

Planering av vibrationsmätningstrustning för forsknings- och utvecklingslaboratoriet

Felix Jansson

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)

Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik

Vasa 2022

EXAMENSARBETE

Författare: Felix Jansson
Utbildning och ort: EI- och automationsteknik, Vasa
Inriktning: Elkraftsteknik
Handledare: Roger Mäntylä, Matias Laitala

Titel: Planering av vibrationsmätningssystem för forsknings- och utvecklingslaboratoriet

Datum: 18.5.2022 Sidantal: 31

Abstrakt

Detta examensarbete är utfört på uppdrag av Mirka Ab vid Power Tools-enheten. Mirka tillverkar olika produkter inom slipmaterialteknologi och är världsledande inom detta område. Power Tools-enheten är en del av forsknings- och utvecklingslaboratoriet där till exempel olika poler- och slipmaskiner utvecklas.

Syftet med detta examensarbete var att med hjälp av olika tekniska tillvägagångssätt utvärdera ett nytt vibrationsmätningssystem. Prioriteringen skulle vara på ett system med möjlighet att integreras med det redan existerande testramverket, vilket ger en effektiv rapportering och uppstart av mätningar som kan användas till HALT-tester och till hand-arm-vibrationsmätningar. Om tiden räckte till skulle även testramverket byggas upp och drifställas i R&D-laboratoriet.

Examensarbetet gick ut på att planera och att jämföra olika tillvägagångssätt för problemet och att beställa in utrustningen som bestäms efter utvärdering av olika alternativ. Till arbetet hörde också att bekanta sig med vilka direktiv och standarder som är aktuella inom området.

I resultatet ges förslag till olika alternativ till lösningen och man märker snabbt att användning av en LabVIEW-miljö är det enklaste och bästa alternativet. Efter ett möte blev det bestämt att man börjar använda sig av en LabVIEW-miljö och att det beställs in de nödvändiga komponenter som behövs till denna lösning. Eftersom leveranstiderna var långa på dessa komponenter och att det inte fanns på plats, så blev det inget bygge av testramverket i samband med detta examensarbete.

Språk: svenska

Nyckelord: vibrationsmätningar, automatisering, hand-armvibrationer, frekvenser

BACHELOR'S THESIS

Author: Felix Jansson
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Specialisation: Electrical power engineering
Supervisor(s): Roger Mäntylä, Matias Laitala

Title: Planning of vibration measurement equipment for the research and development laboratory

Date: 18.05.2022 Number of pages: 31

Abstract

This bachelor's thesis was conducted on behalf of Mirka Ab at the Power Tools- unit. Mirka produces different products within surface finishing technology and is a world leader within this branch. The Power Tools unit is a part of the research and development laboratory where for example different polishing and sander machines are being developed.

The purpose with this bachelor's thesis was to evaluate different technical approaches for a new measurement system. The priority lies on a system with the possibility to integrate with the already existing test framework, and one that gives an efficient reporting and set-up of measurements that can be used for HALT-tests and hand-arm vibration measurements. If time permits the system shall be built and commissioned in the R&D laboratory.

The bachelor's thesis is about planning and comparing different approaches for the problem and ordering the needed equipment which is determined after the evaluation of different approaches. It also belongs to the work to familiarize with what directives and standards apply to the specific area of work.

The result was given as suggestions for different approaches to the solution, but after a meeting it was decided to start using a LabVIEW environment and to order the needed components for this solution to work. Because the delivery time was very long on the needed hardware and there was none on site there was no time to build and commission the system during my bachelor's thesis.

Language: Swedish

Key words: vibration measurements, automation, hand-arm vibrations, frequencies

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
2	Mirka Ab.....	3
3	Teori	4
3.1	Grunderna i vibrationsmätning	4
3.2	Piezoelektriska accelerometergivare	4
3.3	Gage R&R	6
3.4	HALT-tester	7
3.5	Hand-armvibrationer.....	8
3.5.1	Mätningens procedur och giltighet.....	9
3.5.2	Frekvensviktning.....	9
3.5.3	ISO 8040-1	11
3.5.4	PVEM	11
3.6	ISO 5349 – mätning och utvärdering av mänsklig exponering till handöverförda vibrationer.....	13
3.7	LabVIEW	14
3.7.1	LabVIEW Sound and Vibration Toolkit	15
3.8	Testrapporter	16
3.8.1	Förberedelse inför test	17
3.8.2	Fästning av sensor.....	17
3.8.3	Utförande av test.....	18
3.8.4	Exempel på testrapport.....	18
4	Nuvarande mätsystem	19
5	Utförande.....	21
5.1	Utvärdering av hård- och mjukvara.....	21
5.2	Alternativ 1 – LabVIEW med befintlig utrustning	21
5.2.1	Accelerometerjämförelse	23
5.2.2	Förstärkare/modul jämförelse.....	24
5.3	Alternativ 2 – MMF Human Vibration Analyser VM31	24
5.4	Prisjämförelse.....	26
5.5	Val av metod.....	27
6	Resultat	28
7	Diskussion	29
8	Källor.....	30

1 Inledning

Examensarbetet görs på uppdrag av Mirka Ab. Examensarbetet är ett av kraven för utbildningen för Yrkeshögskolan Novia inom utbildningen el- och automationsteknik. Under denna inledning kommer examensarbetet syfte och bakgrund diskuteras. Jag började som sommararbetare vid Mirka sommaren 2018 under mitt första år inom studierna när jag sökte praktik. Där jobbade jag tre somrar vid höglagret och jag trivdes bra. Nu under mitt sista studieår så kom examensarbetet på fråga och jag fick kontaktuppgifter till olika personer vid olika avdelningar i Mirka. Det som intresserade mig mest var Power Tools-enheten. Vid kontakt med Matias Laitala bestämde vi ett möte där vi diskuterade examenarbetets syfte och gick igenom hur arbetet skulle slutföras.

1.1 Bakgrund

Vid utveckling av handhållna elverktyg så är hand-armsvibrationsnivåer en viktig del av utvecklingen. Idag har Mirka utrustning för dessa mätningar och utför vibrationstester i R&D-laboratoriet. Andelen vibrationstester och frekvenser i laboratorierna är höga och det är viktigt att uppställningstiderna och rapportering av dessa är så effektiva som möjligt. Vibrationsnivåer är också mätta och övervakade i livstidstester och HALT-tester eftersom vibrationsnivåerna är en signifikant accelerator till livstiden till komponenterna och produkterna.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete var att uppgradera hårdvaran och mjukvaran till deras sliplaboratorium eftersom det gamla systemet börjar vara föråldrat och ett nytt måste inskaffas. Målet var att få en mjukvara som skall vara lätt att installera på andra datorer och att man lätt kan flytta omkring testramverket. Fokusen skall ligga på produkter som redan finns på marknaden och att det skall finnas en möjlighet att integrera detta till det redan existerande testramverket, vilka kan användas till vibrationstester och HALT-tester. Jag skall då göra en jämförelse med befintlig utrustning och planera hårdvaran och beställa in det bestämda alternativet. Sedan skall detta system även driftsättas och byggas i laboratoriet.

Power Tools-enheten använder sig av diverse test för att utföra tester på slipmaskiner, samt en rapport som lagras i deras intra där man kan kontrollera föregående tester av olika

produkter. Helhetsbilden av detta är att man vill gå över till LabVIEW för att göra vibrationstester eftersom Power Tools-enheten vill börja använda sig av LabVIEW.

