijärjestelmään, joka mahdollistaa tarvittavan voiman ja liikkeen poranterälle. Tämä järjestelmä ohjaa poran liikettä ja ylläpitää optimaalista poraustehoa kovassa kallioperässä. (Tamrock 1984.)

Syöttöhydrauliikan tehtävänä on syöttää nesteitä (yleensä hydraulijöllyä) porauslaitteen liikeosiin. Tämä hydraulijärjestelmä tuottaa poranterän rotaation, iskut tai muut liikkeet, jotka ovat välttämättömiä kallioperän poraamiseksi. Syöttövoiman on tarkoitus pitää poranterän kontakti kiveen optimaalisena (Rock excavation handbook 1999, 65).

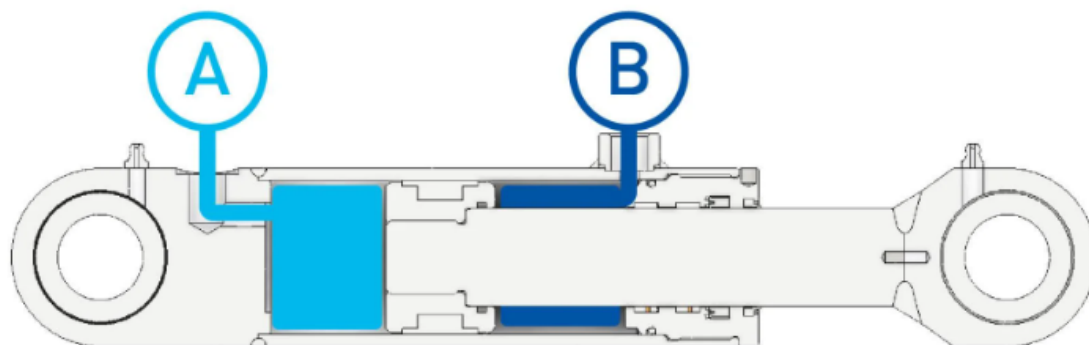
Tärkeitä elementtejä kallioporauksen syöttöhydrauliikassa ovat hydraulipumput, venttiilit, syöttösylinteri/moottori, hydrauliletkut ja putket, sekä ohjausjärjestelmä, joka säätelee ja ohjaa hydrauliikkaa varmistaen oikeanlaiset liikkeet ja poraustehon. Nykypäivän moderneissa kallioporolaitteissa on useampia antureita, jotka keräävät tietoa poraustilanteesta. Näitä tietoja voidaan käyttää ohjausjärjestelmässä reaaliaikaisesti säätämään syöttöhydrauliikkaa optimaalisen poraustuloksen saavuttamiseksi.

Syöttöhydrauliikka on olennainen osa kallioporausta, sillä se mahdollistaa tehokkaan porauksen kovissa maaperäolosuhteissa. Hydraulijärjestelmä on suunniteltu kestäämään korkeita paineita ja tarjoamaan tarkkaa hallintaa porauksen aikana.

4.1 Syöttösylinteri

Syöttösylinteri (kuva 6) on komponentti, joka käyttää hydraulista energiaa liikuttaakseen mekaanista järjestelmää, eli tässä tapauksessa porakonetta. Se koostuu pääasiassa sylinteriputkesta, sylinterinvarresta, männästä ja sen liikettä ohjaavasta nestepaineesta. Kallioporolaitteissa käytetään pääasiallisesti kaksitoimista syöttösylinteriä, eli hydraulijölly ohjaa syöttöliikkeen, että paluuliikkeen. Kun

sylinterille ohjataan nestepainetta kammioon A, varsi työntyy ulos ja vastaliikkeenä paineen tullessa kammioon B, varsi vetäytyy takaisin sisään. (Hydroline 2019.)

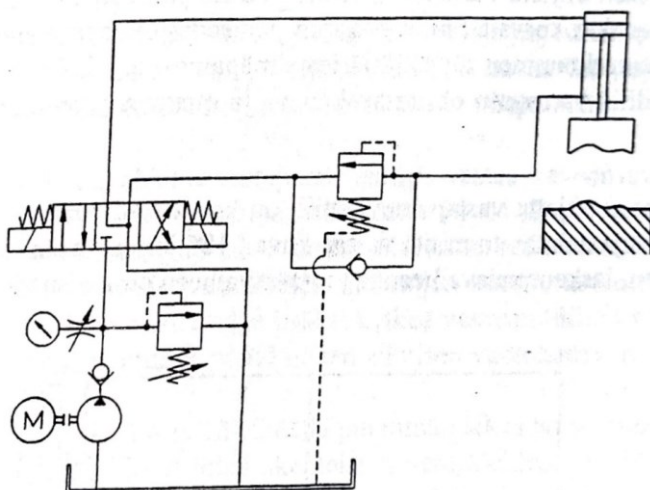


KUVA 6. Hydraulisyylinterin poikkileikkaus (Hydroline 2019)

Hydraulinen pumppu, joka luo tarvittavan paineen hydraulijärjestelmään on laitteen moottorin tai muun voimanlähteen käyttämä. Paineistettu hydraulijärjestelmään siirtyvä öljy siirtyy pumpulta hydrauliventtiileille. Ne sijaitsevat hydraulijärjestelmässä ja ohjaavat öljyn virtausta poralaitteen antureiden ja/tai operaattorin käskyjen perusteella hydraulisyylinteriin.

