

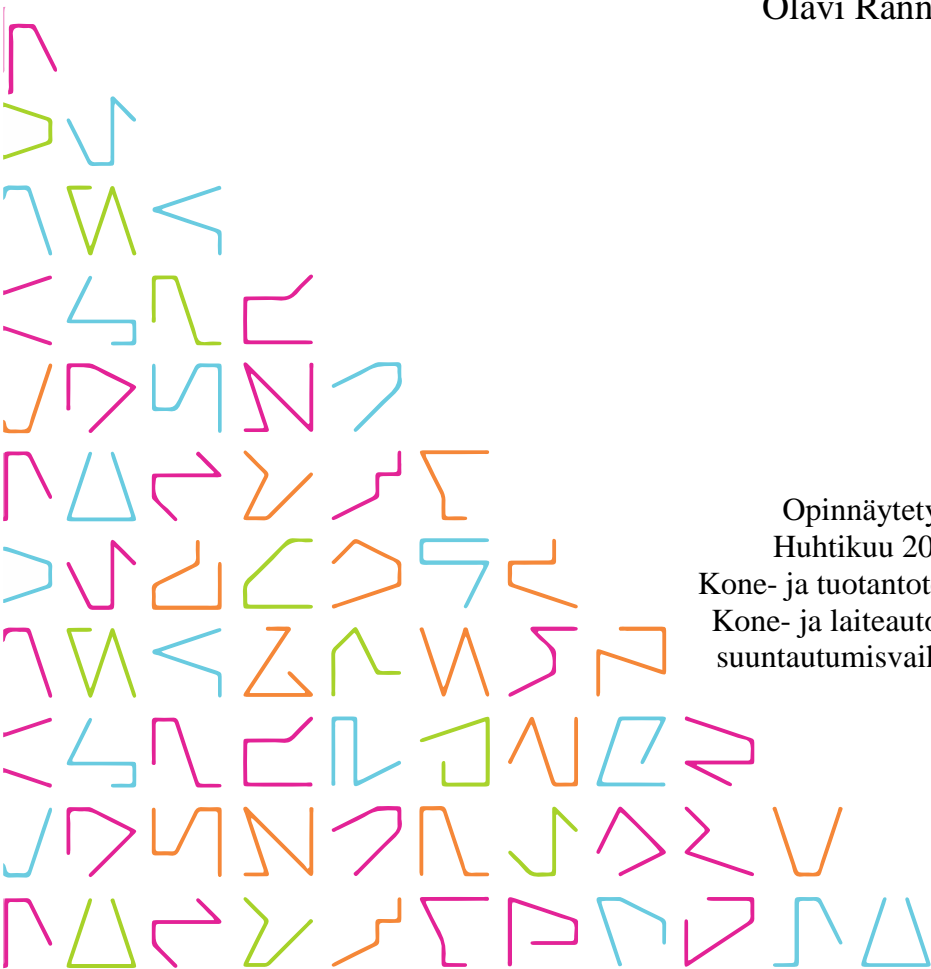


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

ELINTARVIKELEIKKURIN TOIMINNAN PARANNUS

Olavi Rannala

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio
suuntautumisvaihtoehto



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kone- ja laiteautomaatiosuuntautumisvaihtoehto

OLAVI RANNALA:
Elintarvikeleikkurin toiminnan parannus

Opinnäytetyö 50 sivua, josta liitteitä 6 sivua
Huhtikuu 2017

Opinnäytetyö tehtiin osana tuotekehitysprojektia keuruulaisen Vaissi Oy:n elintarviketuotteiden valmistuksessa käytetyn elintarvikeleikkurin toiminnan parantamiseksi. Ongelmaksi oli havaittu laitteiston kulumisesta aiheutuvat runsaat huoltoseisokit. Huoltoseisokkeja vähentämällä pyritään lisäämään leikkauslaitteiston käyttöastetta sekä alentamaan laitteen huoltokustannuksia.

Materiaalivalinnoilla elintarviketeollisuudessa on lopputuotteen turvallisuuden kannalta erittäin suuri merkitys. Materiaalin on kestävä korkea kosteus ja pesuaineiden emäksiset vaikutukset. Kaikkien käytettävien materiaalien tulee olla elintarviketeollisuuteen kelpaavia.

Lähtötilanteen tarkastelun jälkeen päädyttiin siihen tulokseen, että leikkurin johdelaakerit olivat alimitoitettut ja johdepintojen pintapaineet ylittivät monikertaisesti materiaalin salliman rajan.

Työssä perehdyttiin ruostumattomien elintarviketeollisuuteen soveltuvien teräksien ominaisuuksiin sekä niiden käyttäytymiseen eri termisissä käsittelyissä. Tutkimuksessa hyödynnettiin alan kirjallisuutta, terästoimittajien haastatteluja sekä konepajojen asiantuntijoiden haastatteluista saatuja kommentteja. Tehtyjen tutkimusten ja kokemukseen perustuvien havaintojen pohjalta laitteiston johdelevy päätettiin pintakäsitellä Kolsterising® -menetelmällä.

Korjaustoimenpiteissä onnistuttiin hyvin. Kriittisten osien kulumista ei ole havaittu korjaustoimenpiteiden jälkeen, eikä johdemekanismin säätötoiminnoista johtuvia tuotantokatkoksia ole tehtaalla esiintynyt. Myös työpisteen ergonomia parani ja laitteen toiminnasta syntyvä melutaso pieneni huomattavasti.

Työn kautta päädyttiin siihen lopputulokseen, että kolsterointi on erittäin kustannustehokas pintakäsittelymenetelmä austeniittisille ruostumattomille teräksille, vaikka se on teollisuudessa hyvin vähän tunnettu ja käytetty menetelmä.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Machine and Automation Option

OLAVI RANNALA:

Improvement of the food cutter operation

Bachelor's thesis 50 pages, appendices 6 pages
April 2017

This thesis was done as a part of R&D-project of Keuruu based company Vaissi Ltd. The aim of this thesis was to optimize usage of a cutter used in the food industry process. Malfunction of the cutter was causing a lot of production breaks. The aim of the project was to improve cutter utilization rate and lower maintenance costs by minimizing interruptions in production

Correct material choice has a significant influence on the product safety in food industry. Materials should withstand high moisture conditions and alkaline washing fluids. All materials should be suitable for food industry process. Initial studies show that the lead bearing of the cutter was undersized and the pressure of the lead surfaces exceeded the limit allowed multiple times.

In this thesis the theoretical part dealt with stainless steels feature and behavior of thermal treat, which is suitable for food industry processing. Research methods used was interviews of steel manufacturers and machinery specialist's comments. Based on the information found out during research decision was made that lead mechanism will be treated with Kolsterising – surface treatment.

Corrective action was found successful. There was no attrition of critical parts after the corrective actions. In addition to that, production interruptions caused by wear and tear of the cutter mechanism has not been encountered after corrective action. In addition the ergonomics of the workstation improved and noise level diminished significantly.

Key words: product development, stainless steel, kolsterising, s3p, surface hardening, hardnes

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	VAISSI OY YRITYSESITTELY	7
3	LÄHTÖTILANTEEN KARTOITUS.....	8
3.1	Olosuhteet ja sen määräävät kriteerit	8
3.2	Laitteen lähtötilanteen kartoitus.....	8
3.2.1	Laitteen tekemän tuotteen laatu	8
3.2.2	Ergonomia.....	9
3.2.3	Huoltoseisokit ja korjauskustannukset.....	9
3.3	Johdemekanismin rakenteellinen tarkastelu	9
3.3.1	Urakuulalaakerirullat.....	10
3.3.2	Urakuulalaakerien rasitukset.....	11
3.3.3	Johdelevy	13
3.3.4	Kaarilevyn rasitukset.....	14
4	YLEIS- JA TEORIATIE TOA AVUKSI RATKAISUN LÖYTÄMISEEN	15
4.1	Ruostumaton teräs.....	15
4.1.1	Austeniittiset ruostumattomat teräkset.....	17
4.1.2	Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset.....	19
4.1.3	Ferriittiset ruostumattomat teräkset.....	20
4.1.4	Martensiittiset ruostumattomat teräkset	21
4.2	Teräksien lämpökäsittely	23
4.2.1	Matala lämpötilan hiiletys (Kolsterointi®).....	24
4.2.2	Typetys (nitraus)	26
4.3	Materiaalin kovuus	27
4.3.1	Brinellin SFS-EN ISO 6506-1 kovuusmittaus	28
4.3.2	Rockwellin SFS-EN ISO 6508-1 kovuusmittaus.....	29
4.3.3	Vickersin SFS-EN ISO 6507-1 kovuusmittaus.....	30
4.3.4	Kovuusarvojen vertailusta.....	35
5	RATKAISUVAIHTOEHTOJEN HAKEMINEN.....	37
5.1	Johdelaakerien uudelleen mitoitus.....	37
5.2	Johdelevyn materiaalin valinta	37
6	TOTEUTUS	38
6.1	Mekaniikan suunnittelu.....	38
6.2	Rullalaakerien valinta	39
6.3	Johdelevyn uudelleen suunnittelu	40
7	TULOKSET JA POHDINTA	41
	LÄHTEET.....	42
	LIITTEET	44
	Liite 1. Johdelevyn piirustus, JVL1395_40 (luottamuksellinen)	45
	Liite 2. Johdelaakerien rasituslaskelmien ohje. /5/.....	46
	Liite 3. Nadella laskentaohje johdelaakerien nimelliskäyttöäälle. /5/.....	47
	Liite 4. Mathcad laskelma 1 (luottamuksellinen)	48
	Liite 5. Mathcad laskenta 2 (luottamuksellinen)	49
	Liite 6. Vaissi Oy:n huolto ja korjaus raportti (luottamuksellinen).....	50

LYHENTEET JA TERMIT

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
RST	ruostumatonteräs
F	voima [N]
mm	millimetri
A_s	paineilmasynterimännän pinta-ala [cm ²]
π	pii (vakio), 9 desimaalin likiarvo 3,141592653
E	kimmokerroin [MPa]
ν	nyy (Poissonin vakio)
p	paine [bar]
p_0	kosketusjännitys [MPa]
L	kosketuspinnan leveys [mm]
D	rullan/sulinterin halkaisija [mm]
kgf	kilogrammavoima
S ³ P	Bodycote blc käyttämän erikoisprosessin nimi
HV	Vickers kovuus
HB	Brinellin kovuus
HRA – G	Rockwell kovuus testit A - G

1 JOHDANTO

Työn tarkoitus oli selvittää tuotantolinjassa olevan koneen nopean kulumisen syyt ja löytää ratkaisu sen kestävyuden parantamiseksi.

Kone oli asennettu elintarvikkeen valmistuksen tuotantolinjaan. Toimintaympäristö asettaa erittäin haasteelliset olosuhteet.

Työn kartoituksen tuloksena merkittäväksi ratkaisuksi nousee austeniittisen ruostumattoman teräksen korroosiokestävä pintakäsittelymenetelmä Kolsterising®. Menetelmään tutustuminen ja sen käytöstä saadut kokemukset avasivat uudet mahdollisuudet tuotekehityksessä käyttää laajemmin ruostumattomia teräksiä.