2 Mirka Ab

Mirka Ltd. är världsledande inom slipmaterialteknologi och erbjuder ett brett sortiment för ytbehandlings- och precisionslipslösningar. Företaget har specialiserat sig på helhetslösningar där slipmaterialen kompletteras av innovativa designade maskiner och poleringsmedel. Tack vare Mirkas Power Tools-enhets satsningar på nytänkande inom design och produktutveckling möjliggörs en snabbare utveckling av nya slip- och polermaskiner. Power Tools-enheten har för tillfället 50 stycken anställda på enheten.

Mirka har sina fabriker här i Finland i Jeppo, Jakobstad, Oravais och Karis. Utöver detta så är Mirka Ltd. ett internationellt företag och har dotterbolag runtom i Europa, Nord- och Sydamerika, mellanöstern och Asien. Mirka är också det första företaget inom slipmaterialsbranschen som erhållit de tre viktigaste kvalitetscertifikaten – kvalitetscertifikatet ISO 9001:2000, miljöcertifikatet ISO 14001 och certifikatet för arbetshälsa- och säkerhet OHSAS 18001. Mirkas motto är ”Dedicated to the finish” vilket dem säger är hemligheten bakom höga krav på sig själva, deras omgivning, deras produkter och innovationer. (Mirka Ltd, 2022).

Mirka har nått sin position som global teknogiledare tack vare att företaget vid millennieskiftet uppfann den dammfria slipningen. Mirkas omsättning under 2020 var 283,5 miljoner €. (KWH Group, 2020).

Företaget är grundat till en början av Onni Aulo år 1943 men hör i denna dag till KWH koncernen. 1962 flyttade Mirka till Jeppo och köptes sen upp av Oy Keppo Ab. År 1973 slogs de två bolaget samman. I Finland har Mirka fabriker i Jeppo, Jakobstad, Oravais och Karis. (Mirka Ltd, 2022).

The logo consists of the word "MIRKA" in a bold, black, sans-serif font, centered on a solid yellow rectangular background.

Figur 1. Mirkas logo. (Mirka Ltd, 2022).

3 Teori

Under teoridelen kommer det beskrivas om all nödvändig teori för detta ämne. Det framkommer varför hand-armvibrationer är viktiga, vad man skall tänka på vid val av accelerometer och så kommer det upp de standarder och direktiv vilka bör följas m.m. Vid slutet av teoridelen framkommer det också fram hur en testrapport för vibrationsmätningar görs vid testlabben och vad som skall tas i beaktan där.

3.1 Grunderna i vibrationsmätning

Vibration är en tidsbaserad förflyttning av ett objekt runt en centrerad statisk position. Vibrationsmätning är komplex på grund av alla komponenter som ska tas i beaktan såsom, förflyttning, hastighet, acceleration och frekvenser. Dessa komponenter kan även mätas med olika metoder – topp till topp, toppvärde, medeltalsvärde, RMS, som står för root – mean - square. Vibrationsmätning används ibland som en indirekt mätning av ett annat värde. Den slutliga mätningens mål avgör tillvägagångssättet till vibrationsmätningen. Två tillvägagångssätt för vibrationsmätning är kontinuerlig- eller impulsivmätning. Kontinuerliga vibrationstest utförs för tillståndsovervakning av maskinen och drifttestning. Detta mäter direkt vad som händer med maskinen under verkliga driftförhållanden. Impulsmätning handlar om att vad som händer med objektet när det utsätts för ett plötsligt slag eller fall till marken. Vibrationsmätningar bör göras för att ta reda på om vibrationer kan skada eller förstöra en maskin eller dess komponenter. Det finns två tillfällen när vibrationstester ska utföras, när en produkt utvecklas och ska ut i marknaden eller när vibrationsproblem uppstår. (LION Precision, 2013).

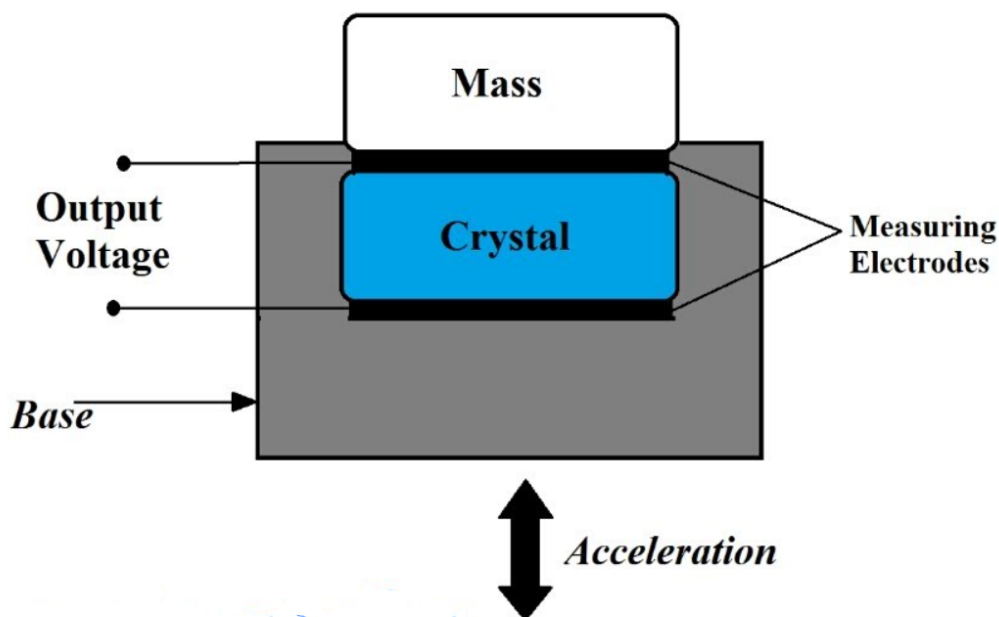
3.2 Piezoelektriska accelerometergivare

Piezoelektriskt material betyder att elektriska laddningar uppstår på dess yta, om materialet utsätts för ett yttre mekaniskt tryck. Omvänt kommer ett piezoelektriskt material att deformera sig själv om det placeras i ett elektriskt fält. (Stepinski, 2003).

Det finns många former av accelerometrar men den mest populära av dem är piezoelektriska accelerometrarna. En piezoelektrisk accelerometer utnyttjar den piezoelektriska effekten av diverse material för att mäta dynamiska ändringar i mekaniska variabler, såsom en mekanisk stöt, vibrationer och acceleration. Lika som andra givare så konverterar piezoelektriska givare en form av energi till en annan och förser en elektrisk signal i svar till tillståndet. Det finns två typer av piezoelektriska accelerometrar: hög- och lågimpedans. Högimpedans

accelerometrar har en laddningsutgång som är konverterad till spänning genom en laddningsförstärkare eller en extern impedansomvandlare. Lågimpedansenheter använder samma piezoelektriska avkännings-element som högimpedans enheter och integrerar en miniatyriserad inbyggd laddning till spänningskonverter och en extern strömförsörjningskoppling för att ge energi elektroniken och frikoppla den påföljande påverkan av DC-spänningen från utgångssignalen. En piezoelektrisk accelerometer består av en massa fäst till en piezoelektrisk kristall som är monterad på ett hölje. När accelerometern utsätts för vibration så förblir kristallens massa ostörd på grund av tröghet. Resultatet av detta är att massan komprimeras och sträcker ut den piezoelektriska kristallen.