4.2 Syöttösylinterin painemittauksen mittauspiste

Syöttösylinterin hydraulijärjestelmässä on käytössä vastapaineventtiili, jota kutsutaan myös kuormanlaskuventtiiliksi. Venttiili on normaalisti suljettu, joten sen rinnalle tulee sijoittaa ohivirtauskanava, joka sallii vapaan virtauksen vastapaineventtiilin toimintasuuntaa vastaan. Venttiili on tärkeä osa hydraulijärjestelmää, sillä se varmistaa, että sylinteri toimii halutulla tavalla ilman, että se liikkuu vahingossa tai kontrolloimattomasti. Sisäisesti ohjatun vastapaineventtiilin piiri esiteltävä kuvassa 7.

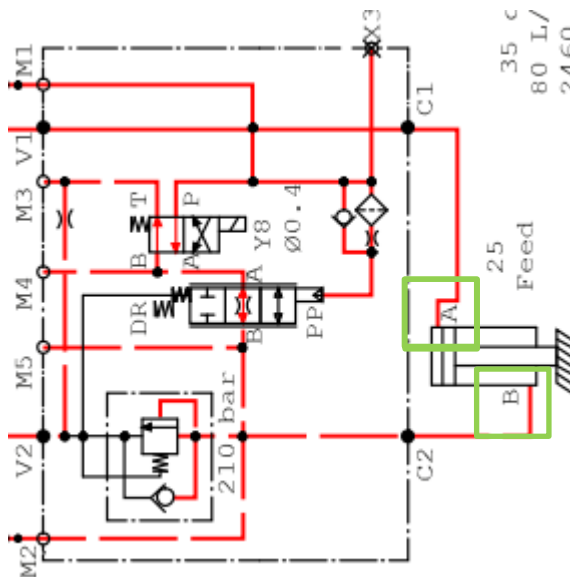


KUVA 7. Sisäisesti ohjattu vastapaineventtiili piirissä (Hydrauliikan perusteet 1996, 221)

Kun hydraulisyylinteriä ohjataan nostamaan tai laskemaan kuormaa, nesteen paine syötetään sylinterin toiseen päähän ja vastapaineventtiiliä käytetään ohjaamaan nesteen virtaus sylinterin toisesta päästä. Kun paine syötetään sylinterin toiseen päähän, venttiili avautuu sallien nesteen virtauksen sylinterin toisesta päästä, jolloin sylinteri liikkuu halutulla tavalla. Kun paine poistetaan tai vähenee, venttiili sulkeutuu estäen nesteen virtauksen vastakkaiseen suuntaan ja siten pitää sylinterin halutussa asennossa ilman, että se laskeutuu tai liikkuu hallitsemattomasti. (Hydrauliikan perusteet 1996, 221–225.)

Vastapaineventtiilit ovat tärkeitä turvallisuuden kannalta, sillä ne estävät sylinteriä liikkumasta tahtomattomasti tai hallitsemattomasti. Lisäksi ne auttavat ylläpitämään haluttua painetta ja virtausta hydraulijärjestelmässä, mikä varmistaa sen tehokkaan toiminnan.

Hydraulisyylinterin kammiopaineet tulee mitata vastapaineventtiilin jälkeen, jotta saadaan parempi käsitys siitä, millainen paine sylinterin kammioissa vallitsee. Kuvassa 8 esimerkki syöttösyylinterin kytkennästä. Mittaus tulee suorittaa sylinterin porteista A ja B.



KUVA 8. Syöttösylinterin mittauspisteet (Toolman 2023)

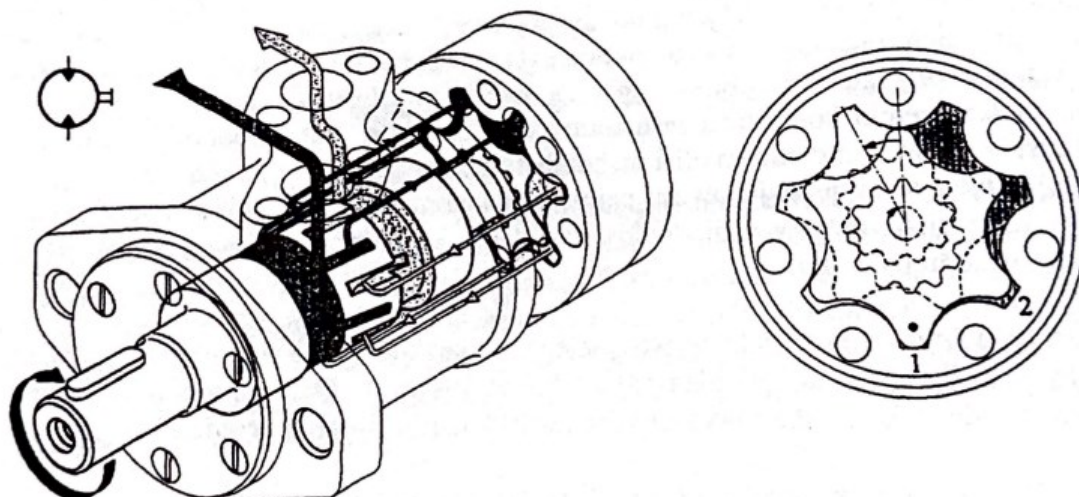
4.3 Syöttömoottori

Syöttömoottorilla liikutetaan myös porakonetta, eli se toimii samankaltaisella periaatteella kuin hydraulisylinteri, mutta kuitenkin päinvastoin. Sen sijaan että nestepaine liikuttaisi mäntää, hydraulimoottorissa se aiheuttaa pyörimisliikettä, jonka avulla syöttöketjun välityksellä porakonetta liikutetaan haluttuun suuntaan.

Hydraulimoottori toimii muuntamalla nestepaineen mekaaniseksi energiaksi, jolloin syntyy pyörivä liike akselilla. Se hyödyntää hydraulista painetta ja virtausta luodakseen tarvittavan vääntömomentin ja pyörimisnopeuden. Moottorin teho riippuu sen virtauksesta ja paineesta. (DTA n.d.b.)