2 VAISSI OY YRITYSESITTELY

Vaissi Oy on keskisuomalainen yritys joka toimii Keuruun kunnassa sijaitsevassa Riihon kylässä. /5/

Vaissi Oy on elintarvikealan perheyritys joka sai alkunsa 1940-luvun alussa Ilmari Vaissin aloittaessaan tilallansa kaalinviljelyn. Talvisodan jälkeen vihannekset tekivät kauppansa, joten siihen panostettiin ja rakennettiin kaalivarasto, josta kaalit myytiin talven aikana tuorekauppaan. Vuonna 1972 tuli koko Suomessa erittäin hyvä kaalisato jolloin hinta laski pohjalukemiin, tällöin päätettiin aloittaa kaalin jatkojalostaminen ei-nesteollisuuteen esikypsennetyiksi kaalinlehdiksi. Vaissin tilalla viljeltiin kaalia n. 20 hehtaarin alalla. Viljely kuitenkin lopetettiin vuonna 1987 ja siirryttiin täysin sopimusviljelyyn. Kaalia elintarviketeollisuuden ja Vaissin kaalikääryletehtaan tarpeisiin ostetaan tänä päivänä suomalaisilta sopimusviljelijöiltä. /5/

Vuonna 1972 alkanut esikeitetyn kaalin tuotanto laajeni vuonna 2001 kaalikääryletehtaan perustamiseen. Vuonna 2004 kääryleliiketoiminta eriytettiin kokonaan Vaissin tilasta. /5/

Päätuotteena on kaalikääryleiden valmistus ja valmistusmenetelmän kehitys. Kääryleitä valmistuu Vaissilla vuosittain lähes 12 miljoonaa kappaletta ja ne myydään elintarviketeollisuudelle. Sieltä ne löytävät tiensä kuluttajien ruokapöytiin. Kääryleet valmistetaan asiakkaiden omilla resepteillä ja merkeillä. /5/

Vaissin toimintapa ja ainutlaatuisuus on pantu merkille valtakunnallisesti. Vaissi Oy on saanut Keski-Suomen InnoSuomi palkinnon 2006, maakunnallisen yrittäjäpalkinnon 2007 ja Vaissi Oy valittiin vuoden maatilaksi vuonna 2009. /5/

3 LÄHTÖTILANTEEN KARTOITUS

3.1 Olosuhteet ja sen määräävät kriteerit

Elintarvikkeiden valmistuksessa on hygienia erittäin tärkeä. Koneet ja laitteet pestään erittäin voimakkailla pesuaineilla päivittäin. Pesuaineet ovat hyvin emäksisiä, jonka takia tuotantolaitteiden valmistuksessa materiaalien valintaan on kiinnitettävä erityistä huomiointia. Myös työskentely-ympäristö ja ergonomia ovat erittäin tärkeässä asemassa.

Työskenneltäessä laitosmaisessa ympäristössä ovat koneet ja laitteet tärkeä osa tuotantoa. Perinteisesti kaikki koneet synnyttävät melua mikä on epämiellyttävää ja haitallista tuotantotiloissa työskenteleville henkilöille.

Koneiden tuottama melun hallinta on yksi tärkeimmistä kriteereistä Vaissi Oy:llä tuotantokoneiden kehityksessä sekä hankittaessa uusia laitteita.

3.2 Laitteen lähtötilanteen kartoitus

Lähtötilanteen kartoituksessa merkittävimmit ongelmakohdiksi nousi selkeästi kolme pääkohtaa.

3.2.1 Laitteen tekemän tuotteen laatu

Laite leikkaa raaka-aineesta jatkojalostukseen menevän tuotteen aihiot. Jos mekaaninen kulumisen ylittää tietyn rajan, syntyy epäkuranttia tuotetta mikä joudutaan hylkäämään.

3.2.2 Ergonomia.

Laitteen välittömässä läheisyydessä työskentelee kymmenkunta ihmistä. Leikkauslaite toimii syklillisesti. Laitteen ollessa epäkunnossa aiheuttaa se epämiellyttävää melua. Melun taso on sitä suurempi, mitä kuluneempi on leikkurin siirtomekanismi.

3.2.3 Huoltoseisokit ja korjauskustannukset.

Leikkauslaitteen kulumisen aiheuttaa tuotantokatkoksia noin kolmen viikon välein. Korjaus- ja varaosakustannuksia on esitetty Vaissi Oy:n huoltoraporteissa. Näitä kustannuksia ei esitetä tämän opinnäytetyön yhteydessä.

3.3 Johdemekanismin rakenteellinen tarkastelu

Mekanismin tarkastelu aloitettiin tutkimalla laitteen fyysinen rakenne ja rakenteen sisäiset voimat. Leikkauslaite saa käyttövoiman paineilmasylintereistä.

Paineilmaa käytetään yleisesti elintarviketeollisuudessa voimalähteenä, koska se ei rikoituessaan aiheuta tuotteelle vaaratilannetta.

Työtä tekevä kone-elin on paineilmasylinteri, joka liikuttaa siirtomekanismia. Siirtomekanismiin kiinnitetyt leikkurit irrottavat raaka-aineesta tuoteaihiot. Tuoteaihiot siirretään prosessissa jatkokäsittelyyn.

Tuotteen leikkautuminen tapahtuu samalla kun tuote etenee tuotantolinjalla. Sivuttaista liikettä ohjaava johdelevy on valmistettu ruostumattomasta teräksestä (osapiirustus, liite 1) joka liikkuu urakuulalaakerien välissä. Leikkausvoima välittyy ohjauslaakerien ja johdelevyn kautta leikkausteriin.

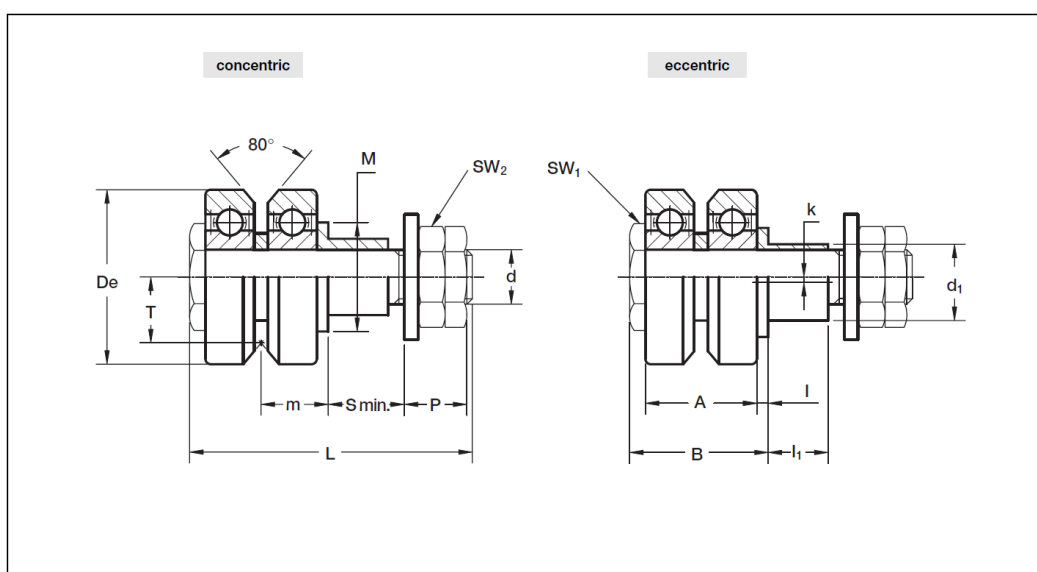
Merkittävää kulumista oli havaittavissa johdelevyn johdepinnoilla. Johdepintojen vauriot olivat suurin syy siirtomekanismin toimintahäiriöihin. Myös johdelaakerien rasitukset otettiin tarkasteluun, koska korroosioaurion lisäksi laakerit rikkoutuivat mekaanisesti. Siirtomekanismin rakenne, urakuulalaakerit ja niiden välissä oleva johdelevy on kuvattu kuvassa 1.



KUVA 1. Siirtomekanismi, urakuulalaakerit ja niiden välissä oleva johdelevy.

3.3.1 Urakuulalaakerirullat

Urarullat ovat standardi ostokomponentteja joita voi hankkia mekaniikan osia toimittavilta yrityksiltä. Laakerit toimivat liikkeen suuntimina ja voiman välittäjinä. Lähtötilanteessa oli käytössä TIMKEN FR/R 32 kokoluokan urakuulalaakerit (kuva 2).



KUVA 2. TIMKEN FR/R laakerirullat. /4/

Seuraavissa taulukoissa on esitetty alkuperäisten laakerien mitat sekä sallitut rasitusarvot (taulukko 1 ja taulukko 2).

TAULUKKO 1. TIMKEN FR/R laakerirullien mitat. /4/

Type		Dimensions (mm)															
concentric	eccentric	De	d ₁ ⁽¹⁾	d	T	m	S min.	P	L	A	B	I ₁	I	M	SW ₁	SW ₂	k
FR 22	FRR 22	22	9	M 6 x 1	8.0	9.2	9	7.7	39	13.9	19.5	8	2.2	14	10	10	0.5
FR 32	FRR 32	32	14	M 10 x 1.25	12.1	12.4	12	11.5	52	20.5	25.5	11	2.1	20	17	17	1
FR 40	FRR 40	40	16	M 12 x 1.5	14.6	15.5	12	13.5	60	25.0	31.0	11	3.0	22	22	19	1
FR 52	FRR 52	52	21	M 16 x 1.5	19.1	19.8	15	17	73	32.0	40.0	14	3.8	28	27	24	1,5

TAULUKKO 2. TIMKEN FR/R laakerirullien sallitut rasitukset. /4/

Type		Bearing rating (N)			Limit loads (N) shaft		Life coefficients		Torque wrench ⁽²⁾ settings (Nm)	Weight (g) ⁽³⁾
		Dynamic		Static						
		C _w ⁽⁴⁾	radial C _{or}	axial C _{oa}	radial F _r	axial F _a	X	Y		
FR 22	FRR 22	700	415	105	800	380	1	0.593	3	43
FR 32	FRR 32	1 480	830	210	2 770	1 240	1	0.593	20	132
FR 40	FRR 40	2 440	1 300	325	3 830	1 720	1	0.593	26	235
FR 52	FRR 52	4 130	2 120	530	7 100	3 150	1	0.593	64	490

3.3.2 Urakuulalaakerien rasitukset

Laakerirullat on asennettu pystyyn samansuuntaiseksi paineilmasylinterin kanssa. Rulliin vaikuttava voima on näin ollen aksiaalinen voima (C_{oa}) ja sen yksikkö on [N]. Taulukossa 2 on FR 32 laakerille ilmoitettu suurin sallittu aksiaalinen voima $C_{oa} = 210\text{N}$. Kokoonpanossa on rullia kaikkiaan neljä kappaletta joten suurin sallittu kokonaisvoima $F_{kok.a}$ saadaan laskettu yhtälöllä

$$F_{kok.a} = C_{oa} \cdot n \quad (1)$$

missä n = laakerien lukumäärä.

Tulokseksi saadaan $F_{kok.a} = 840\text{N}$.

Paineilmasyylinterin aiheuttama voima F_s voidaan laskea yhtälöllä

$$F_s = p \cdot A_s \quad (2)$$

missä p = paineilmaverkoston paine [bar]

A_s = paineilmasylinterimännän pinta-ala [cm^2]

Paineilmasyylinterin pinta-ala lasketaan yhtälöllä

$$A_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3)$$

missä π = vakio

D = paineilmasyylinterin halkaisija [cm]

Koska käytössä olevan paineilma sylinterin männän halkaisija on 5cm, tulokseksi saadaan, että $A_s = 19.6\text{cm}^2$

Paineilmaverkoston maksimi paine p ollessaan 8bar voidaan laskea paineilmasyylinterin aiheuttama voima F_s yhtälöstä (2).

Tulokseksi saadaan $F_s = 1571\text{N}$.