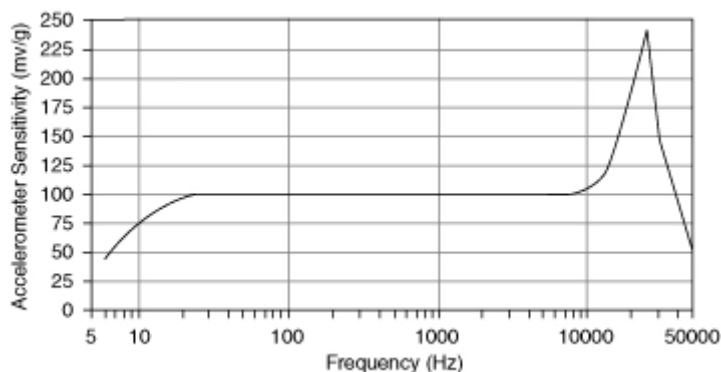
Denna kraft är proportionell till acceleration i enlighet med Newtons andra lag, $F = ma$ och genererar en laddning. (Applications and the Working Principle of Piezoelectric Accelerometers, 2015).



Figur 2. Funktionsprincip av en accelerometer.

Vid val av en accelerometer för vibrationsmätningar är det viktigt att ta i beaktan hur känslig accelerometern är och vad den har för frekvensvidd. Frekvensvidden för hand-arm vibrationstester bör ha ett minimum på 1 kHz. Känsligheten anges i mV/G, där G är

gravitationskraften $9,81 \text{ m/s}^2$ och mV står för millivolt, och desto högre dess känslighet är desto mer exakt blir mätningen. Mätområdet kan variera från $\pm 1\text{g}$ till $\pm 250\text{g}$ exempelvis, detta betyder att desto lägre tal så desto mer precis är mätningarna. Vid vibrationsmätningar för hand-armvibrationer rekommenderas en accelerometer med en känslighet på 10 mV/g . (National Instruments, 2022).



Figur 3. (National Instruments, 2022).

I figur 3 kan man avläsa enkelt hur man skall gå till väga vid val av accelerometer. I princip när du vill mäta högamplituds signaler så använder man sig av en lågsensitivitets accelerometer och en högsensitivitets accelerometer vid mätning av låga signaler.

3.3 Gage R&R

Gage R&R går ut på att mäta variabilitet i mätningar orsakande av mätsystemet själv. Denna variabilitet är sedan jämförd till den totala variabiliteten observerad för att avgöra variabiliteten av mätsystemet. Gage R&R är involverade i PPAP, Six Sigma och andra industristandarder. Gage R&R är kritiskt när nya verktyg används, nya delar tillverkas, nya operatörer anställs eller när en signifikant processändring görs. Utan Gage R&R är det mycket svårare att lita på mätningarna som produceras och mätningar är viktiga för att möta kvalitetskraven. Det finns tre huvudtyper av beräkningsmetoder:

- Average & Range metoden.
- ANOVA.
- EMP (Evaluating the Measurement Process).

Olika faktorer som kan påverka variationer av mätningarna kan vara mätinstrumenten själva eller deras monteringsblock, stöd av utrustningen, operatörens förmåga att följa instruktioner och användning av utrustningen, test metoderna vilket menas med att hur enheterna är inställda/ansvänds och hur data är inspelad, specifikation vilket betyder hur mätningarna är rapporterade mot en specifikation eller ett referensvärde, delarna själva som baseras på att upplägget med vissa delar kan vara enklare att mäta än andra, t.ex. stål mot gummi eller fast form mot vätska.

Om endera av detta leder till en hög variation av mätningar så är det sannolikt att någonting med mätningssystemet är fel.

3.4 HALT-tester

HALT-tester står för (Highly Accelerated Life Test) och är ofta använda för produktutveckling. Under en HALT-process så är en produkt ett ämne till ökade stressnivåer specificerade relaterat till driften av en viss produkt. Målet av ett HALT-test är att:

- Bestämma flera fellägen och grundorsaker.
- Bestämma funktionella driftsgränser.
- Bestämma funktionella förstöringsgränser.
- Med fokus på termiska och vibrationspåfrestningar.

HALT blev utvecklat specifikt för elektronik men kan bli applicerad till vilken produkt som helst med den rätta utrustningen.



Figur 4. Perspektiv över en HALT-procedur. (intertek, 2020).

Som figur 4 visar så med hjälp av ett HALT-test så tar man fram en driftsmarginal, högsta och lägsta driftsmarginaler samt en gräns där maskinen börjar röra sig till kritiska nivåer där komponenter kan ta skada eller så kan det också vara menat att maskinen inte skall fungera vid dessa nivåer av stress. (intertek, 2020).

3.5 Hand-armvibrationer

Maskineri måste vara designat och konstruerad i en sådan väg så att risker resulterande från vibrationer producerade av maskinen är reducerat till den lägsta nivån. Nivån av vibrationsutsläpp kan bedömas med referenser till jämförande utsläppsdata av liknande maskineri.

Exponering av vibrationer överförda genom foten eller till hela kroppen kan orsaka eller förvärra muskuloskeletala störningar såsom ryggsmärta och skada till ryggraden. Hand och arm exponering av vibrationer kan orsaka skada till blodkärlen i fingrarna och händerna (s.k. Vitfinger sjukdom) och skada till nervsystemet, senor, muskler, ben och arm-handlederna.

Tillverkarens tillvägagångssätt för att förhindra risker orsakad av vibrationsutsläpp måste ta hänsyn till dessa principer:

- Den första prioriteringen måste ges till design och konstruktion för att reducera generationen av vibrationerna från källan, till exempel genom att säkerställa att resonansfrekvenserna av maskindelarna inte är nära till vibrationsexcitering. Genom att välja material för konstruktion av maskinen som har höga dämpningsegenskaper genom att inkludera extra massa eller av att balansera roterande maskindelar.
- Den andra prioriteringen måste bli given till integrerade skyddade åtgärder genom isolerande metoder kan tas för att förhindra transmissionen av vibrationer till hela maskinen eller till arm- och handsystemet. Isolering metoder inkluderar montering av metall eller elastomeriska fjädrar, montering av fjädrar, flytande- eller gasspjäll eller en kombination av fjädrar och spjäll.
- Den tredje prioriteringen är att det måste ges ut information till användaren om den kvarvarande vibrationsutsläppen så att användaren kan ta dom nödvändiga skyddande åtgärder såsom t.ex. åtgärder relaterade till installationen av maskineriet

eller till att ge en lämplig utbildning till användaren. (European Commission EEA, 2006).

För en produkt som skall användas i en arbetsdag (8 h) så bör accelerationsvärdet ej överskrida 2,5 m/s². Om accelerationen överskrider 2,5 m/s² bör det anges i instruktionerna till maskinen och när det inte överskrider 2,5 m/s² så skall detta bli nämnt, även osäkerheten av mätningen skall anges i rapporten. (European Commission EEA, 2006).

3.5.1 Mätningens procedur och giltighet

Enligt produktstandard ISO 2897-3 så ska värden för mätningen göras enligt följande formel.