Poralaitteissa yleisimmät syöttömoottorityypit ovat hidaskäyntisiä radiaalimäntä- ja orbitaalimoottoreita. Keskinopeusalueen moottorina toimii yleisesti gerotor-moottori. Nopeakäyntisiä moottoreita ei syöttömoottoreina käytetä.

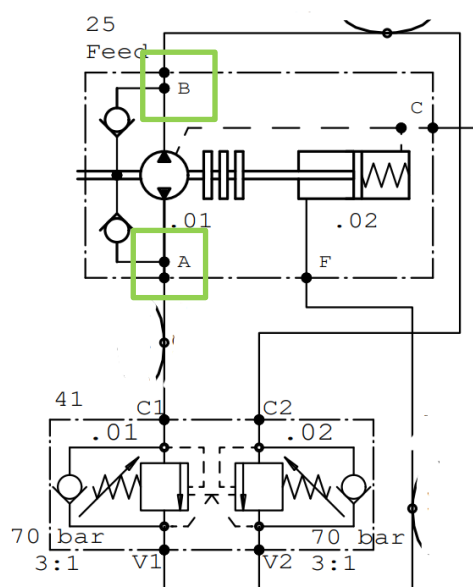
Kuvassa 9 on tässä työssä esimerkkinä käytetyn laitteen syöttömoottorina toimiva orbitaalimoottori. Moottorin rakenne muodostuu sisähammastetusta kehästä ja keskellä pöörivästä roottorista, jolloin roottorin keskipiste kulkee planetaarista rataa staattorin keskipisteen ympäri. Orbitaalimoottoreiden normaali käyttöpaine on noin 3 – 18 MPa ja pyörimisnopeus koosta riippuen 5 – 2400 r/min. (Hydrauliikan perusteet 1996, 134-135.)



KUVA 9. Orbitaalimoottori (Hydrauliikan perusteet 1996, 134)

4.4 Syöttömoottorin painemittauksen mittauspiste

Hydraulisensyöttömoottorin paineen mittaaminen suoraan moottorilta on tärkeää tarkan ja luotettavan arvon saavuttamiseksi. Mittaamalla suoraan moottorilta vältetään mahdolliset virtausvastuksen aiheuttamat virheet, jotka voisivat vääristää mittausta pidemmällä mittauslinjoilla. Kuvassa 10 esimerkki syöttömoottorin kytkennästä. Mittaus tulee suorittaa porteista A ja B.



KUVA 10. Syöttömoottorin mittauspisteet (Toolman 2023)

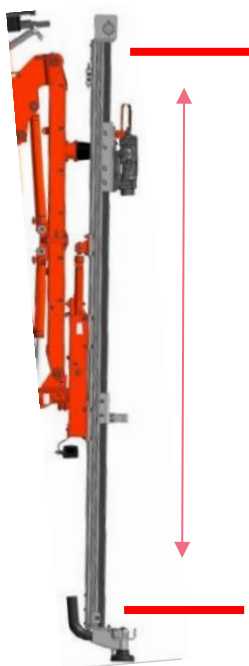
5 MITTAUS

Mittausprosessin aluksi tulee kerätä kaikki olennaiset mitattavan laitteen tiedot, malli ja tekniset ominaisuudet. Porakoneen liikenopeus on määriteltävä ja käytettyjen mittalaitteiden, kuten paineantureiden tulee olla oikein kalibroituina mittalaitteeseen. Laitteen tulee olla käyttölämpötilassa, eli hydraulioöljy noin 40 asteista.

Hydraulisen paineen (bar) mittauksessa käytetään kahta analogista painelähetintä, joilla pystytään mittaamaan luotettavasti mitattavan kohteen painetasoja. Painelähettimet kytketään 4.2 ja 4.4 kappaleissa mainittuihin portteihin, syöttötavasta riippuen.

Mittaukset suoritetaan kierteyttämällä. Kierteytys on se hetki, jolloin porakanki kierteytetään kiinni tai irti. Tällöin porakoneen liike on maltillinen, joka sopii tähän mittaukseen. Porakone liikkuu koko mittauksen ajan kierteytysnopeutta aluksi alas ja sen jälkeen ylös. Mittalaitteen näytteenotto väliksi tulee valita 1000 ms, eli yksi mittaus yhdessä sekunnissa. Tämä on riittävä näytteenotto väli hitaalla liikkeellä, eikä tarkoituksena ole yksittäisiä nopeita painepiikkejä edes mitata. Mikäli näytteenotto väli olisi tiheämpi, täytyisi mittauspöytäkirja (kappale 6.1) kymmenistä tuhansista riveistä.

Kuvassa 11 esiteltynä porakoneen matka syöttölaitteella, jolta mittaus tulee suorittaa. Laitemalleittain syöttölaitteen pituus on eri ja näin ollen mittauksen pituus vaihtelee. Ylimääräinen mittausdata tullaan rajaamaan jälkikäsitteilyssä pois, jotta vertailukelpoinen pelkän porakoneen liikkeen aikainen data jää jäljelle, joka voidaan siirtää mittauspöytäkirjaan.



KUVA 11. Porakoneen liikematka (Commando DC130Ri specification sheet n.d)

Mittauspaikan olosuhteet:

Mittauspaikan olosuhteet vaikuttavat merkittävästi tuloksiin. Siksi mittausohjeessa on annettava tietoja ympäristön lämpötilasta ja sääolosuhteista. Esimerkiksi sadekehi vaikuttaa porakoneen liukupintojen toimintaan ja kuivissa olosuhteissa voidaan saada erilaisia tuloksia mm. toistojen myötä kohonneiden liukupintojen lämpötilan vuoksi, jolloin pintojen kitkakerroin saattaa kasvaa.