Tarkasteltaessa laakerin varmuuskerrointa, on laakerille sallitun varmuuskertoimen kokonaisvoiman $F_{kok.a}$ ja paineilmasyylinterin aiheuttaman voiman F_s välinen suhde ratkaistavissa yhtälöstä neljä.

$$\frac{F_{kok.a}}{F_s} > 1 \quad (4)$$

Sijoittamalla arvot kaavaan neljä saadaan yhtälöstä viisi laakerille varmuuskertoimeksi,

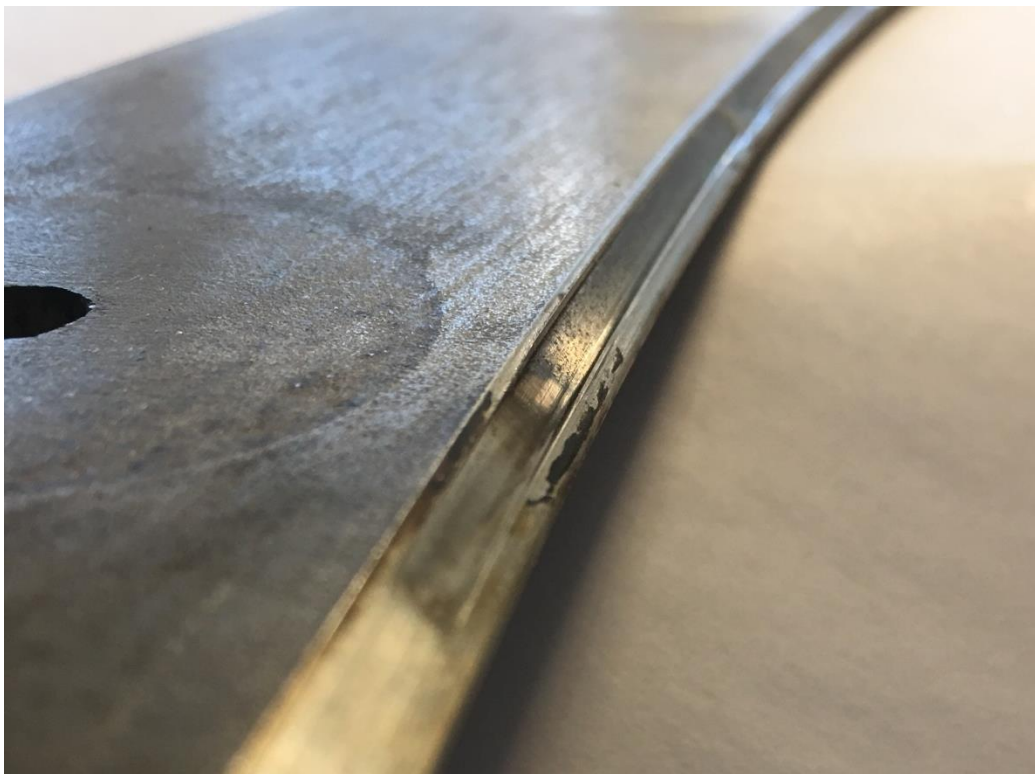
$$\frac{840\text{N}}{1571\text{N}} = 0.53 \quad (5)$$

Laskennassa saatu varmuuskerroin on huomattavasti pienempi kuin laakeritoimittajan ilmoittama suositus arvo laakerin varmuuskertoimeksi. Saadun tuloksen perusteella voidaan päätellä, että laakerit olivat alimitoitettuja. Mekaanisen kulumisen lisäksi myös laakerien korroosio aiheutti ongelmia.

3.3.3 Johdelevy

Johdelevy on laitteeseen suunniteltu levyosa. Osa piirustus on esitetty liitteessä 2. Osa on valmistettu austeniittisesta ruostumattomasta teräslevystä (1.4301) laserleikkaamalla ja koneistamalla reunat urarullien vaatimaan muotoon.

Kuvassa 3 näkyy johdelevyn reunojen vauriot painumina koneistetuilla johdepinnoilla.



KUVA 3. Johdelaakerin aiheuttamat painumat johdelevyssä.

Austeniittinen ruostumaton teräs on ominaisuuksiltaan pehmeä verrattuna rakenneteräkseen. Taulukosta 3 nähdään että 1.4301 teräslaadun myötöraja $R_{p0,2} = 230\text{MPa}$. Johdepintojen painumien seurauksena laitteen mekaaninen välys kasvaa jolloin laitteen melutaso kasvaa huomattavasti ja myös leikattavan tuotteen laatu huononee.

3.3.4 Kaarilevyn rasitukset.

Kaarilevyn rasituksien selvittämiseksi lasketaan johdelevyn ja ohjausrullien väliset voimat ja niitten aiheuttamat pintapaineet.

Laitekokoonpanossa johdelevyn rasituksista merkittävin on johdepinnoille syntyvät pintapaineet. Pintapaine on urakuulalaakerin kaarevan pinnan ja johdelevyn johdepinnan välinen kosketusjännitys, mikä on verrattavissa sylinterin ja tason väliseen kosketusjännitykseen joka on esitetty Esko Valtasen Matemaattisia kaavoja ja taulukoita kirjassa s.384 tapaus 5. /8/ Koska molempien osien materiaali on teräs, voidaan karkeassa arvioinnissa olettaa että molempien materiaalien kimmokerroin E ja Poissonin vakio ν ovat samoja. Poissonin vakio arvo $\nu = 0.3$ voidaan kosketusjännitys laskea yhtälöllä (6),

$$p_0 = 0.591 \cdot \sqrt{\frac{FE}{LD}} \quad (6)$$

missä p_0 = kosketusjännitys [MPa]
 F = pinnalle kohdistuva normaalivoima [N]
 E = Kimmokerroin [MPa]
 L = kosketuspinnan leveys [mm]
 D = rullan/sylinterin halkaisija [mm]

sijoittamalla arvot kaavaan (6), saadaan kosketuspintojen väliseksi kosketusjännitykseksi liitteen 4 mukaisesti laskettuna,

$$p_0 = 616 \text{ MPa}, \quad (7)$$

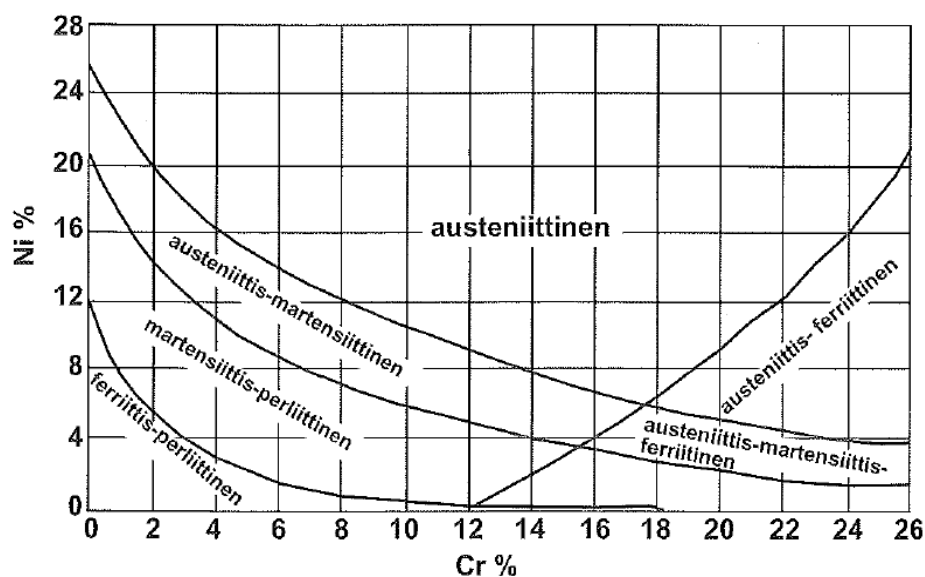
4 YLEIS- JA TEORIATIETOA AVUKSI RATKAISUN LÖYTÄMISEEN

4.1 Ruostumaton teräs

Ruostumattomat teräkset ovat vähintään 10.5 % kromia sisältäviä seosteräksiä. Hiiltä on ruostumattomissa teräksissä vähemmän kuin 1,2 % ja niiden mikrorakenteita voidaan muunnella seostuksen avulla. RST-teräksiin seostetaan yleensä lisäksi nikkeliä, molybdeenä ja typeä.

Kromiseostus parantaa teräksen korroosionkestävyyttä. Kromi muodostaa materiaalin pintaan kromioksidirikkaan passiivikalvon.

Kuva 4 antaa karkean arvion kromi- ja nikkelseostettujen terästen kiderakenteesta. /9, 11/



KUVA 4. Kromi- ja nikkelseosteisten terästen mikrorakenteet./9/

Useat ruostumattomat teräkset kestävät esim. ilmastollista korroosiorasitusta ja ne soveltuvat käytettäviksi useissa prosessiteollisuuden laitteistoissa. Ruostumattomia teräksiä kutsutaan myös jaloteräksiksi. /9/

Ruostumattomien terästen tärkeimmät materiaalitiedot on koottu eurooppalaisen standardin SFS-EN 10088:1995 osiin 1-3 sekä painelaitemateriaalistandardiin SFS-EN 10028-7:2000.

TAULUKKO 3. Eräiden ruostumattomien terästen tärkeimpien seosaineiden tyypilliset pitoisuudet painoprosentteina sekä venymisrajat ($R_{p0,2}$) standardin SFS-EN 10088-2:1995 mukaisesti. /9, 11/

*	EN 10088	C % max.	Cr %	Ni %	Mo %	Muut %	$R_{p0,2}$ min. N/mm ²	A %	ASTM A-240	Kuvaus / Käyttö
A	1.4310	0,15	17	7	-	-	250	40	301	17-7 jousiteräs
A	1.4318	0,03	17	7	-	N	350	35	301LN	17-7 rakenneteräs
A	1.4301	0,07	18	8	-	-	230	18	304	Ruostumaton yleisteräs
A	1.4307	0,03	18	8,5	-	-	220	18	304L	Niukkahiilinen ruostumaton teräs
A	1.4541	0,08	18	9	-	Ti	220	40	321	Titaanistabiloitu ruostumaton teräs
A	1.4401	0,07	17	10,5	2	-	240	40	316	Ns. haponkestävä teräs
A	1.4404	0,03	17	10,5	2	-	240	40	316L	Niukkahiilinen haponkestävä teräs
A	1.4571	0,08	17	11	2	Ti	240	40	316Ti	Titaanistabiloitu haponkestävä teräs
A	1.4432	0,03	17	11	2,5	-	240	40	316L	Haponkestävä teräs, 2,5% Mo
A	1.4439	0,03	17	13	4,5	N	290	35	-	Kemianteeollisuuden erikoisteräs
A	1.4539	0,02	20	24	4,5	Cu	240	35	904L	Kemianteeollisuuden erikoisteräs
A	1.4547	0,02	20	18	6	N, Cu	320	35	S31254	Merivesisovelluksien teräs
F	1.4003	0,03	11	0,5	-	-	320	20	S41003	12-krominen rakenneteräs
F	1.4512	0,03	11	-	-	Ti	220	25	409	Pakoputki- ja katalysaattoriteräs
F	1.4016	0,08	17	-	-	-	280	20	430	17-krominen yleisteräs
F	1.4510	0,05	17	-	-	Ti/Nb	240	23	430Ti	17-krominen yleisteräs
F	1.4521	0,02	18	-	2	Ti/Nb	320	25	444	Kuumavesivaraajateräs
D	1.4462	0,03	22	5,5	3	N	480	20	S31803	22%Cr duplex
M	1.4021	0,2	13	-	-	-	500	10	420	Akseliteräs
M	1.4034	0,5	13	-	-	-	-	-	420	Ruostumaton teräsmateriaali
M	1.4313	0,05	13	4	0,5	N	650	11	S31803	Turpiiniteräs

* - Kiderakenteen mukainen ruostumattomien terästen ryhmittely, jossa A = austeniittinen, F = ferriittinen, D = austeniittis-ferriittinen (duplex) ja M = martensiittinen

Ruostumattomia teräslaatuja on lukematon määrä. Ne voidaan jakaa neljään päälaatu-luokkaan: /7/

- austeniittiset
- austeniittis-ferriittiset
- ferriittiset
- martensiittiset

Tähän luokitteluun voidaan lisätä myös erkautuskarkaistavat ruostumattomat teräkset sekä austeniittiset ruostumattomat mangaaniteräkset.