Variationskoefficienten C_V och standardavvikelsen s_{n-1} , skall bli uträknad för varje en av operatörernas handposition. C_V av en testserie definieras som förhållandet mellan s_{n-1} till medeltalet som matematiskt kan beskrivas:

$$C_V = \frac{s_{n-1}}{\bar{\alpha}_{hv}} \quad (1)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\alpha_{hvi} - \bar{\alpha}_{hv})^2} \quad (2)$$

$$\alpha_{hvi} = \sqrt{\alpha_{hvx}^2 + \alpha_{hvy}^2 + \alpha_{hvw}^2} \quad (3)$$

α_{hvi} är en kombinerad mätning av alla 3 axlar (x, y och z) i serien som anges i m/s². (Se ekvation 3).

$\bar{\alpha}_{hv}$ är medelvärdet av mätningarna i serien som anges i m/s².

n skall vara 5, vilket är antalet mätta värden.

Om variationskoefficienten C_V är större än 0,15 eller om standardavvikelsen s_{n-1} är högre en 0,3 m/s² skall då mätningarna kollas upp efter felaktigheter före data kan accepteras. (Suomen Standardisoimisliitto sfs, 2010).

3.5.2 Frekvensviktning

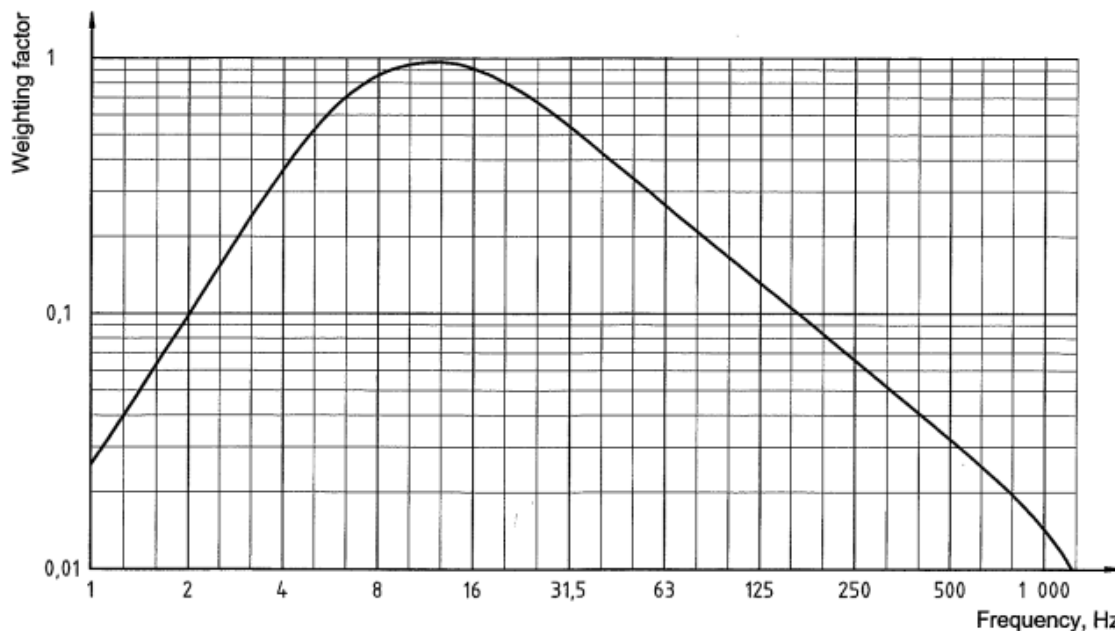
För att kunna mäta α_{hw} värden krävs tillämpningen av frekvensviktning och bandbegränsade filter. α_{hw} är effektivvärdet av enkelaxelns accelerationsvärde av den frekvens-viktade handöverförda vibrationen, det anges i m/s².

Frekvensviktningen W_h återspeglar den antagna betydelsen av olika frekvenser som kan orsaka skada till handen. Tillämpningsområdet av dem mätta värdena till förutsägelse till skada är begränsade till arbetsfrekvensområdet täckt av oktavbanden från 8 Hz till 1000 Hz, det vill säga en nominell frekvensbredd från 5,6 Hz till 1400 Hz. Bandbegränsade hög-pass och låg-passfilter begränsar effekten på det mätta värdet av vibrationsfrekvenserna utanför detta område där frekvensberoendet är icke ännu fastställt.

Frekvensviktningen och bandbegränsnings filter kan förverkligas av analoga eller digitala metoder. De definieras i Tabell 1 i en matematisk form och kurvan visas i Figur 5 på ett schematiskt sätt. (Swedish Standards Institute, 2001).

Tabell 1. Egenskaper för bandbegränsande och viktningfilter för frekvensviktningen. (Swedish Standards Institute, 2001).

Band limiting ^a			Frequency weighting ^a			
f_1	f_2	Q_1	f_3	f_4	Q_2	K
6,310	1258,9	0,71	15,915	15,915	0,64	1
<p>The band-limiting filter is defined by the transfer function of the filter, $H_b(s)$:</p> $H_b(s) = \frac{s^2 4\pi^2 f_2^2}{(s^2 + 2\pi f_1 s / Q_1 + 4\pi^2 f_1^2) (s^2 + 2\pi f_2 s / Q_1 + 4\pi^2 f_2^2)}$ <p>where $s = j2\pi f$ is the variable of the Laplace transform.</p> <p>The band-limiting filter can be realized by a two-pole filter.</p> <p>The frequency-weighting filter is defined by the transfer function of the filter, $H_w(s)$:</p> $H_w(s) = \frac{(s + 2\pi f_3) 2\pi K f_4^2}{(s^2 + 2\pi f_4 s / Q_2 + 4\pi^2 f_4^2) f_3}$ <p>where $s = j2\pi f$ is the variable of the Laplace transform.</p> <p>The frequency-weighting filter can be realized by a two-pole filter.</p> <p>The total frequency-weighting function is $H(s) = H_b(s) \cdot H_w(s)$.</p>						
<p>^a Values of f_n designate resonance frequencies ($n = 1$ to 4); Q_n designate selectivity ($n = 1$ or 2); K is a constant gain.</p>						



Figur 5. Frekvensviktnings svängning W_h för hand-överförda vibrationer, band-begränsning inkl. (Swedish Standards Institute, 2001).

3.5.3 ISO 8040-1

ISO 8040-1 är en internationell standard av instruktioner om hur man mäter exponering över tillfälliga mätningar, kort tids mätningar eller kontrollerade mätningar över mänsklig exponering av vibrationer. I denna standard tas det upp specifikt det så kallade PVEM-testet, personal vibration exposure meter som betyder mänsklig exponering till vibrationer över långa tidsperioder, såsom en arbetsdag.

Enligt denna standard så skall givaren som används vara kapabel till ett minimum att svara på accelerationer upp till 2000 m/s^2 . (ISO, 2021).

3.5.4 PVEM

PVEM är ett mätsystem vilket möter de relevanta kraven för ISO 8040-1 med den ytterligare kapaciteten att övervaka personlig exponering över en hel arbetsdag. Dessutom över de relevanta kraven av ISO 8041-1 skall en PVEM.

- Härleda vibrationsexponering genom att mäta vibrationsmagnituder och direkt relaterade exponeringstider.
- Mäta vibrationer i riktningarna x, y och z.

- Det skall förse kapacitet för mätning över perioden för en full jobbdag utan ingripande av användaren (åtminstone 12 h).
- Inkludera en realtidsklocka.
- Kontinuerlig loggning av vibrationsdata mot tid över den hela mättningsperioden vid lämpliga programmerbara intervaller vilka icke överskrider 1 sekund.
- Vibrationsexponerings data bör loggas och lagras med ett icke-flyktigt minne, dvs. att data inte blir äventyrat när t.ex. spänningen blir bortkopplad.