Toistokerrat ja dokumentointi:

Mittauksia tulee toistaa 2–3 kertaa samalla laitteella varmistaakseen tulosten luotettavuus. Jokainen mittauskerta on dokumentoitava huolellisesti ja tulokset kirjataan datan käsittelyn aikana pöytäkirjaan. Tämä mahdollistaa jälkikäteisen analyysin ja vertailun eri mittauskertojen välillä.

Turvallisuusnäkökohdat:

Mittauksia suoritettaessa on aina otettava huomioon turvallisuusnäkökohdat. Kaikki osalliset on perehdytettävä mahdollisiin riskeihin ja on käytettävä tarvittavia suojarusteita. Turvallisuuden varmistamiseksi on myös varmistettava, että mittauspaikka on asianmukaisesti valaistu ja merkitty.

Ohjeiden perusteella saadaan aikaiseksi kattava kehys syötönpainemittausten suorittamiseen. Huolellinen mittausprosessin suunnittelu ja dokumentointi varmistavat tulosten luotettavuuden ja vertailukelpoisuuden eri olosuhteissa. Mittausohjeen noudattaminen on välttämätöntä, jotta saavutetaan tarkat ja luotettavat syötönpainemittaukset.

5.1 Tiedonkeruu

Mittauksiin käytetään Hydac:n valikoimasta löytyvää HMG 4000 -käsimittalaitetta (kuva 12). Se on kehitetty tietojen keräämiseen kaikille hydraulijärjestelmän mitattaville muuttujille kuten paineelle, lämpötilalle, virtausnopeudelle ja lineaariselle sijainnille. (Hydac n.d.). Tässä opinnäytetyössä käsimittalaitetta tullaan käyttämään hydraulisen paineen (bar) mittaukseen.



KUVA 12. HMG 4000 -käsimittalaite (Hydac n.d.)

Käsimittalaitteen hyödyntäminen tässä opinnäytetyössä on erittäin kätevää monistakin syistä, kuten suuren kosketusnäytön ja kannettavuutensa ansioista. Laite kantautuu mitta-antureiden, sekä johtimien kanssa kätevästi mitattavalta kohteelta toiselle.

5.2 Painelähettimet

Mittauksissa käytetään Trafaq:n valmistamia painelähttimiä (kuva 13). Trafaq valmistaa painelähttimiä, joiden mitta-alueet ovat 0–1 barista 0–1000 bariin. Painelähttimissä on myös erinomainen tarkkuus tyypillisesti $\pm 0.25\%$ FS - $\pm 0.5\%$ FS mallista riippuen. Painelähttimet ovat valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja ovat hyvin kestäviä ja mahtuvat kompaktin kokonsa vuoksi hankalimpiinkin paikkoihin. Valikoimasta löytyy myös useilla eri liitännä vaihtoehtoilla olevia painelähttimiä. (Trafaq pressure transmitter n.d.)



KUVA 13. Trafaq NAT 8252 (Trafaq pressure transmitter n.d.)

Syötönpainemittauksiin valikoitui käytettäväksi Trafaq NAT250.0 painelähtetin. 250 bar mitta-alue on riittävä, koska sen ylittäviä paineita ei näissä kohteissa tule. Anturin liitännänä toimii M12 IP67, jolloin se voidaan yhdistää suoraan HMG 4000-käsimittalaitteeseen. Anturin prosessiyhde on G1/4" jolloin se saadaan kytettyä suoraan mittapisteeseen.

5.3 Datan käsittely

Hydac:n valikoimasta löytyy HMGWin-ohjelma, joka on tarkoitettu HMG-käsimittalaitteen mittausdatan jälkikäteiseen analysointiin. Ohjelma tarjoaa monipuolisia työkaluja ja ominaisuuksia, jotka auttavat käyttäjää seuraamaan ja analysoimaan mitattua dataa. Lisäksi ohjelmalla on helppo visualisoida ja tarkastella dataa graafisesti. Tässä työssä ohjelman olennaisin työkalu on mittadatan rajausta ja rajatun alueen arvojen tallentaminen suoraan Excelin CSV muotoon. Tallennetusta Excel-tiedosta voidaan siirtää mittausarvot suoraan laadittuun mittauspöytäkirjaan.

Kuvassa 14 on esimerkki HMGWin ohjelmaan siirretystä mittadatasta yhden edes takaisen mittauksen ajalta. Kuvaajassa liikutetaan porakonetta aluksi alas pysähdyspaikkaan asti, jonka jälkeen liikettä jatketaan takaisin ylös. Liikkeiden mittadatan alusta ja lopusta rajataan noin 5 % pois, jotta jäljelle jäävä mitta-arvo on pelkästään porakoneen liikkeestä. Kuvaan 12 merkattu alueet, jolta mitta-arvot tallennettiin. Sininen käyrä A-portti ja punainen käyrä B-portti. Y-akselilla paineen yksikkö (bar) ja X-akselilla kulunut aika. Mittaukset toistettiin kolme kertaa ja jokaiselta mittaukselta painetasot tallennettiin pöytäkirjaan samalta alueelta.