Nykyään ruostumaton teräs on erittäin suosittu rakennusmateriaali, jonka käyttö kasvaa koko ajan pinnoitettujen niukkaseosteisten terästen kustannuksella. Suurin osa, noin 60 %, ruostumattoman teräksen käytöstä keskittyy austeniittisiin laatuihin, joiden saatavuus on ylivertainen muihin laatuihin verrattuna. Lisäksi austeniittiset laadut ovat helpompia hitsata sekä niiden muovattavuus on erinomainen. /7/

Ruostumattomien terästen tärkeimpinä ominaisuuksina voidaan pitää myös hygieenisuus ja esteettisyys. /7/

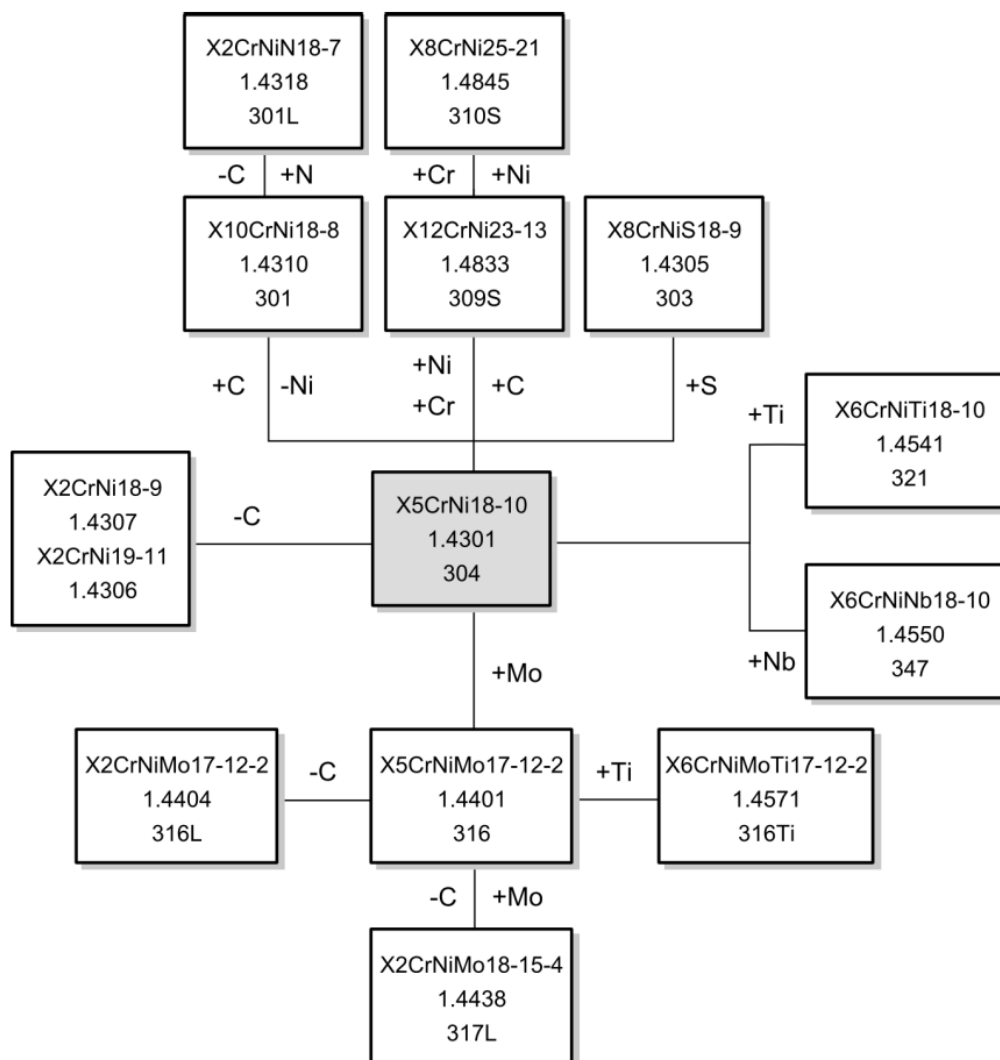
4.1.1 Austeniittiset ruostumattomat teräkset

Austeniittinen ruostumaton teräs sisältää raudan ja kromin lisäksi nikkeliä. Kromia on niissä yleensä noin 16 % - 20 %, joka suosii ferriittistä kiderakennetta. Kuitenkin tarpeeksi suurella nikkeliseostuksella, yli 6 %, teräs saadaan pysymään kokonaan austeniittisena riippumatta lämpötilasta. Austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat ylivoimaisesti käytetyin luokka. Se johtuu monesta tekijästä, esimerkiksi: /7/

- helpompi hitsattavuus
- hyvä muovattavuus
- sitkeys pysyy suurena erittäin matalissa lämpötiloissa
- hyvä tai erinomainen korroosionkestävyys
- hyvä saatavuus

Austeniittisista ruostumattomista teräksistä voidaan mainita kaksi laatua, joita käytetään enemmän kuin muita: EN 1.4301 (AISI 304) ja EN 1.4436 (AISI 316). Yksittäisistä laaduista on kehitetty seostuksen avulla paremmin tiettyihin sovelluksiin sopivia teräksiä. Esimerkiksi niin sanotut L-laadut (304L ja 316L) on kehitetty hitsauksessa esiintyvän herkistymisen ehkäisemiksi. /7/

Austeniittisissa laaduissa on kuitenkin myös huonot puolensa: ne muokkauslujittuvat, joten lastuaminen on vaikeaa, ne ovat alttiita jännityskorroosiolle sekä hitsaus aiheuttaa paljon hitsausmuodonmuutoksia. Kuvassa 5 esittää miten yleiset austeniittiset laadut eroavat seostukseltaan toisistaan. /7/

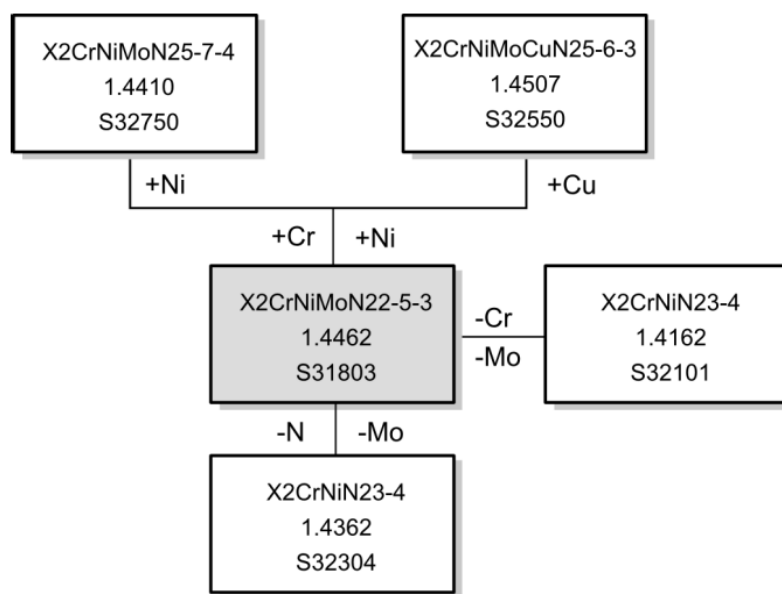


KUVA 5. Austeniittisten laatuojen kehityspuu. /7/

4.1.2 Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset

Austeniittis-ferriittisistä teräksistä käytetään yleisemmin nimitystä duplex-teräkset. Niiden mikrorakenteessa on austeniittia ja ferriittia, vaihdellen 30–70 %:n välillä. Duplex-terästen käyttö on yleistynyt jonkin verran esimerkiksi pumppujen pesämateriaaleissa ja prosessiteollisuuden säiliöissä, koska niillä on paremmat piste- ja jännityskorroosio-ominaisuudet sekä myös paremmat mekaaniset ominaisuudet kuin perinteisillä austeniittisilla tai ferriittisillä ruostumattomilla teräksillä. Uusissa duplex-teräksissä nikkelipitoisuutta on pienennetty, joten ne ovat yleensä myös hyvin kustannustehokas vaihtoehto. /7/

Duplex-terästen käytöllä pyritään yleensä parantamaan rakenteen kestävyyttä vähentäen samalla painoa. Niiden hitsattavuus on hyvä, mutta kuitenkin hieman vaativampaa kuin austeniittisten laatuojen. Kuvassa 6 on kuvattu yleisimpien duplex-terästen kehittelypuu. Yleisimmin käytetty laatu on EN 1.4462. /7/



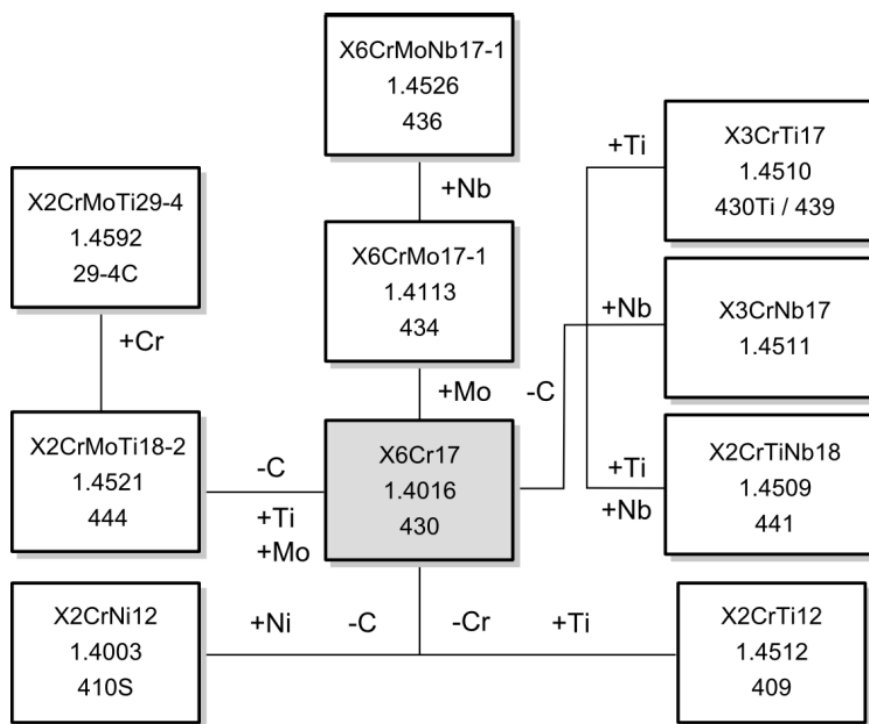
KUVA 6. Austeniittis-ferriittisten laatuojen kehittelypuu. /7/

4.1.3 Ferriittiset ruostumattomat teräkset

Ferriittiset ruostumattomat teräkset ovat mikrorakenteeltaan nimensä mukaisesti ferriittiä. Ruostumaton teräs saadaan pysymään ferriittisenä, kun siihen ei seosteta kromia ja nikkeliä (tai seostetaan hyvin vähän, alle 1 %). Yleinen käsitys ferriittisistä laaduista on, että ne ovat heikosti hitsattavia ja niiden hitsauksessa esiintyy runsaasti ongelmia. Eri terästuottajien kehitystyön tuloksena on kuitenkin syntynyt esimerkiksi titaanistabiloituja laatuja, joita voidaan nykyään luotettavasti hitsata. /7/

Ferriittisiä ruostumattomia teräksiä pidetään usein myös korroosionkestävyydeltään suhteellisen heikkoina, mutta tälläkin osa-alueella on saatu kehitystä aikaan. Nykyään on olemassa laatuja, joilla voi olla mahdollisuus korvata yleisimmät austeniittiset laadut. Ferriittisten laatuojen fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet ovat kuitenkin lähempänä hiiliteräksiä kuin austeniittistä laatua. Tällä saavutetaan tiettyjä hyötyjä muun muassa muovattavuudessa; esimerkiksi ferriittisten laatuojen syväveto-ominaisuudet ovat paremmat kuin austeniittisilla laaduilla. /7/

Ferriittisiä laatuja käytetään paljon esimerkiksi siltarakenteissa, tavaravaunujen runko-rakenteissa ja esimerkiksi julkisten tilojen verhoiluissa. Ajoneuvojen pakoputket ovat myös yleinen käyttökohte. Käytetyin laatu on kromilevyksikin kutsuttu EN 1.4016. Kuvasta 7 nähdään, miten yleisimpien ferriittisten laatuojen seostus on kehittynyt. /7/