Referens vibrationssignalerna och referens frekvenserna ges nedan i tabell 1. Alla frekvensviktningar som ges i tabell 1 bör inte implementeras i en PVEM, och ytterligare frekvensviktningar kan även implementeras. Tillverkaren bör ange vilka frekvensviktningar som då implementeras. (ISO, 2021).

Application	Frequency weighting	Nominal frequency range Hz	Reference		Weighting factor at reference frequency	Weighted acceleration at reference frequency and RMS acceleration value m/s ²
			Frequency	RMS acceleration value m/s ²		
Hand-transmitted	W_h	8 to 1 000	500 rad/s (79,58 Hz)	10	0,202 0	2,020
Whole-body	W_b	0,5 to 80	100 rad/s (15,915 Hz)	1	0,812 6	0,812 6
	W_c				0,514 5	0,514 5
	W_d				0,126 1	0,126 1
	W_s				0,062 87	0,062 87
	W_l				1,019	1,019
	W_k	0,771 8			0,771 8	
	W_m	1 to 80			0,336 2	0,336 2
Low-frequency whole-body	W_f	0,1 to 0,5	2,5 rad/s (0,397 9 Hz)	0,1	0,388 8	0,038 88

Tabell 2. Referens till vibrations- och frekvensvärden. (ISO, 2021).

Kraven för toleransen visas i tabell 2. Toleransindikationen är specificerad vid dem lämpliga referensfrekvenserna och referensvibrationsvärden (specificeras i tabell 1) med instrumentet inställt till referensvärdets räckvidd med sinusformade mekaniska vibrationer applicerade till basen av vibrationsgivaren eller specificerad monteringsanordning. Kraven tillämpas till alla frekvensviktningar. (ISO, 2021).

Parameter	Tolerance
Tolerance of indication at the reference frequency under reference environmental conditions	±4 % for hand-transmitted and whole-body vibration
	±5 % for low-frequency whole-body vibration
The difference between the indicated value of any frequency-weighted measurement quantity and the indicated value of the corresponding band-limiting measurement multiplied by the appropriate weighting factor (for a steady sinusoidal input vibration signal at the reference frequency and reference vibration value)	±3 %

Tabell 3. Indikation av toleransen vid referensfrekvens- och vibrationsvärden. (ISO, 2021).

3.6 ISO 5349 – mätning och utvärdering av mänsklig exponering till handöverförda vibrationer

ISO5349 tar i beaktan över hur vardaglig exponering över hand-armvibrationer skall mätas och rapporteras av tillverkaren.

För att underlätta jämförelser mellan dagliga exponeringar vid olika varaktigheter så skall dagliga vibrationsexponeringar bli uttryckta i 8 timmars energilikvärdiga frekvensviktade totalvärden av vibrationen.(Se ekvation 4).

$$A(\mathbf{8}) = \alpha_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (4)$$

Där

T är den dagliga totala exponering av vibrationer α_{hv} .

T_0 är referens för tiden 8 h (28 800s).

Om arbetet är så att den totala exponeringen dagligen består av olika vibrationsnivåer så skall den dagliga vibrationsexponeringen (A_8) räknas enligt ekvation 5.

$$A(\mathbf{8}) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n \alpha_{hvi} T_i} \quad (5)$$

Där

a_{hvi} är det totala vibrationsvärdet av i värdet.

n är numret av dem individuella vibrationsexponeringarna.

T_i är tiden av i värdet.

När en utvärdering av hand-armvibrationer utförs i enlighet med ISO 5349 så skall följande information rapporteras:

- Ämnet för exponeringsbedömningen.
- Operationen som orsakar exponering av vibrationer.
- Insatta verktyg, elverktyg involverade.
- Positionering och inriktning av givare.
- Individuella RMS, enkel axel frekvens-viktade accelerationer mätta.
- Det totala värdet av vibrationer för varje test.
- Hur lång tid det tar för varje test.
- Den dagliga vibrationsexponeringen.

(Swedish Standards Institute, 2001).

3.7 LabVIEW

Först lanserat 1986, LabVIEW, förkortning av Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, är utvecklad av National Instruments (NI) och använder sig av ett grafiskt programmeringsspråk. Inom LabVIEW finns det olika element och koncept som är nyckeln till programmets funktion:

- *LabVIEW environment:*

Detta är utgångspunkten för alla applikationer. Här finns alla kodmoduler, bibliotek och datafiler.

- *LabVIEW Vis:*

Vis är individuella kodmoduler vilket gör en komplett applikation.

- *LabVIEW - g programming:*

Detta är programmeringsspråket vilket de funktionella algoritmerna byggs upp med hjälp av att dra & släpp teknik med programmeringsblock.

- *Labview dataflow:*

Detta är kärnkonceptet som avgör körordningen på programmet.

Med hjälp av dessa verktyg kan man enkelt och snabbt lära sig programmera och skapa automatiserade program för testning av komponenter, validering av produktdesign, kontrollering och/eller övervakning av processer eller tillståndsovervakning av maskiner och industriell utrustning. (National Instruments, 2022).

3.7.1 LabVIEW Sound and Vibration Toolkit

En av många olika VI:s LabVIEW erbjuder är ”Sound and Vibration Toolkit”. Detta paket erbjuder funktioner för ljud test, akustisk mätning och vibrationsmättnings applikationer. Detta verktyg innehåller också uppdaterade analyslösningar vilka följer utvecklande IEC standarder och man kan även bland annat applicera viktningsfilter på mätta signaler.

Programmet kan köpas i två olika former, basversionen och full versionen. Den fulla versionen rekommenderas eftersom man får mycket mera verktyg att använda sig av till vibrationsmätningen och ljudmätning. Basversionen kostar 1 120,00 € medan den fulla versionen är 1 970,00 €. (National Instruments, 2022).

3.8 Testrapporter

För vibrationstestning av olika produkter så är det obligatoriskt att göra en rapport på testet. Detta kapitel handlar om hur man tar sig till väga för ett vibrationstest och om hur rapporterna är uppbyggda enligt figur nedan. (6)



Contents

1	General
2	Scope
3	Time requirements
4	Needed samples
5	Needed equipment
6	Test instructions – step by step
6.1	Preparation – Test environment
6.2	Preparation – Measuring equipment
6.3	Preparation – Fastening sensor
6.4	Execution
6.5	Execution - repetitions
7	Reporting
8	Instructions for InnoBeamer L2

Figur 6. Innehållsförteckning. (Mirka Ltd, 2013).

Under “Scope” beskrivs det att detta test baseras på hur man mäter vibrationsvärden för elektriska slipmaskiner försedda med en platta vilket utför en orbital oscillerande rörelse parallellt med arbetsytan. Dessa instruktioner är baserade på följande standarder:

- EN 60745-1:2009+A11:2010.
- EN 60745-2-4:2009.

Ett test uppskattas vara genomfört efter 5 timmars arbete som utförs av 3 olika personer vilket inkluderar förberedelser, själva testet och rapportskrivningen. Rapporten skall alltid vara färdig 1 dygn efter att testet har påbörjats. (Mirka Ltd, 2013).