KUVA 14. Hydac HMGWin jälkikäsitteilyohjelma

Graafisen muodon ja painetasojen perusteella on helppo havaita milloin syöttömoottorin A ja B portit paineistuvat. Porakonetta alaspäin liikuttaessa huomataan, että painetasot pysyvät lähes samalla tasolla. Tämä johtuu siitä, että porakoneen oma massa pystyy liikuttamaan sitä alaspäin. Vasta alastopparia vasten ajaessa punaisessa (B-portti) käyrässä painetaso nousee, koska syöttömoottori yrittää vetää porakonetta stopparia vasten. Ylöspäin liikuttaessa painetasot ovatkin etäämpänä toisistaan, koska porakonetta vedetään ylöspäin, eikä sitä tarvitse vastakkaisella porttipaineella jarruttaa, kuten alaspäin täytyy. Sinisen käyrän (A-portti) lopussa huomataan taas painetason nousu, kun porakone saavuttaa ylästopparin.

6 MITTAUSPÖYTÄKIRJA

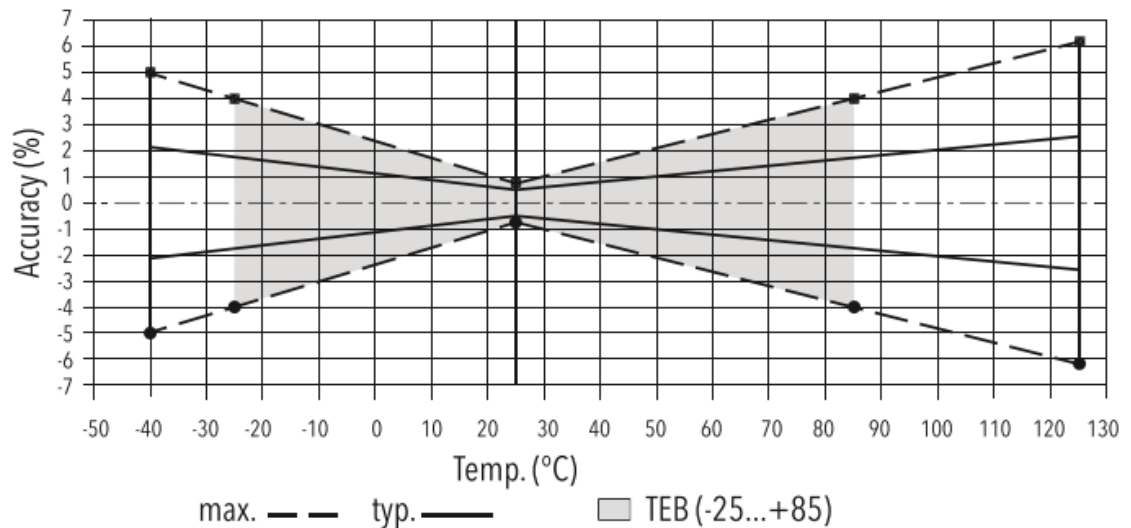
Mittauspöytäkirjaan on solukohtaisesti määritelty liikkeen suunta, sekä mistä portista kyseinen painearvo on. Näihin määriteltyihin soluihin tullaan syöttämään mitatadatasta tallennetut arvot. Mittauspöytäkirjaan on laadittu kaavat, jotka laskevat jokaisen mittauksen keskihajonnan sarakkeisiin syötettyjen arvojen mukaisesti. Keskihajonta saadaan Excel funktiolla "KESKIHAJONTA.P".

Koska lopputuloksena halutaan laitekohtaisesti kaikkien mittauskertojen kokonaisvaihteluväli, on sille oma taulukkonsa. Vaihteluväli saadaan keskihajonnan perusteella kaavalla 1. Laskiessa vaihteluvälin min arvoa käytetään kaavassa miinus (-) merkkiä ja plus (+) merkkiä max arvoa laskiessa. Vaihteluväli on siis 6 sigmaa keskiarvosta.

$$3 \cdot \text{keskihajonta} \pm \text{keskiarvo} = \text{vaihteluväli} \quad (1)$$

Mittauspöytäkirjassa on jokaisella laitteelle oma välilehti. Tämä mahdollistaa laitemalleittain tuloksien helpon seurattavuuden ja vertailun. Laitekohtaisesti välilehdille tulee Sandvikin sisäisissä mittauksissa yksityiskohtaisempia tietoja. Jokaiselle välilehdelle on määritelty, liikutetaanko porakonetta syöttömoottorilla vai syöttösylinterillä.

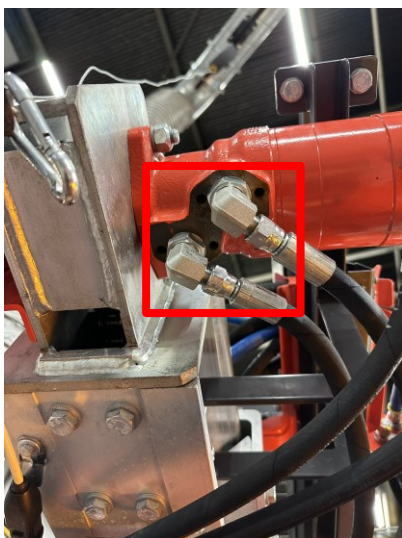
Pöytäkirjassa olevaan ympäristön lämpötilaan määritelty arvo ilmoittaa virhe sarakkeessa mittaukseen sisältyvän painelähettimen mahdollisen virheen paineena (bar). Virhe sarake muuttuu kuvan 15 mukaisella tarkkuustaulukolla lämpötilan mukaan. Pöytäkirjaan on määritelty virhe lämpötiloille 10–20°C, 20–25°C ja 25–30°C. Painelähettimen virhe vaihtelee näissä lämpötiloissa 1,25–2,5 bar.