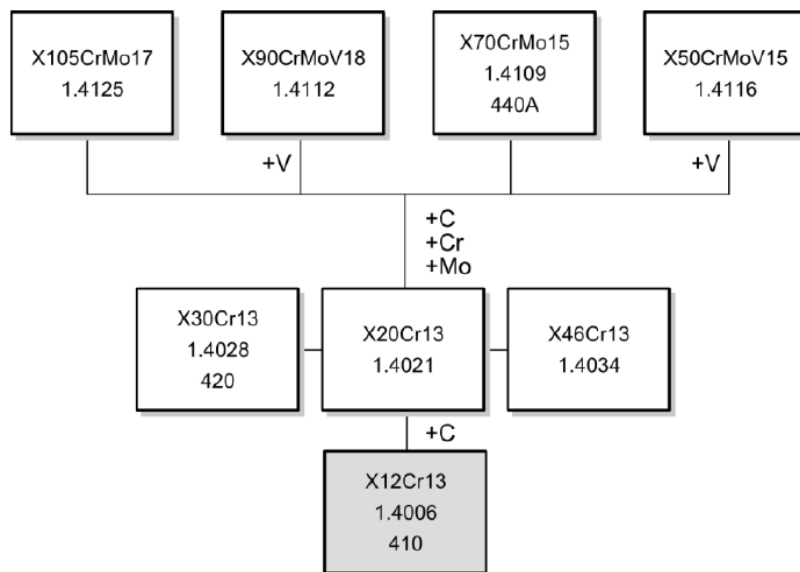


KUVA 7. Ferriittisten laatuojen kehittelypuu./7/

4.1.4 Martensiittiset ruostumattomat teräkset

Martensiittiset ruostumattomat teräkset ovat ainoa ruostumattomien terästen ryhmä, joka on karkaistavissa lämpökäsittelyllä. Niissä käytetään seosaineena pääosin kromia (yleensä noin 13 %), kuten ferriittisissä ruostumattomissa teräksissä, mutta niissä on yleensä myös suhteellisen paljon hiiltä. Martensiittisten laatuojen lujuus on yleensä suuri ja ne ovat kovempia kuin muut laadut. Lisäksi ne ovat melko hauraita, joten niiden muovattavuus on suhteellisen heikko. /7/

Martensiittiset laadut voidaan seostuksen mukaan jakaa martensiittisiin ja martensiittis-austeniittisiin laatuihin. Molemmissa kategorioissa seoksilla on omat erityisominaisuudet ja käyttökohteet. Martensiittisiä ruostumattomia teräksiä käytetään esimerkiksi tavallisissa keittiövälineissä, mutta niistä valmistetaan myös erittäin vaativiin olosuhteisiin tarkoitettuja pumppujen ja turbiinien osia sekä esimerkiksi laivan akseleita. Niiden hitsaus on vaikeaa ja vaatii yleensä esi- ja jälkilämpökäsittelyjä. Kuva 8 esittää martensiittisten laatuja kehityspuun. /7/



KUVA 8. Martensiittisten laatuja kehityspuu. /7/

4.2 Teräksien lämpökäsittely

Teräksille voidaan suorittaa useita lämpökäsittelyitä. Yleisiin lämpökäsittelymenetelmiin luetaan useita käsittelyjä aina kuumamuokkauksesta pintakarkaisumenetelmiin asti. Lämpökäsittely on ohjattu prosessi, jonka avulla tiettyjen materiaalien, kuten metallien ja seosten mikrorakennetta muutetaan. Termisellä käsittelyllä pyritään muuttamaan materiaalin rakenteellista lujuutta. Näin pystytään vaikuttamaan komponentin käyttöikää parantaviin ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi pinnan kovuuteen, lämpötilankestoon, sitkeyteen ja kulumiskestoon. /2, 10/

Teräksien lämpökäsittelyt voidaan jaotella seuraavasti:

- Hehkutukset
 - ✓ sintraus
 - ✓ tasahehkutus
 - ✓ normalisointi
 - ✓ pehmeäsihehkutus
 - ✓ jännitystenpoistoherkutus
 - ✓ vedynpoistoherkutus
 - ✓ rekristallisaatiohehkutus
- Karkaisu ja päästö
- Nuorutus
- Pintakarkaisu
- Hiiletyskarkaisu
- Typetys
- Kylmäkäsittelyt
 - ✓ martensiittireaktion loppuunsaattamine
 - ✓ kryokäsittely
- Valurautojen ja –terästen lämpökäsittely
 - ✓ myötö
 - ✓ normalisointi
 - ✓ bainitointi
 - ✓ austemerointi
 - ✓ adusointi

- Ruostumattomien terästen lämpökäsittely
 - ✓ matala lämpötilan hiiletys (Kolsterointi®)
 - ✓ hiiletuspintakarkaisu
 - ✓ plasmatypetys
- Alumiiniseosten lämpökäsittely

Tässä työssä keskitytään ruostumattomien terästen lämpökäsittelyyn. Austeniittisille ruostumattomille teräksille tehtäviä lämpökäsittelyjä ovat austenitointi, korroosionkestävyyden palauttamisen ja tasaisen rakenteen saavuttamiseksi, sekä jännitepoistoherkkus. Austeniittisten terästen kovuutta ei voida parantaa karkaisemalla, mutta pintakovuuteen voidaan kuitenkin vaikuttaa matalan lämpötilan hiiletysellä tietyin rajoituksin. /10/

4.2.1 Matala lämpötilan hiiletys (Kolsterointi®)

Kolsterointi® on yksi S³P erikoisprosesseista, jotka tarjoavat ainutkertaisia pintakarkaisuratkaisuja. /1/

Kolsterointi® on austeniittisille, austeniittis-ferriittisille (dublex) sekä ferriittisille ruostumattomille teräksille tehtävä pintahiiletys, joka sopii myös nikkelipohjaisten seosten käsittelyyn. Käsittelyn lämpötila on matala ja käsittelyaika pitkä, jolloin kappaleiden pintaan ei muodostu kromikarbideja. Tämän seurauksena korroosionkestävyyssominaisuudet säilyvät, eikä mitta- ja muodonmuutoksia esiinny. Menetelmän rajoituksena on ohut karkeneva kerros sekä matala käyttölämpötila (alle 300 °C). Menetelmän etuna on myös pintaan muodostuva puristusjännitystila, joka parantaa pinnan väsymislujuutta. /10/

Prosessin aikana ei muodostu mitään sellaisia kemiallisia lisäelementtejä, joita ei ollut olemassa ennen käsittelyä. /1/

S³P-prosessilla saadaan aikaan erittäin hyvä kulumisenkestävyys, sitkeys sekä hankauksenkesto. Halkeilun vaaraa ei ole olemassa, koska S³P-prosessissa ei lisätä pinnoitetta eikä suoriteta haurastusvaiheita materiaalille. /1/

Kuten pintadiffuusioprosessien kohdalla, pinta ei halkeile tai murru, minkä vuoksi tekniikalla on huimat edut verrattuna toisiin pinnoitusteknologioihin. /1/

S³P-käsittelyn etuja ovat: /1/

- Kasvanut pintakovuus, jopa 900–1300 HV0.05 (riippuen perusmateriaalista ja pintaominaisuuksista).
- Asianmukaisesti valitut ja suunnitellut materiaalit ja osat säilyttävät korroosiosuojansa.
- Käsittelyt osat ovat väreiltään ja mitoiltaan vakaita.
- Jälkikäsittelyä ei tarvita.
- Ei halkeilun riskiä.
- Austeniittisten materiaalien paramagneettiset ominaisuudet pysyvät samoina myös käsittelyn jälkeen.
- Eliminoi hankauskorroosion ja hankautumisen.
- Kestää erittäin hyvin pintaa kuluttavia ympäristöjä kuten liukumista yhdessä hankaavan kulumisen ja kavitaatioeroosion kanssa.

S³P-käsittelyn käyttökohteet & materiaalit: /1/

- S3P-prosesseilla käsitellään monien teollisuudenalojen tuotteita tarkoista lääketieteellisistä työkaluista autojen komponentteihin.
- S3P-prosesseilla voidaan käsitellä ruoanvalmistuslaitteiden ja muiden valmistuslaitteiden osia tuotantolinjoilla ja näin vähentää seisokkiaikoja sekä kasvattaa kustannustehokkuutta
- Teollisia nesteidenkäsittelypumppuja, venttiileitä ja liittimiä koskevat hankautumisen- ja kulumisenkestovaatimukset.
- Kiristimet, joiden on oltava korroosionkestäviä sekä hankauksen- ja kulumisenkestäviä ja jotka on pystyttävä purkamaan helposti.
- Lääketieteelliset laitteet, joiden kulumisenkestävyyttä ja väsymislujuutta on parannettava ja joiden terien on oltava kovia ja teräviä
- Kulumista ja naarmuja kestävä osat ja liittimet, joiden on säilytettävä korroosionsuojansa meriteollisessa käytössä
- Useat nykypäivän ruostumattomasta teräksestä valmistetut kulutushyödykkeet, joiden on oltava sitkeitä ja joiden pinnan on kestävä naarmuja ja kulumista.

Kaikki ruostumattomat teräkset sekä nikkelpohjaiset seokset ja koboltti-kromiseokset voidaan käsitellä eri S³P -prosesseilla. Tyypillisiä materiaalien esimerkkejä ovat: /1/

- Austeniittinen ruostumaton teräs
 - ✓ AISI 304, 304L, 316, 316L, 904L
- Martensiittinen kaksoisteräs teräs
 - ✓ AISI 430, 440
- Ruostumaton kaksoisteräs
 - ✓ UNS S32205, S32750
- Erkautuskarkaistu ruostumaton teräs
 - ✓ PH 17-4, PH 13-8 Mo
- Nikkelipohjaiset seokset
 - ✓ Hastelloy® ja Inconel®
- Koboltti-kromiseokset
 - ✓ BioDur® CCM Plus® -seos
- Stellite®

4.2.2 Typetys (nitraus)

Typetysmenetelmiä on varsin paljon ja yhteistä niille on, että pintaan johdetaan typpeä niin matalassa lämpötilassa, ettei teräksessä tapahdu faasimuutoksia ja tästä johtuen ei tapahdu myöskään merkittäviä mittamuutoksia. Typetyksessä saatava kovuus johtuu pintaan muodostuvista nitrideistä sekä typen diffuusiosta nitridikerroksen alle muodostuvaan diffuusiokerrokseen. Käsittelylämpötila kappaleilla on noin 450...600 °C. Typetysmenetelmiä ovat esimerkiksi kaasutypetys, plasmatypetys, hiilitypetys ja alipainetypetys. Pinta voidaan näiden jälkeen vielä hapettaa (mustanitraus), jolla saavutetaan typetystä paremmat liukuominaisuudet, sekä parannetaan korroosionkestävyyttä. Typetyskerroksen paksuus on tyypillisesti 0,2...0,5 mm ja kovuus 500...1200 HV 0,1. Typetetyt kappaleen pintapaineen kestävyys on kohtalainen, pinnan taivutusväsymislujuus hyvä sekä pinnan liukuominaisuudet erinomaiset. /3/

Typetyksellä saadaan aikaan perusteräkseen verrattuna parempi pinnan kulutuskestävyys, pienempi kitka ja parempi väsymislujuus. Korroosionkestävyyttä voidaan parantaa huomattavasti typetyksen jälkeisellä hapetuksella. Korroosionkestävyys ruostumatomilla teräksillä saattaa kuitenkin heiketä typetyksessä. Typetys ulottuu 0,1...0,8 mm kappaleen pinnan alle. Mitä syvemmälle vaikutuksen halutaan ulottuvan, sitä pidempään kappaleiden on oltava typetysuunissa. Typetysajat vaihtelevat muutamista tunneista lähes sataan tuntiin. /3/