3.8.1 Förberedelse inför test

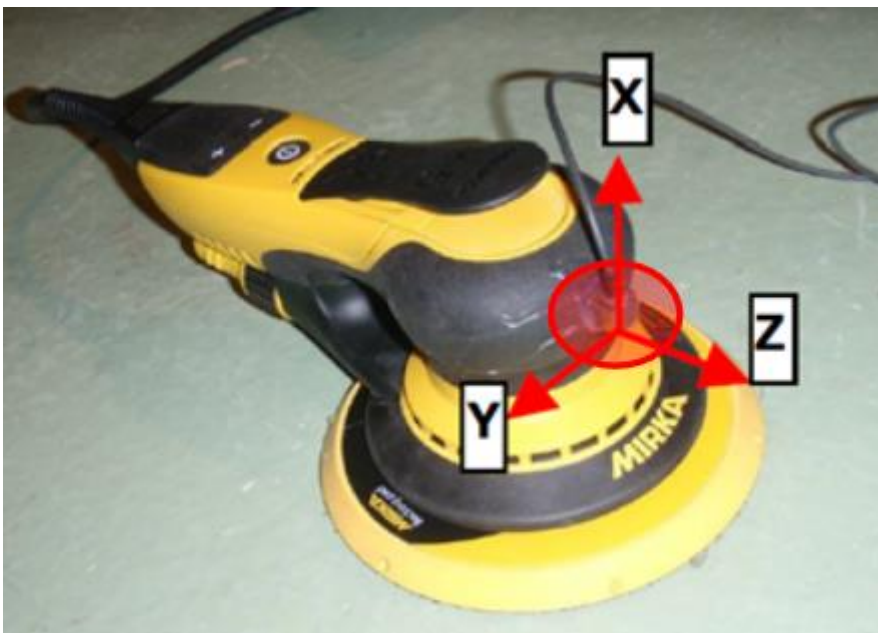
Utrustning som behövs vid förberedelser inför test är:

- Hand-armvibrationsmätning vilket fullföljer kraven för standarden ISO 5349-1.
- Person skala för att mäta matningskraften.
- En stålplatta med måtten 400x400x20 mm.
- Lim eller en metallrem för fästning av sensor.

Metallplattan monteras på en robust arbetsyta och för mätutrustningen skall det förberedas en skala som kan användas för att övervaka matningsstyrkan. (Mirka Ltd, 2013).

3.8.2 Fästning av sensor

Sensorn skall placeras på framdelen av slipmaskinen så nära som det går av toppen till maskinen, men den skall inte störa med greppet och handplaceringen av maskinen. (Figur 7). (Mirka Ltd, 2013).



Figur 7. Montering av sensor. (Mirka Ltd, 2013).

3.8.3 Utförande av test

Testet startas från VibroMatrix och slipmaskinen skall hållas på samma position under hela testet. Testet utförs 5 gånger skilt av 3 personer, vilket resulterar i sammanlagt 15 tester.

Resultaten av testen sammanställs sedan i en rapport. Från rapporten ska alla avvikelser från dem nämnda standarderna anges. Alla standarder som tas i beaktande klargörs i rapporten. (Mirka Ltd, 2013).

3.8.4 Exempel på testrapport

Detta är en rapport som är tagen ur Mirkas intra där ett vibrationstest utförs på en DEOS 343 maskin.

1 Executive summary

Person 1 average: 2,32m/s²

Person 2 average: 2,37m/s²

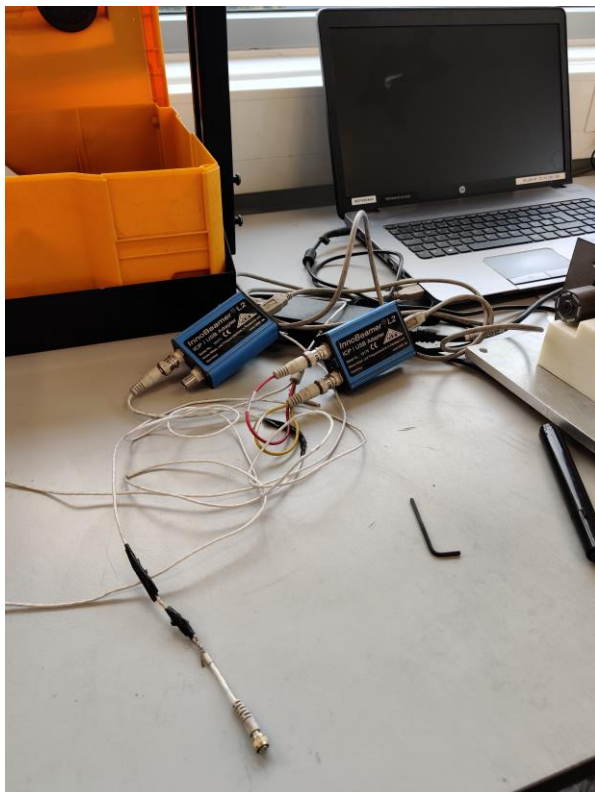
Person 3 average: 2,67m/s²

Figur 8. Testresultat.

Det första som framställs i rapporten är resultaten av vibrationsmätningen som utfördes av 3 personer som sammanställde medeltalet av deras test. Testproceduren kördes i 15 sekunder med en 3 kg tyngd samt maskinens tyngd. Annat som framkommer i rapporten är dess syfte och all utrustning som används. Men det viktigaste som kommer fram är just vibrationsresultaten som står under ”Executive summary”. (Mirka Ltd, 2013).

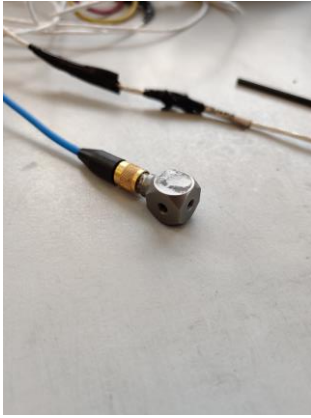
4 Nuvarande mätsystem

Mjukvaran som använd för dessa tester är Vibromatrix. Vibromatrix är ett PC-baserad vibrationsmätningssystem som består av harmoniserade hård- och mjukvarumoduler. Detta mätsystem är en kompletterande lösning för en bärbar dator eller PC och är därför mycket kostnadseffektiv.



Figur 9. Nuvarande utrustning för vibrationsmätning.

Den tri axiella accelerometern är direkt kopplad till förstärkningsmodulerna via BNC-kablar som slutligen kopplas till Pc:n via USB-port för att kunna avläsa resultaten. Det är viktigt här att notera vilka ingångar x, y och z har kopplats respektive, därför har kablarna tejpats så det blir enklare när informationen skall skrivas i mjukvaran. Vid laboratoriet i Mirka använder man sig av en tri axiell accelerometer av modell Kistler 8763B050BB. Denna accelerometer har känsligheten 100 mV/G, och för förstärkaren som används så är det en InnoBeamer L2 som syns på figur 9.



Figur 10. Accelerometer av modell Kistler 8763B050BB.

Här nedan är resultaten av en DEROS 650 slipmaskin som testats för utbildningssyfte i ca 30sek. (Se figur 11). Vanligtvis kan man förvänta sig under ett test vid 1 minut av samma maskin ett värde runt 2 m/s^2 . (Mirka Ltd, 2013).



Figur 11. Mätresultat. (Mirka Ltd, 2013).