KUVA 15. Mittatarkkuus eri lämpötiloissa (Trafaq NAT 8252 datasheet n.d)

6.1 Datan tallennus

Esimerkkinä käytetään Commando DC130Ri päältäiskevää (TH) porauslaitetta. Kyseisessä laitteessa syöttö toteutetaan 4.2 kappaleessa mainitulla orbitaalimoottorilla. Painelähtimet kytkettiin moottorin A ja B portteihin (kuva 16). Käsimittalaitteelle painelähtimet kytkettiin analogisiin portteihin 1 ja 2. Valmisteluiden jälkeen ja mittauspöytäkirjan lähtötietojen täytön jälkeen käsimittalaitteelta aloitettiin datan tallentaminen. Porakonetta ajettiin 3 kertaa päästä päähän, jonka jälkeen mittaus lopetettiin.



KUVA 16. Orbitaalimoottorin A ja B portit

Käsimitalaitte todettiin mittauksien aikana oikeaksi valinnaksi tämän kaltaisiin mittauksiin. Suurelta näytöltä näkee koko mittauksen ajan, kuinka se piirtää graafista kuvaajaa. Käsimitalaitte on helppo ja nopea kytkeä painelähettimiin, sekä se ymmärtää itse kalibroida painelähettimet ennen mittauksen aloitusta.

Mittauksen jälkeen data tallennettiin jälkikäsitteilyohjelmaan, josta se siirrettiin rajattuna Excel muodossa suoraan pöytäkirjaan. Pöytäkirjasta saatiin suoraan mittauskohtaiset keskiarvot, keskihajonnat ja vaihteluvälit, sekä kaikkien kolmen mittauskerran kokonaisvaihteluväli.

6.2 Tulokset

Mittauspöytäkirjaan asetetut lähtötiedot taulukossa 1. Mittauksen ympäristössä tai laitteessa ei ollut huomioitavia asioita. Mittaukset voitiin tehdä aiemmin vakioidulla tavalla ja luottaa siihen, että tulokset ovat vertailukelpoisia.

TAULUKKO 1. Mittauspöytäkirjan lähtötiedot

Päivämäärä	20.2.2024
Paikka	Säätökammio
Laite	DC130Ri
Ympäristön lämpötila	22 °C
Kierteytys nopeus	1,2 m/min
Mittavirhe	1,25 bar
Syöttötapa	Moottori

Keskihajontataulukko 2 esittää laitteen syötön painetasojen keskihajontaa kiertäessä ylös ja alas. Taulukko on luotu mittauspöytäkirjan (liite 1) näyttämien arvojen perusteella. Taulukkoon on eriteltyä myös mittauskohtaiset arvot, vaikka se ei ole työn lopputuloksena päätavoite. Yksittäisten mittauksien arvot ovat kuitenkin tarvittaessa hyvä olla selkeästi saatavilla, mikäli niihin halutaan tehdä tarkempaa analyysiä.

TAULUKKO 2. Keskihajonnat

Portti	Kierteytys alas		Kierteytys ylös	
	A (bar)	B (bar)	A (bar)	B (bar)
Mittaus 1	1,194	0,743	1,471	1,025
Mittaus 2	0,891	0,522	2,180	0,919
Mittaus 3	0,867	0,484	2,341	1,042
Kokonaishajonta	0,997	0,644	2,082	1,013

Kolmen mittauskerran vaihteluväli esitelty taulukossa 3. Tulokset antavat suuntaa mihin kyseisen laitemallin vaihteluväli tulee asettumaan, mutta lisämittauksien jälkeen arvot saattavat vielä muuttua.

TAULUKKO 3. Kokonaisvaihteluvälit

Suunta ja portti	Vaihteluväli (bar)
Alas A	19,5–25,5
Alas B	20,8–24,6
Ylös A	30,4–42,9
Ylös B	2,4–8,5

7 TULOSTEN KÄSITTELY

Tuloksena saatiin syötön painetasoista keskihajonta, keskiarvo ja vaihteluväli ilmi laaditun mittauspöytäkirjan avulla. Vaikka mittauksia suoritettiin vain yhdellä laitteella kolmeen kertaan, antoi se jo vertailukelpoisia tuloksia ja varmistuksen mittauspöytäkirjan toimivuudesta.

Simuloitujen kuvioiden avulla (kappale 7.2) voidaan todeta ilmiön olevan stabiili. Mikäli jatkomittaukset menevät määritellyn normaalijakauman ulkopuolelle, voidaan todeta tuloksen olevan normaalista poikkeava.

Alaspäin painetasojen vaihtelu on lähes olematon, mutta ylöspäin on havaittavissa hieman suurempaa vaihtelua. Tämä on osakseen selitettävissä sillä, että alaspäin porakone pystyy liikkumaan omalla painollaan, eikä sitä tarvitse moottorilla vetää. Ylöspäin liikkuessa porakonetta joudutaan kuitenkin vetämään, joka aiheuttaa paineisiin hieman enemmän muutoksia.

Vaihteluväli voi vielä muuttua työssä esitetystä arvoista, kun useampi laite on saatu mitattua. Mitä useampi laite saadaan mitattua, sitä tarkemmin vaihteluväli pystytään tuomaan ilmi.

7.1 Minitab-analyysi

Tulosten tarkempaan analyysiin hyödynnettiin Minitab-ohjelmistoa. Tätä ei tulla käyttämään jokaiseen mittaukseen, mutta tässä työssä hyödynnettiin tämän ohjelmiston ominaisuuksia.

Minitab on tilastollisen analyysin ja laadunhallinnan ohjelmisto, joka on suunniteltu erityisesti yrityksille ja tutkijoille. Ohjelmistosta löytyy monipuolisia työkaluja tietojen analysointiin, kuten graafisia esityksiä, regressioanalyysiä, varianssianalyysiä ja monia muita tilastollisia menetelmiä. (Minitab suomenkielinen esite 2024, Quality Knowhow Karjalainen Oy.)