4.3 Materiaalin kovuus

Materiaalin kulumiskestävyyden yhteydessä tulee esiin materiaalin kovuus. Koska kovuuden mittaaminen on yksinkertainen ja nopea testi materiaaliominaisuuksien määrittämiseksi käsitellään se seuraavassa melko tarkasti. /13/

Materiaalin kovuus ei ole materiaaliominaisuus, vaan se on riippuvainen monista tekijöistä kuten vetomurtolujuus, sitkeys, kimmoiset ominaisuudet, iskusitkeysarvot jne. Kovuuden määritelmänä pidetään yleensä materiaalin kykyä vastustaa siihen tunkeutuvaa esinettä, naarmuuntumista, kulumista tai leikkaamista. /13/

Yksinkertaisin kovuuskoe on verrata materiaalien kykyä vastustaa naarmuuntumista hangattaessa kappaleita toisiinsa. Tällaiseen kokeeseen perustuu Mohsin kovuusasteikko, jossa edellinen materiaali naarmuuntuu naarmutettaessa sitä Mohsin asteikossa ylempänä olevalla seuraavalla materiaalilla. Mohsin kovuusasteikko on jaettu kymmenen osaan. Kutakin Mohs-kovuutta vastaa tietty mineraali, johon kovuus on sidottu. Mohsin kovuusasteet, mineraalit ja vastaavia tunkeumakovuuksia on esitetty taulukossa alla. Mohsin kovuusasteikko on ollut käytössä vuodesta 1822. Menetelmällä voidaan määrittää tuntemattoman näytteen kovuus naarmuttamalla sitä Mohsin asteikolla olevilla materiaaleilla. Näin saadaan selville näytteen sijainti Mohsin asteikolla. /13/

TAULUKKO 4. Mohsin kovuusasteikko./13/

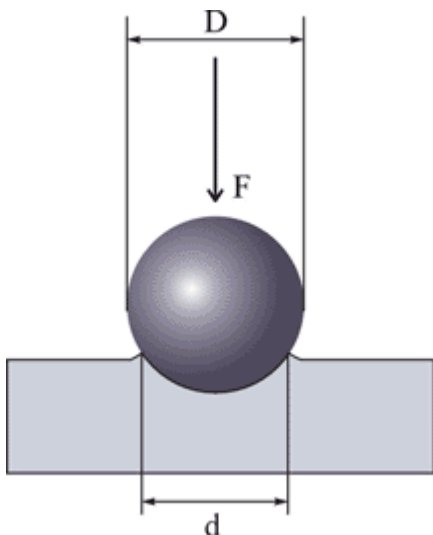
Mohs-kovuus	Mineraali	Vastaava tunkeumakovuus (pyramidikärki)
1	Talkki	200
2	Kipsi	
3	Kalsiitti	
4	Fluoriitti	
5	Apatiitti	600
6	Ortoklaasi	
7	Kvartsi	1000
8	Topaasi	
9	Korundi	2000
20	Timantti	
		8000-10000

4.3.1 Brinellin SFS-EN ISO 6506-1 kovuusmittaus

Brinellin kovuuskokeen kehitti ruotsalainen tohtori J.A. Brinell vuonna 1900. Menetelmässä mitataan teräs- tai kovametallipallon painauma tutkittavaan materiaalin staattisen kuormituksen alaisena mittaussajan ollessa vakio. Kaaviokuva Brinellin kovuuden mittaamisesta on esitetty kuvassa alla. Syntyneen kuopan halkaisija mitataan kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa. Brinellin kovuus on kuormitusvoima Newtonina painauman kalottipinta-alaa kohden. Pinta-ala annetaan millimetreinä. Yhtälön muodossa ilmaistuna kovuus on: /13/

$$HBW = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (8)$$

missä F = käytetty voima [N]
 D = pallon halkaisija [mm]
 d = painuman halkaisija [mm].



KUVA 9. Brinelli-kovuuden mittaustapa. /13/

Kovuusarvot merkitään esim. seuraavasti: 200HB. Teräspallo soveltuu käytettäväksi kovuuksiin 450HB saakka. Sen jälkeen käytetään kovametallipalloa, tunnus HBW, kovuuteen 650 HBW saakka. /13/

Koska Brinellin kovuusmittausmenetelmä jättää ison kovuusmittausjäljen se soveltuu erinomaisesti epähomogeenisille materiaaleille. Toisaalta käytettävät suuret voimat vaativat, että koekappale ei ole kovin ohut. Lisäksi käytettyjen mittauskärkien kovuudet ja jäykkyydet ovat sikäli vaatimattomia, ettei kovin kovien kappaleiden mittaaminen ole mahdollista. Kovat kappaleet vaativat suuren kuorman ja siten aiheuttavat mittakärkeen helposti muodonmuutoksia. /13/

4.3.2 Rockwellin SFS-EN ISO 6508-1 kovuusmittaus

Professori Ludwig Itävallasta esitti menetelmän kovuuden mittaamiseksi painuman syvyyden muutoksen perusteella. Menetelmässä mitataan timanttikartion painautumissyvyys materiaaliin sekä esikuormalla että varsinaisella mittakuormalla. /13/

Nykyisin menetelmä on käytössä Rockwellin kovuuskokeessa. Menetelmässä teräskuulaa tai timanttikartiota, painetaan tutkittavaan materiaaliin. Teräskuulaa käyttävää menetelmää kutsutaan Rockwell B -kovuudeksi ja timanttikärkeä käyttävää menetelmää Rockwell C -kovuudeksi.

Rockwellin kovuusmittaus soveltuu kovien aineiden rutiinitarkastukseen. Lieriömäisiä kappaleita mitattaessa käytetään kovuuslukemille halkaisijasta riippuvia lujuuskertoimia. Menetelmän etuna on nopeus ja tarkkuus sekä tuloksen riippumattomuus mittaajasta. Menetelmä on epäherkkä pinnan laadulle eikä vahingoita koekappaletta. /13/

4.3.3 Vickersin SFS-EN ISO 6507-1 kovuusmittaus

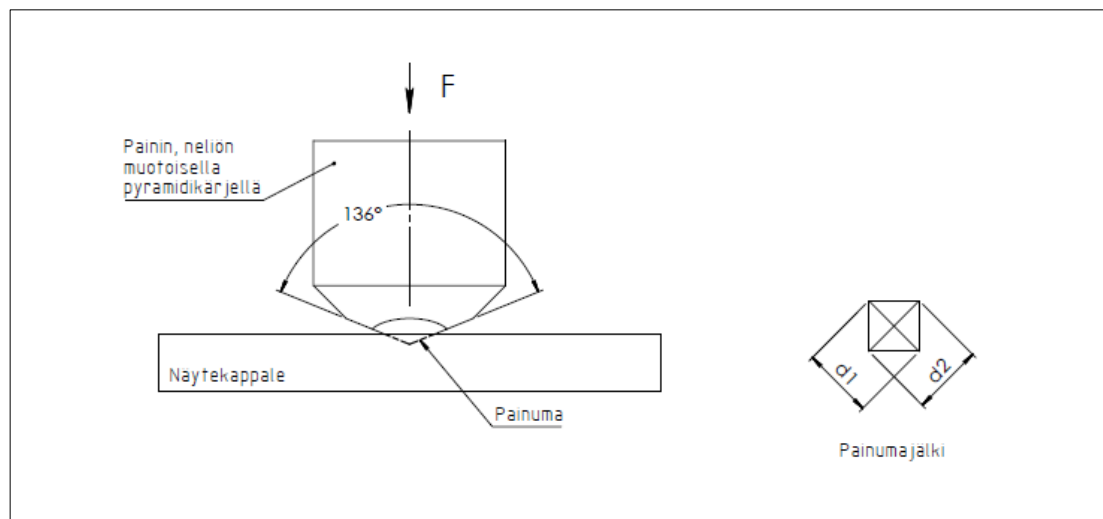
Vickersin kovuuskoe kehitettiin vuonna 1924, kun Smith ja Sandland Vickers Ltd:llä halusivat Brinellin kovuuskokeelle vaihtoehtoisen menetelmän mitata materiaalien kovuutta. Vickersin menetelmä on usein helpompi käyttää kuin muut kovuuden mittaustavat, sillä siinä vaaditut laskentamenetelmät ovat riippumattomia painimen koosta ja toisaalta samaa paininta voidaan käyttää kaikille materiaaleille kovuudesta riippumatta. Perusperiaate, kuten kaikissa kovuusmittausmenetelmissä, on tutkia tarkkailtavan materiaalin kykyä vastustaa plastista muodonmuutosta. Vickersin kovuuskoemenetelmää voidaan käyttää esimerkiksi kaikille metalleille ja sillä on kaikista mittausten menetelmistä laajin kovuusalue. Kovuuden yksikkö tunnetaan Vickersin kovuutena (HV). Taulukossa 5 on esitetty koevoimien alueet. /15/

TAULUKKO 5. Vickersin kovuus mittauksen koevoimien alueet. /15/

Koevoiman alue F (N)	Kovuuden tunnus	Nimeäminen
F 49,03 N	HV 5	Vickersin kovuuskoe
1,961 N F < 49,03 N	HV 0,2... < HV 5	Vickersin kovuuskoe pienellä koevoimalla
0,09807 N F < 1,961 N	HV 0,01... < HV 0,2	Vickersin mikrokovuuskoe

Vickersin menetelmässä materiaalin kovuus määritetään laitteistolla. Laitteessa on nelipohjainen säännöllinen timanttipyramidi, jonka vastakkaisten sivutahkojen välinen kulma on 136° . Timanttipyramidi painetaan koekappaleeseen koevoimalla F, sen jälkeen mitataan koekappaleen pintaan jääneen painauman lävistäjät d1 ja d2 (kuva 10). /13, 17/

Mittaus menetelmän periaatekuva on esitetty kuvassa 10. Kuvassa on esitetty painumajälki ja sen lävistäjämitat.



KUVA 10. Vickers – kovuusmittausmenetelmä, timanttipyramidi ja kovuusmittausjälki. /13, 17/

Mittauskärjen ja kovuusmittausjäljen valokuvat ovat suurennettuna esitetty myös kuvassa 11 ja kuvassa 12. Mittausjäljen kuva on kaksikymmentäkertainen suurennos (kuva 12).



KUVA 11. Vickers - kovuuden mittauskärki, timanttipyrämiidi. /17/



KUVA 12. Vickers - kovuusmittausjälki messinkikappaleen pinnalla. /13/

Vickersin kovuus on koevoiman ja painuman pinta-alan lukuarvojen suhde. Painuman oletetaan olevan neliöpohjaisen säännöllisen pyramidin muotoinen ja sen kärkikulma on sama kuin paininkärjellä. /15, 17/

Kovuusmittausarvo lasketaan yhtälöllä

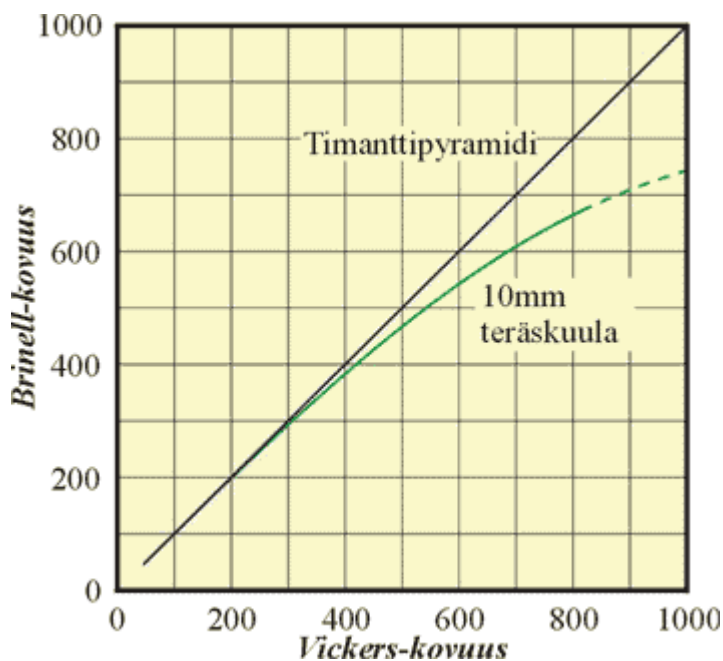
$$HV = 0,102 \cdot \frac{2F \sin(136^\circ/2)}{d^2} \quad (9)$$

missä F = käytetty koevoima [N]

d = lävistäjien d_1 ja d_2 aritmeettinen keskiarvo [mm].