5 Utförande

Här under kommer det att tas i beaktan olika metoder för lösning av problemet samt jämföra olika metoder för att hitta en lösning som passar. Metoderna kommer motiveras och så beskrivs ibruktagandet av vald produkt.

5.1 Utvärdering av hård- och mjukvara

Vibrationstester som görs på diverse slipmaskiner så skall accelerometern vara kapabel till att mäta alla 3 axlar samtidigt. Vid val av sensor bör det då tänkas på vilket frekvensområde sensorn är kapabel till vilket enligt krav skall ligga mellan 1 – 1000 Hz. Data bör loggas enkelt så man kan skriva rapporter av testerna som görs.

Först och främst vill man rikta sig till på en LabVIEW-lösning, men här nedan kommer diverse alternativ presenteras för lösning av detta problem eller eventuellt en annan lösning.

5.2 Alternativ 1 – LabVIEW med befintlig utrustning

Uppgradering till en LabVIEW-miljö prioriteras här eftersom Power Tools - enheten har börjat ta i bruk LabVIEW för dataloggning. Licensen Mirka har nu gör så att ett program kan skapas på en dator där licensen finns och man kan då sedan föra över programmet till datorn som utför test för att köra programmet.

Paketet som krävs för att göra mätningar via LabVIEW här innehåller chassi, modul, sensor och mjukvara (kablar inte medräknade). Chassit som väljs är en av modell NI cDAQ-9189 och tillhörande modul som väljs är av modell NI-9234.



Figur 12. NI cDAQ-9189 (National Instruments, 2022).



Figur 13. Modul vid namn NI-9234 (National Instruments, 2022).

Känsligheten vid val av accelerometer är en av de viktigaste parametrarna man bör tänka på. Känsligheten anges i mV/G och en typisk accelerometer har en känslighet på $100 mV/G$ vilket betyder att om du har en mätning på en $10 G$:s signal så kan du förvänta dig en signal på $1000 mV$. Accelerometern skall även vara tri axiell och en riktlinje med viktförhållandet när man tänker på valet av accelerometern är att vikten inte skall överskrida 10% av testmaskinens vikt. (National Instruments, 2022).

Fördelen här är att det redan finns en cDAQ-9189 samt en accelerometer av modell Kistler 8763B050BB. Denna accelerometer har ett mätområde på $\pm 50 g$ och en känslighet på $100 mV/G$ vilket är goda egenskaper för vibrationsmätning. Det enda som behöver köpas in här är då modulen för vibrationsmätningar.

LabVIEW finns det redan licens på så det enda som behöver göras där är att koda ett program som sen kan flyttas från dator till dator via en USB för att utföra tester runtom fabriken. Om det ännu önskas så kan man använda sig av en cDAQ-9171 för att få utrustningen ännu mindre och ännu smidigare att flytta runt. LabVIEW räcker bra till för att få detta att funka men om man vill göra det enklare för sig så finns det ännu alternativpaketet till LabVIEW den så kallade "Sound and Vibration Toolkit" tillägget.



Figur 14. cDAQ-9171. (National Instruments, 2022).

Detta paket skulle kosta 2 930,00 € eller eventuellt 3 360,00 € om man bestämmer sig för att beställa in den mindre DAQ modellen. Med tilläggs paketet till LabVIEW skulle priset stiga ytterligare till 4 480,00 € eller 5 480,00 € beroende på om man tar basversionen eller den fulla versionen av tillägget.

5.2.1 Accelerometerjämförelse

Under denna rubrik kommer det att jämföras en ny accelerometer mot den befintliga accelerometers specifikationer och data. Detta jämförs endast för att om man vill ha en känsligare accelerometer skulle det löna sig att köpa in en ny. Det som jämför sig mest här mellan accelerometrarna är frekvensområdet, men ett frekvensområde mellan 0 – 5 kHz räcker bra till.

Tabell 4. Accelerometerjämförelse

Specifikation	Kistler 8763B050BB	PCB 356A15	PCB 356A02
Mätområde	±50 g	±50 g	±500 g
Känslighet	100 mV/g	100 mV/g	10 mV/g
Frekvensområde	0 Hz – 10 kHz	2 Hz – 5 kHz	1 Hz – 5 kHz
Pris	0 €	1 790,00 €	1 620,00 €

5.2.2 Förstärkare/modul jämförelse

Här jämförs nuvarande förstärkare som används för vibrationstester mot en modul som behövs köpas in för LabVIEW alternativet.

Tabell 5. Förstärkare/modul jämförelse.

Specifikation	InnoBeamer L2	NI - 9234
Antal ingångskanaler	2	4
Kanalanslutning	BNC	BNC
Upplösning	16 bit	24 bit
A/D omvandling	10 kHz/kanal	51,2 kHz/kanal

5.3 Alternativ 2 – MMF Human Vibration Analyser VM31

Om man skulle vilja ha ett handhållet system så är VM31 en handhållen vibrationsmätare utvecklad av MMF, vilket gör det enkelt att mäta handhållna vibrationsvärden samt som helkroppsvibrationer och maskinvibrationer. För hand-armvibrationer uppfyller den kraven för ISO5349 och för frekvensviktningfiltren uppfyller den kraven av ISO8040. Ingångarna för sensorerna är 4 låg effekt IEPE utgångar försedda med TEDS för sensorer med 8 till 1200 mV/g. Den är driven av 3 alkaline batterier storlek AAA, alternativt kan man använda sig av

laddningsbara NiMH-batterier, precisa mätningar är lovade tills batterierna börjar bli urladdade och det utlovas en drifttid mellan 10 – 14 timmar.



Figur 15. VM31. (MMF, 2022).

För dataloggning får man det rakt på displayen men den är också kompatibel att importera data via Excel, vilket gör dataloggningsprocessen smidig och enkel. För val av sensor till denna mätare rekommenderar tillverkaren en KS903B10 men man skulle även kunna använda sig av sensorn som finns på befintlig mätutrustning. (MMF, 2022).

Fördelarna för just denna produkt är följande:

- Handhållen och enkel att flytta runt.
- Färdigt inprogrammerade standarder såsom ISO5349 och ISO8041 vilka är eventuella för hand-armsvibrationsmätningar.
- Enkel dataöverföring mellan VM31 och Excel samt beräkning över daglig exponering (A8).
- Internt minne för 10 000 mätningar, 1000 FFT mätningar, var och en med datum, tid och kommentar av mätningen.

Sel. No.	Date	Time	Comment	Mode	Detection	Filter (weighting factors)	Weighting	Measurements	Combined measurement	Unit				
								X	Y	Z	A	B	C	
00001	07.09.14	10:09:36	STAPLER HALLE SCHMIDT	W/B	IRMS	Wd (1.40) Wd (1.40) Wk (1.00)	health	0.01	0.28	1.25	1.28	1.32		m/s ²
00002	07.09.14	12:19:51	STAPLER HOF SCHMIDT	W/B	IRMS	Wd (1.40) Wd (1.40) Wk (1.00)	health	0.24	0.39	3.18	3.18	4.78		m/s ²
00003	07.09.14	12:30:01	STAPLER HALLE MEIER	W/B	IRMS	Wd (1.00) Wd (1.00) Wk (1.00)	health	0.50	0.93	1.70	1.71	2.01		m/s ²
00004	07.09.14	13:10:11	STAPLER HOF MEIER	W/B	IRMS	Wd (1.00) Wd (1.00) Wk (1.00)	health	0.54	1.06	2.81	2.93	3.96		m/s ²

Figur 16. Excel import av resultat. (MMF, 2022).