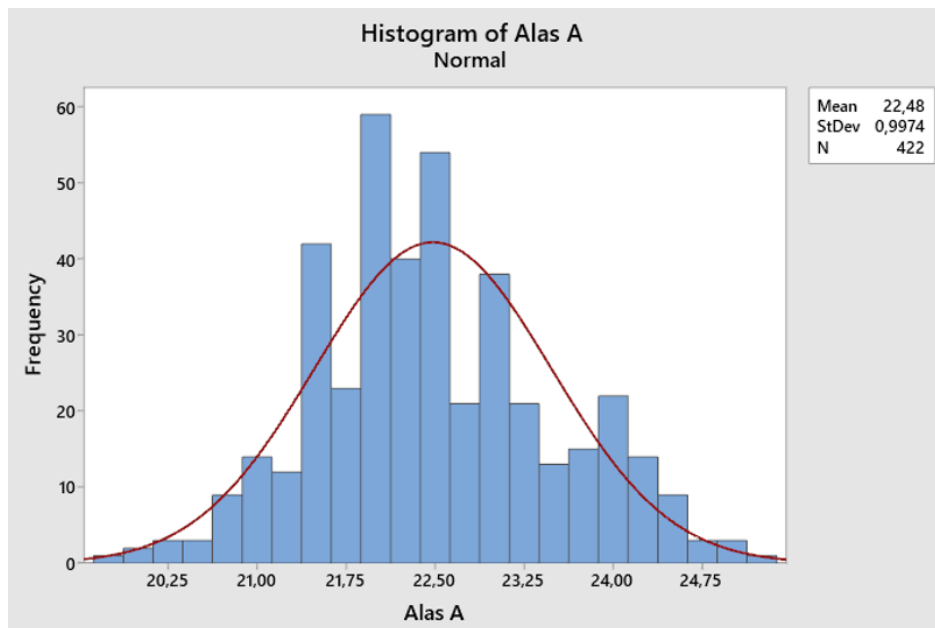
Minitabia käytetään usein laadunhallinnan, prosessien parantamisen, tuotekehityksen, laadunvarmistuksen ja tilastollisen tutkimuksen alueilla eri teollisuudenaloilla. Ohjelmisto tarjoaa käyttäjilleen helppokäyttöisen käyttöliittymän ja tehokkaita työkaluja datan analysointiin ja tulosten visualisointiin, mikä tekee siitä suosituksen valinnan tilastolliseen analyysiin ja päätöksentekoon liittyvissä tehtävissä. (Minitab suomenkielinen esite 2024, Quality Knowhow Karjalainen Oy.)

7.2 Minitab-kuvaajat

Minitab-analyysiohjelmaan syötettiin mittauspöytäkirjan arvot, joilla saatiin kapaleen 6.2 arvot. Ohjelmistolla saadaan laaja analyysi mittauksista, mutta tässä esitelty normaalijakaumaa kolmesta mittauksesta saaduista tuloksista. Ohjelmiston syvällisempää analyysiä pystytään hyödyntämään tarvittaessa, kun Sandvikin sisäiset mittaukset on saatu suoritettua ja mittadataa on enemmän syötettävänä.

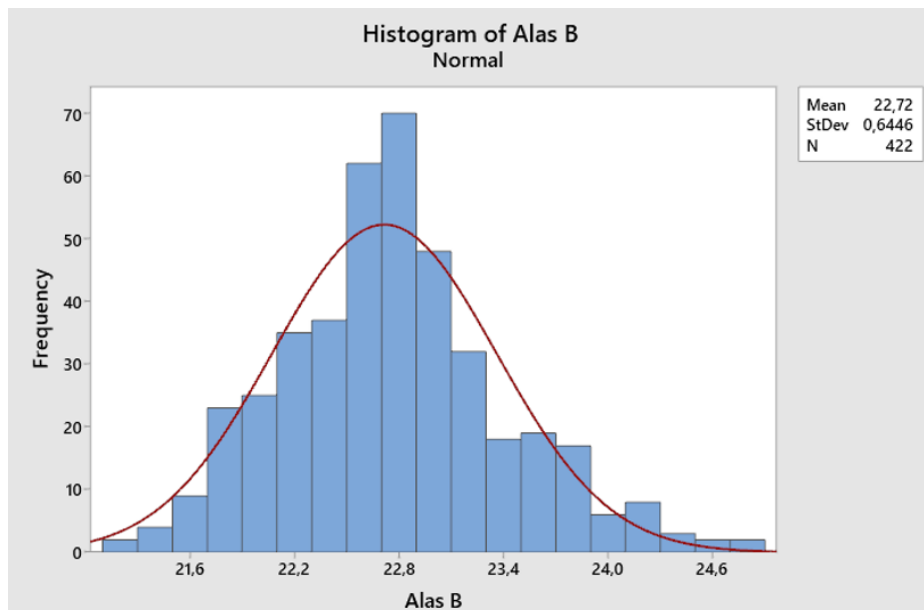
Histogrammi on diagrammi, joka kuvaa numeerisen datan jakaumaa graafisesti. Histogrammin avulla saatiin visualisoitua muuttujien jakauma. Se näyttää pystysuuntaisina pylväinä ryhmän frekvenssiä ja punaisena viivana normaalijakaumaa. Kuvion X-akselilla on painetaso ja Y-akselilla tapahtuman toistumistiheys.