Kokeessa käytetyn timanttipyramidin mukaisesti Vickers - kovuudesta käytetään myös nimeä timanttipyramidikovuus (diamond pyramid hardness). /13/

Kärkikulma on valittu 136° :ksi, jotta mittausjälki olisi geometrisesti Brinellin koetta vastaava. Näin ollen Brinell-kovuudet ja Vickers-kovuudet ovat teoreettisesti samalla kovuusasteikolla. Kuvassa 13 on esitetty Vickers -kovuuden ja 10mm kuulalla mitatun Brinell-kovuuden vertailu. Suurilla kovuuden arvoilla on nähtävissä selvä ero eri kovuusmittausmenetelmien välillä. /13/



KUVA 13. Vertailu Vickers- ja Brinell-kovuuden välillä. /13/

Vickers -kovuudet soveltuvat sekä pehmeille että koville aineille. Tulos on riippumaton kuormitusvoimasta, kunhan käytetty kuormitusvoima on yli 30N. Painumajälki on geometrisesti sama riippumatta painuman koosta. Jälki on pienempi kuin Brinell-kokeessa, eikä näin ollen vahingoita kappaletta. Kovuusmittaus voidaan suorittaa myös ohuille kappaleille. Myös alle kilon painojen käyttö on mahdollista. Kun käytetään hyvin pieniä painoja, voidaan mitata ns. mikrokovuuksia. /13/

SFS-EN ISO 6507-1 määrittelee nämä Vickersin kovuusalueiden painuman suuruudet lävistäjän välille 0,02 – 1,4 mm. Mikäli painuman lävistäjän koko on alle 0,02 mm, mittaustuloksen epävarmuus kasvaa (eli mittaustarkkuus heikkenee painuman jäljen koon ollessa hyvin pieni). /15/

Vickersin kovuuden arvo esitetään xxxHVyy, kuten esimerkiksi 320HV30. Vickersin kovuuden arvo voidaan myös esittää xxxHVyy/zz, mikäli kuormitusaika poikkeaa määritellystä 10 – 15 s. arvosta. Esimerkiksi 320HV30/20. /13, 15/

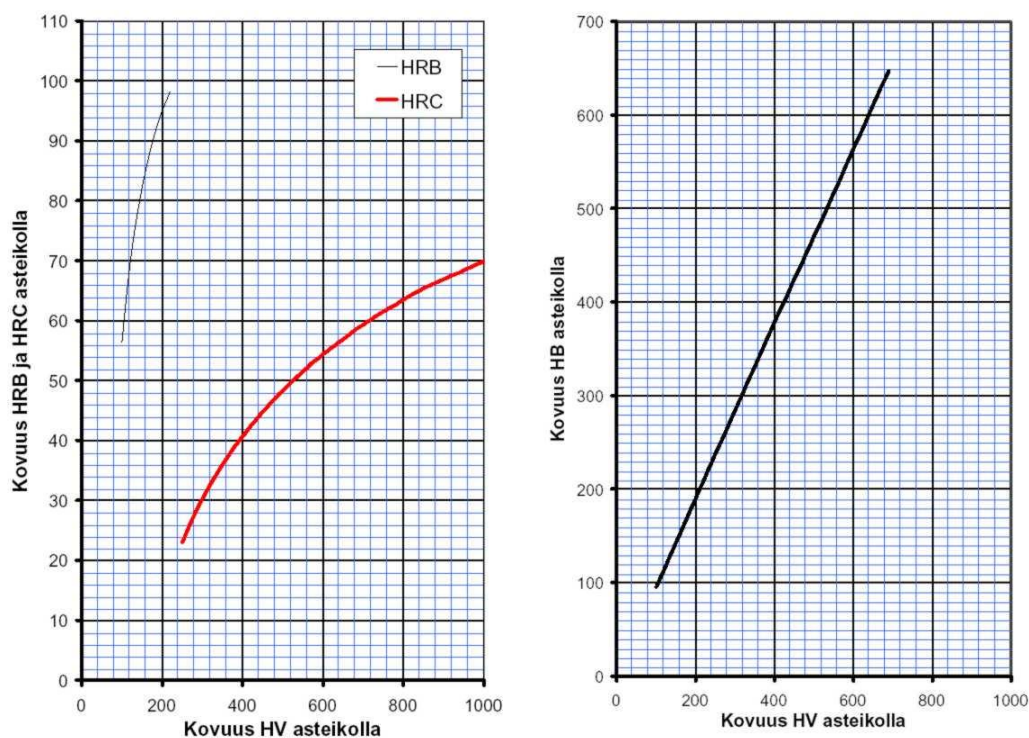
- 320 = kovuuden arvo
- HV = Vickersin kovuuden tunnus
- 30 = koevoiman likimääräinen suuruus kilogrammavoimana (kgf), missä 30 kgf = 294,2 N
- 20 on kuormitusaika (20 s), joka ilmoitetaan silloin kun se poikkeaa standardissa määritellystä ajasta (10 – 15s).

TAULUKKO 6. Vickersin kovuusarvoja muutamille materiaaleille. /15/

Materiaali	Arvo
316L ruostumaton teräs	140HV30
347L ruostumaton teräs	180HV30
Hiiliteräs	55-120HV5
Rauta	30-80HV5

4.3.4 Kovuusarvojen vertailusta

Vaikka eri kovuusarvojen absoluuttinen vertaaminen ei ole mahdollista johtuen koejärjestelyistä aiheutuvista eroavaisuuksista, voidaan likimääräisiä vertailuja suorittaa. Kuten aiemmin on todettu, ovat Brinell ja Vickers-kovuudet samalla teoreettisella kovuusasteikolla ja siten niiden arvot ovat likimäärin yhtenevät. Tosin Brinellin kovuusluku on muutaman prosentin pienempi kuin Vickersin kovuusluku. Lisäksi voidaan Rockwell-kovuutta verrata Brinell ja Vickers-kovuuksiin muunnostaulukoita käyttäen. Parhaat muunnostaulukot ovat hyvin rajoitetulle materiaaliryhmälle ja siten varsin luotettavia. On olemassa myös yleisempiä muunnostaulukoita, mutta tällöin luotettavuus ei ole enää yhtä hyvä. Ohessa on kaksi esimerkkiä asiasta. /13/



KUVA 14. Esimerkki kuvat muunnos diagrammeista. /13/

Vertailutaulukon arvot ovat aina likiarvoja. Tulokset vastaavat kuitenkin niin lähelle oikeita arvoja, että ne monesti riittävät käytännön sovellutuksiin. /14/

TAULUKKO 7. Kovuusarvojen vertailutaulukko. /14/

HV	HB	HRC	Murto- lujuun R_m N/mm ²	HV	HB	HRC	Murto- lujuun R_m N/mm ²	HV	HB	HRC	Murto- lujuun R_m N/mm ²
155	147		495	290	276	28,5	930	550		52,3	1810
160	152		510	295	280	29,2	950	560		53	1845
165	156		530	300	285	29,8	965	570		53,6	1880
170	162		545	310	295	31	995	580		54,1	1920
175	166		560	320	304	32,2	1030	590		54,7	1955
180	171		575	330	314	33,3	1060	600		55,2	1995
185	176		595	340	323	34,4	1095	610		55,7	2030
190	181		610	350	333	35,5	1125	620		56,3	2070
195	185		625	360	342	36,6	1155	630		56,8	2105
200	190		640	370	352	37,7	1190	640		57,3	2145
205	195		660	380	361	38,8	1220	650		57,8	2180
210	199		675	390	371	39,8	1255	660		58,3	
215	204		690	400	380	40,8	1290	670		58,8	
220	209		705	410	390	41,8	1320	680		59,2	
225	214		720	420	399	42,7	1350	690		59,7	
230	219		740	430	409	43,6	1385	700		60,1	
235	223		755	440	418	44,5	1420	720		61	
240	228	20,3	770	450	428	45,3	1455	740		61,8	
245	233	21,3	785	460	437	46,1	1485	760		62,5	
250	238	22,2	800	470	447	46,9	1520	780		63,3	
255	242	23,1	820	480		47,7	1555	800		64,0	
260	247	24,0	835	490		48,4	1595	820		64,7	
265	252	24,8	850	500		49,1	1630	840		65,3	
270	257	25,6	865	510		49,8	1665	860		65,9	
275	261	26,4	880	520		50,5	1700	880		66,4	
280	266	27,1	900	530		51,1	1740	900		67,0	
285	271	27,8	915	540		51,7	1775				

5 RATKAISUVAIHTOEHTOJEN HAKEMINEN

Nykyisen koneen on kehittänyt ja valmistanut Vaissi Oy:n perustaja/yrittäjä itse. Laite on toiminnaltaan erittäin yksinkertainen ja nerokkaasti toteutettu. Se on ollut toiminnassa yli 15 vuotta.

Laitteen toimintaperiaate pidetään entisellään, joten työssään keskityttiin nykyrakenteen parantamiseen.

Kuten alkukartoituksessa todettiin, johdelaakerit olivat alimitoitettu ja johdepintojen pintapaineet ylittivät monikertaisesti materiaalin salliman rajan.

5.1 Johdelaakerien uudelleen mitoitus.

Alkulaskelmien perusteella tehtiin laakereiden uudelleen valinnat (liite 4). Laakerien valinnassa oli rajoittavana seikkana käytettävä tilaa. Uusien laakereiden mitoituslaskelmat on esitetty liitteessä 6.

5.2 Johdelevyn materiaalin valinta

Elintarvike teollisuuden materiaalivalintojen tekeminen on erittäin haastava, tämä koskee myös johdelevy materiaalivalintaa.

Perinteisiä rakenneteräksiä ei voida elintarvikeympäristössä käyttää, niiden huonon korroosiokeston takia.

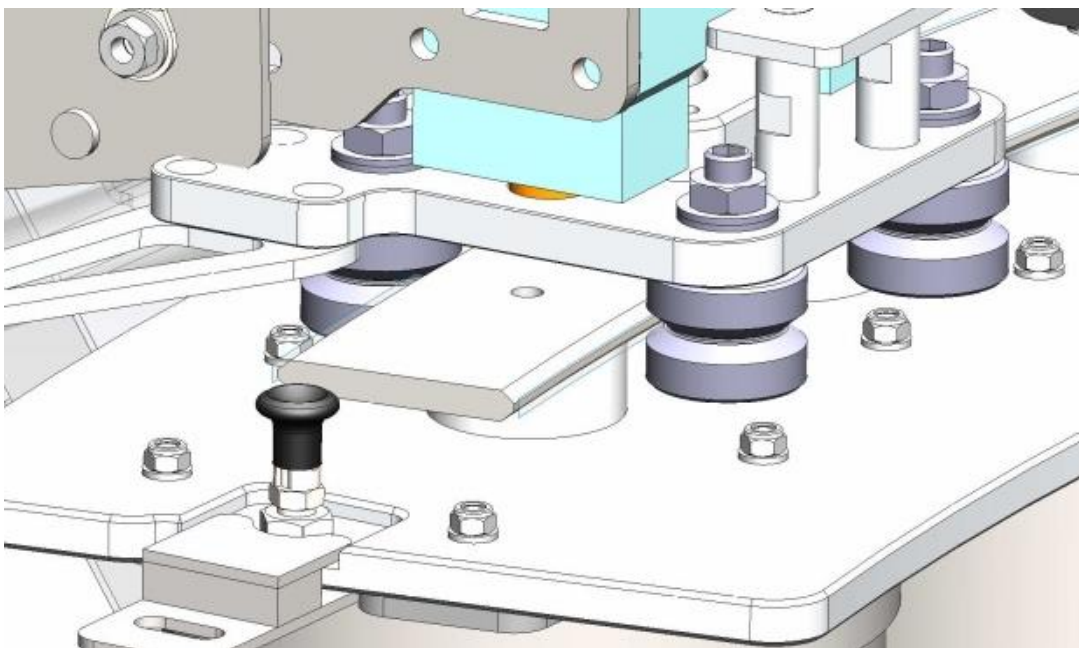
Pintapaineet jäivät laakereiden uudelleen valinnan jälkeenkin liian korkeiksi suhteessa materiaalin sallittuun pintapaineeseen. Tämän vuoksi siirryimme tarkastelemaan johdelevyn pintapainekestävyyden kasvattamisen mahdollisuuksia.