5.4 Prisjämförelse

Här nedan kommer priserna för varje alternativ presenteras samt lite olika paket man kan välja i alternativ 1.

Tabell 6. Prisjämförelse alternativ 1.

Alternativ 1 varianter	Pris
Paket a (NI-9234)	2 660,00 €
Paket b (med cDAQ-9171)	3 090,00 €
Paket c (cDAQ-9171 & LabVIEW Sound and vibration toolkit)	5 480,00 €
Uppgradering av accelerometer	+ 1 620,00 €

Av dessa val skulle det vara mest förmånligt att använda sig av paket 1, men eftersom man skulle få det ännu smidigare att flytta runt testramverket så skulle det rekommenderas med paket b eftersom detta chassi kan ha en modul inkopplad i gången vilket gör den mindre och smidigare att använda sig av jämfört med chassin som redan finns till förfogande. Paket c är egentligen bara för om man vill göra programmeringen enklare, men med basversionen av LabVIEW kan man fortfarande få samma funktionalitet av programmet man önskar programmera.

Ännu att tänka på i alternativ 1 är om man vill uppgradera sensorn som man använder. Här kan man ta i beaktan om man vill ha en känsligare accelerometer än den som redan finns,

och då skulle valet vara en PCB 356A02 accelerometer. Om man vill införskaffa en sådan så skulle priset stiga ytterligare med 1 620,00 € för varje paket som beskrivits.

Alternativ 2 är den bärbara lösningen vilket MMF erbjuder. Här kommer själva mätaren enskilt från sensorer och tillhörande kablage, om man vill beställa tilläggs paket kommer priserna presenteras nedan.

Tabell 7. Prisjämförelse alternativ 2.

Alternativ 2 varianter	Pris
MMF VM31 mätare (endast mätare)	1950, 50 €
MMF VM31 mätare inkl. kablage och sensor	3484, 90 €

5.5 Val av metod

Under ett möte presenterade jag båda alternativen åt mina förmän och det diskuterades mellan oss. Men eftersom PowerTools- enheten får nya utrym inom framtiden så väljs det att beställa in endast NI-9234 modulen. Den bärbara enheten skulle ha mer nytta i mindre utrymmen och om det skulle finnas behov av att testa maskiner på olika platser. Ett testramverk kommer byggas för denna modul samt med andra moduler för diverse mätningar. Mjukvaran som kommer användas programmeras i LabVIEW.

6 Resultat

Resultatet av detta är att enligt alla standarder och krav som krävs för hand-armvibrationstester så passar sig NI -9234 modulen sig bäst för denna lösning och LabVIEW programmeringen funkar utmärkt med nämnda modul. LabVIEW är också användarvänligt och ett utmärkt verktyg för vibrationsmätningar som kan göra så att rapporter av tester genereras automatiskt vilket gör rapportskrivandet enklare. Programmeringen och införskaffningen av hårdvaran kommer skötas under sommaren.

Just varför man valde LabVIEW-metoden var för att man enkelt skall kunna installera programmet mellan olika datorer när det finns behov av vibrationstestning av en produkt. Några skilda accelerometrar beställs inte in eftersom den som finns på plats är utmärkt redan för hand-armvibrationstester. Det beställs heller inte cDAQ 9171 fast den skulle vara behändigare att flytta runt, men eftersom man i framtiden vill koppla flera moduler till cDAQ:en för olika mätningar av maskiner så lämnar man med dem som redan finns i laboratoriet och en annan orsak är att spara in pengar. Någon idriftsättning av detta system blev inte av under detta examensarbete, det var för att beställningstiden på komponenterna som krävdes hade en lång beställningstid vilket gjorde att tiden för detta arbete började ta slut.

7 Diskussion

Eftersom tiden inte räckte till för att börja bygga upp testramverket tyckte jag själv detta var lite trist för det skulle ha varit intressant att göra detta under examensarbetsprocessen. Enligt mina handledare och mig själv så är vi nöjda med beslutet att beställa in endast modulen och använda sig av accelerometern som redan finns på plats eftersom man sparar in mest pengar på detta alternativ. Jag själv samt mina förmän är nöjda med resultatet och forskningen inom området och efter detta blev jag erbjuden jobb där över sommaren då jag får fortsätta med projektet och vara med att bygga upp testramverket.

Om man tittar på projektet i helheten så blir lösningen mycket mer användarvänlig jämfört med den gamla mjuk- och hårdvaran. Detta är ju endast i teorin, men enligt vad som beställs in och planeras så blir det mycket enklare att utföra tester i framtiden.

Jag vill tacka Mirka för möjligheten att få göra mitt examensarbete vid Power Tools-avdelningen, samt vill jag tacka mina handledare som har hjälpt mig under vägen. Jag har lärt mig mycket om ett detta ämne och fått en bred syn på hur man skall implementera och planera nya tester i en laboratoriemiljö.

8 Källor

- Applications and the Working Principle of Piezoelectric Accelerometers*. (2015, Juni 10). Retrieved from Azo Sensors: <https://www.azosensors.com/>
- European Commission EEA. (2006). *Directive 2006/42/EC of the European parliament and of the council*. Retrieved from Eur-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006L0042-20190726&from=EN>
- intertek. (2020). *intertek Total quality. Assured*. Hämtat från intertek: <https://www.intertek.com/performance-testing/halt-and-hass/>
- ISO. (2021). *Human response to vibration - Measuring Vibration. Part 2: Personal Vibration Exposure Meters*. Geneve: International Organization for Standardization.
- KWH Group. (2020). <https://www.kwhgroup.com>. Hämtat från KWH Group: https://www.kwhgroup.com/sv/annual_report/arsberattelse-2020/mirka/
- LION Precision. (2013). *Vibration Measurement; Vibration Sensors; Measuring Vibration Precisely*. Oakdale, Minnesota, USA.
- Mirka Ltd. (2013). *Test code for Vibration measurements for electrical random orbital sanders*. Mirka.
- Mirka Ltd. (2022). *Mirka*. Hämtat från <https://www.mirka.com/sv/se/top/om-mirka/>: <https://www.mirka.com>
- MMF. (2009). *VibroMatrix Instruction Manual*. Hämtat från Metra Mess- und Frequenztechnik in Radebeul e.K.: https://www.mmf.de/manual/vibromatrix_mane.pdf
- MMF. (1 2022). *Human Vibration Analyzer*. Hämtat från Metra Mess- und Frequenztechnik in Radebeul e.K.: <https://www.mmf.de/pdf/8-1.pdf>
- National Instruments. (2022). *Engineer Ambitiously - NI*. Hämtat från NI: <https://www.ni.com/getting-started/labview-basics/>
- National Instruments. (2022). *Engineer Ambitiously - NI*. Hämtat från National Instruments: <https://www.ni.com/fi-fi.html>
- Stepinski, T. (2003). *Laborationsinstruktioner för ultraljudsensorer*. Uppsala: Uppsala Universitet.
- Suomen Standardisoimisliitto sfs. (2010). *Hand-held portable power tools. Test methods for evaluation of vibration emissions. Part 3: Polishers and rotary, orbital and random orbital sanders (ISO 28927-3:2009)*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Swedish Standards Institute. (2001). *Mechanical Vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General guidelines*. Stockholm: SIS.