Kuviossa 1, A-porttipaineen keskiarvo on 22,48 bar ja keskihajonta 0,9974 bar. Tämä ohjelman ilmoittama keskihajonta on täysin sama kuin laaditun mittauspöytäkirjan. Kuviossa on esitetty punaisella viivalla normaalijakaumaa. Johtuen mittauksien vähyydestä, kuviot eivät mene täysin päällekkäin, mutta seuraavat toisiaan. Useammalla mittauksella, jolloin diagrammin datamäärä kasvaa, saattaisi palkit seurata punaista normaalijakauman viivaa paremmin.



KUVIO 1. Histogram analyysi alaspäin, A-portti

Kuviossa 2, B-porttipaineen keskiarvo on 22,72 ja keskihajonta 0,6446. Kuvioista nähdään pystysuuntaisten pylväiden asettuvan paremmin normaalijakauman punaiselle viivalle.



KUVIO 2. Histogram analyysi alaspäin, B-portti

8 YHTEENVETO

Kallioporolaitteiden syötönpaine on olennainen osa niiden tehokasta ja luotettavaa toimintaa. Opinnäytetyössä kehitettiin menetelmä, jonka tavoitteena oli karottaa eri laitemallien syötönpaineiden vaihteluväliä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi oli ensiarvoisen tärkeää varmistaa mittauksien vakioitu toteutus ja luotettavuus.

Opinnäytetyössä käsiteltiin kahta erilaista syöttö tapaa. Näiden kahden syöttötavan toimintaan perehtymällä saatiin ymmärrys mitä halutaan mitata, joka toimii pohjana laaditulle mittauspöytäkirjalle. Mittauspöytäkirjan kehittäminen on askel kohti parempaa syötönpaineiden hallintaa ja vaihteluvälin tutkimista. Tavoitteena oli luoda raamit laitekohtaisille syötön paineiden vaihtelulle.

Opinnäytetyön lopputuloksena saavutettiin kattava mittauspöytäkirja ja ymmärrys syötönpainemittauksista, mikä mahdollisti mittauksien toistettavuuden ja vertailtavuuden eri laitemallien välillä. Tulossa on kymmeniä mittauksia eri laitemalleille, mutta mittauspöytäkirja nopeuttamaan tulosten analysointia huomattavasti. Tämä antaa Sandvik Mining and Construction Oy:lle tärkeää tietoa laitteiden suorituskyvystä ja auttaa heitä optimoimaan laitteitaan ja tarjoamaan asiakkailleen entistä parempia ratkaisuja.

Nykypäivänä on väistämättä otettava huomioon sähköistyminen, joka on merkittävä trendi kaikilla aloilla, kuten myös kallioporolaiteteollisuudessa. Sillä voi olla suoria vaikutuksia tässä opinnäytetyössä tutkittuun hydrauliseen syötönpainemittaukseen. Perinteisesti kallioporolaitteissa on käytetty hydraulikkaa syötön ja muiden toimintojen ohjaamiseen. Mikäli siirryttäisiin täysin sähköisiin järjestelmiin, jossa ei ole lainkaan hydraulista painetta, ei perinteisillä paineantureilla voisi enää mitata. Täysin sähköllä toimivilla syöttömootoreilla tai syöttösylintereillä on todennäköisesti tarpeen tarkastella tässä opinnäytetyössä vakioitua mittaustapaa uudelleen.

LÄHTEET

DTA. n.d. Hydraulic motors. Viitattu 8.1.2024. <https://dta.eu/hydraulics/hydraulic-motors>

Heiniö, M. 1999. Rock Excavation Handbook. Tampere: Sandvik Tamrock

Hydac. n.d. HMG 4000. Viitattu 11.1.2024 <https://www.hydac.com/shop/fi-fi/hmg-4000-1000510101>

Hydroline. What is a hydraulic cylinder?. Viitattu 8.1.2024 <https://hydroline.fi/blogs/what-is-a-hydraulic-cylinder/>

Kauranne, H. 1998. Hydrauliiikan perusteet. 2. painos. Helsinki: WSOY.

Minitab, Quality Knowhow Karjalainen Oy. 2024. Tehokasta data-analyysiä. Viitattu 3.3.2024 <https://qkk.fi/wp-content/uploads/2023/01/Minitabbroshure-2024Qkk.pdf>

Omnia. 2021. What are Rock Drills? Viitattu 3.1.2024 <https://www.omniamachinery.com/2021/08/what-are-rock-drills/>

Sandvik. 2023. Sandvik Mining and Rock Solutions. Viitattu 7.12.2023. <https://www.home.sandvik/en/about-us/business-areas/sandvik-mining-and-rock-solutions/>

Sandvik. 2022. Vuosikatsaus. Viitattu 7.12.2023. <https://www.annualreport.sandvik/en/2022/operations/sandvik-mining-and-rock-solutions/overview.html>

Sandvik. n.d.a. Tietoja meistä. Viitattu 7.12.2023. <https://www.home.sandvik/fi/tietoja-meist%C3%A4/>

Sandvik. n.d.b. Leopard DI605i. Viitattu 3.2.2024. <https://www.rocktechnology.sandvik/fi/tuotteet/laitteet/maanp%C3%A4%C3%A4lliset-porauslaitteet/leopard-di650i-uppovasaraporauslaite/>

Sandvik. n.d.c. Down the hole hammers. Viitattu 3.2.2024. <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/rock-tools/down-the-hole-drilling-tools/down-the-hole-hammers/>

Tamrock. 1984. Handbook on surface drilling and blasting. Tampere: Painofaktorit

Toolman. 2023. Tekninen käsikirja. Viitattu 6.3.2024

Trafaq Pressure Transmitters. n.d. Viitattu 14.2.2024 <https://www.trafaq.com/en/products/pressure-transmitters/>

Trafaq NAT 8252 Pressure Transmitter. n.d. Datasheet. Viitattu 11.1.2024.