Kehitystyössä päädyttiin pysymään kuitenkin nykyisessä materiaalissa koska sen hinta on kilpailukykyinen ja sen saatavuus helppoa. Lisäksi nykyinen käytössä oleva materiaali soveltuu erinomaisesti kolsterointikäsittelyyn.

6 TOTEUTUS

6.1 Mekaniikan suunnittelu

Suunnittelussa ja osien mallinnuksessa käytettiin SolidWorks 3D mallinnus ohjelmistoa. Kuvassa 15 on esitetty johdelevyn ja johdelaakerien sijoitus leikkuulaitteessa.



KUVA 15. Laitteen 3D-malli.

Projektin yhteydessä parannettiin myös muita koneen ominaisuuksia kuten käyttöturvallisuutta.

Projektissa leikkuriin kehitettiin mm.

- suojalaitteita
- terien irrotus mekanismi
- rakenteita kevennettiin materiaalivalinnoilla
- säätöominaisuuksia

Lisäksi koneen ominaisuuksia tarkasteltiin virtuaalisesti 3D-mallinnuksen avulla. Liiketoimen analyysit ja törmäystarkastelu onnistuvat 3D-ympäristössä samalla kun itse laitetta ja laiteosia suunniteltiin.

6.2 Rullalaakerien valinta

Kuten lähtötilanteessa huomattiin, olivat urakuulalaakerit alimitoitettut. Koska tarkasteltava mekanismi on osa muuta koneen kokonaisuutta, oli käytössä oleva tila uuden laakeroinnin suunnitteluun rajallinen. Käytössä olevan tilan puitteissa voitiin laakereita kasvattaa vain seuraavaan kokoluokkaan, FR32 -> FR40.

Laakereiden yhtenä haasteena oli korroosionkesto, tämän vuoksi harkitsimme ruostumattomien laakerien käyttöä. Urakuulalaakereita valmistetaan myös ruostumattomasta teräksestä. Ruostumattomasta teräksestä valmistetut laakerit olisivat luonnollinen valintavaihtoehto, ottaen huomioon toimintaympäristön. Ruostumattomien laakerien käytöstä kuitenkin luovuttiin, koska hankinta kustannukset olisivat olleet melkein kolminkertaiset verrattuna perinteisiin laakereihin. Ruostumattomien laakerien mekaaniset ominaisuudet eivät ole kuitenkaan merkittävästi paremmat verrattuina perinteisiin laakereihin. Kokemukset ovat osoittaneet että ruostumattomien laakerien käyttöikä ei ole yhtään sen pidempi, se on jopa lyhyempi, kuin perinteisillä laakereilla. Tämän johdosta päädyimme käyttämään mustasta teräksestä valmistettuja johdelaakereita.

Laakerien korroosion sietokykyä kuitenkin paranneltiin valitsemalla sellaiset laakerit missä kiinteän voitelun lisäksi oli myös valmius ulkopuoliseen voiteluun. Voitelutoimenpide lisättiin päivittäisen pesun jälkeiseen huolto-ohjelmaan. Voitelun tarkoituksena on poistaa laakereista mahdolliset pesuainejäämät ja näin estää pesuaineen aiheuttama korroosio.

6.3 Johdelevyn uudelleen suunnittelu

Kaarilevyn tarkasteluvaiheessa huomattiin että laakerien aiheuttamat pintapaineet olivat perusmateriaalille liian isot. Tämä vuoksi kaarilevyn mitoitus tarkistettiin ja päivitettiin uusien uralaakerien kanssa yhteensopivaksi, jolloin pintapainetta saatiin hallintaan.

Johdelevyn valmistusmenetelmät pidettiin entisillään, koska se osoittautui kustannustehokkaimmaksi. Johdelevylle päätettiin toteuttaa Kolsterising® pintakäsittely, koska materiaalin perus ominaisuudet eivät vastanneet pintapaineisiin ja em. menetelmän avulla saavutetaan johdelevylle riittävä pintakovuus. Muut austeniittisille ruostumattomille teräksille tarkoitetut pintakäsittely menetelmät jätettiin pois koska ne heikensivät enemmän tai vähemmän perusmateriaalin korroosiokestävyyttä.

7 TULOKSET JA POHDINTA

Korjaustoimenpiteet onnistuivat hyvin. Johdelevyn kulumista ei ole havaittu korjaustoimenpiteen jälkeen sekä johdemekanismin säätötoiminnoista johtuvia tuotantokatkoksia ei ole esiintynyt.

Kolsterising® käsittelyyn otettiin käyttöön myös leikkuriterien osalta. Terien käsittely onnistui odotetusti ja antoi lisää säästöä, koska terien käyttöikä monikertastui. Aikaisemmin terät kävivät teroituksessa joka toinen viikko. Nykyisin terien teroitukselle tulee tarvetta vain silloin, jos terä vaurioituu. Kuitenkin Kolsterising® käsittelyssä käytetyt terät ovat teroitusta ajatelleen erittäin haastavat, koska terien pintakovuus on yli 1300 HV.

Kolsterointi on mielestäni erittäin kustannustehokas pintakäsittelymenetelmä. Se on kuitenkin teollisuudessa hyvin vähän tunnettu ja käytetty menetelmä.

LÄHTEET

1. Bodycote Oy. Ruostumattomille teräksille suoritettavat erikoisprosessit (S³P). Luettu 6.3.2017.
<http://www.bodycote.com/fi-FI/services/heat-treatment/specialty-stainless-steel-processes.aspx>
2. Bodycote Oy. Lämpökäsittely. Luettu 6.3.2017.
<http://www.bodycote.com/fi-FI/services/heat-treatment.aspx>
3. Teknologia teollisuus. Lämpökäsittelyn ohjelehdet. Luettu 6.3.2017.
http://www.sten.fi/document/1/37/119689f/muuram_4f09d35_lampokasittelyn_ohjelehdet.pdf
4. The Timken Company, 2003 Linear guide systems. Luettu 5.5.2014.
https://www.ahrinternational.com/PDF_catalogues/Nadella/EP2405En.pdf
5. Vaissi Oy:n www-kotisivut. Luettu 4.4.2017.
<http://vaissi.fi/yritys/vaissi-oy/>
6. Nadella, Linear and Modion Solutions, Linear guide system. Luettu 6.3.2017.
<http://www.ghbinroth.com/nadella/nadella-linear-guide-systems.pdf>
7. Sami Korhonen. Kandidaatintyö ja seminaari. *Ruostumattomat teräkset ja niiden soveltuvuus konepajan ohutlevytuotantoon*. Valkealassa 11.9.2010, Luettu 8.4.2017
<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/64119/nbnfi-fe201010262629.pdf?sequence=3>
8. Esko Valtanen. *Matemaattisia kaavoja ja taulukoita*. 1. painos 3/2013. Otava Kirjapaino Oy, Keuruu.
9. Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET. *Raaka-ainekäsikirja 1. Muokatut teräkset*. 3. uudistettu painos. 2001. Tammer-Paino Oy, Tampere.
10. Kivivuori Seppo. *Lämpökäsittelyoppi 2*. 2106. Tenkologiateollisuus ry.
11. Koivisto K.; Laitinen E.; Niinimäki M.; Tiainen T.; Tiilikka P.; Tuomikoski J. *Konetekniikan materiaalioppi 12.-13.painos*. 2010. Helsinki: Edita Prima Oy.
12. Airila M.; Ekman K.; Hautala P.; Kivioja S. *Koneenosien suunnittelu*. 4.-5. painos. 2010. WSOYpro Oy, Helsinki
13. Tampereen teknillinen yliopisto, Materiaaliopin laitos. Luettu 17.04.2017.
http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_2_1_7.php

14. Karkaisimo Hilamet oy. Kovuusarvojen vertailutaulukko. Luettu 17.04.2017.
<https://asiakas.kotisivukone.com/files/hilamet.tarjoaa.fi/hilametkovuustaulukko.pdf>
15. FINFOCUS INSTRUMENTS OY. Kovuusmittaus. Luettu 17.04.2017
<http://static.ecome.fi/upload/43/Kovuus%20Vickers.pdf>
16. Wikipedia. Rockwell scale. Luettu 17.4.2017.
https://en.wikipedia.org/wiki/Rockwell_scale
17. Wikipedia. Vickers hardness test. Luettu 17.4.2017.
https://en.wikipedia.org/wiki/Vickers_hardness_test
18. Wikipedia. Brinell scale. Luettu 17.4.2017.
https://en.wikipedia.org/wiki/Brinell_scale

LIITTEET

Liite 1. Kaarilevyn osapiirustus, JVL1395_40 (luottamuksellinen)

Liite 2. Nadella ohje johdelaakerien rasituslaskentaan. /5/

Liite 3. Nadella laskentaohje johdelaakerien nimelliskäyttöäälle. /5/

Liite 4. Mathcad laskelma 1 (luottamuksellinen)

Liite 5. Mathcad laskelma 2 (luottamuksellinen)

Liite 6. Vaissi Oy:n huolto ja korjaus raportti (luottamuksellinen)

Liite 1. Johdelevyn piirustus, JVL1395_40 (luottamuksellinen)

Technical features

Calculation procedure

Calculation is carried out in two steps, first defining the forces on the most heavily loaded roller and then estimating the safety factors and life.

Calculating the loads on the guide rollers

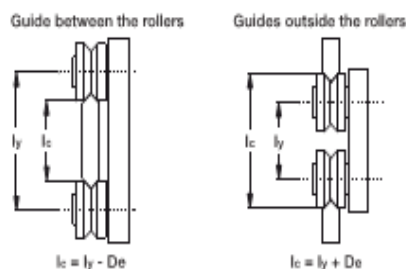
In the case of complex load situations, with forces acting in different directions, calculating the reactions on the rollers is difficult and hard to simplify.

In the event of the applied load having a direction parallel to one of the co-ordinate axes, the radial P_r and axial P_a components of the reactions on the most loaded roller can be obtained using elementary formulas.

With reference to the diagrams shown, we obtain the load components on the rollers relevant for checking and calculating the life, applying the following methods.

Angle α in the formulas is half the groove angle. Look in the dimensional table notes for the correct value.

Distance l_c is the effective contact distance. With the exception of ROLBLOC system the correct value is calculated as the guide rollers centre distance across the rail plus or minus the outer guide roller diameter D_e , depending if the guide is outside or between the rollers.



In case of ROLBLOC the distance l_c is the distance between the rails basis.

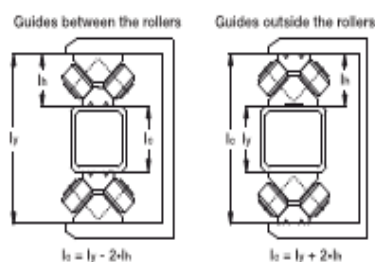
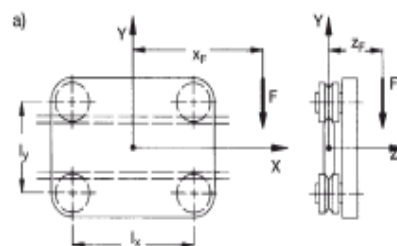


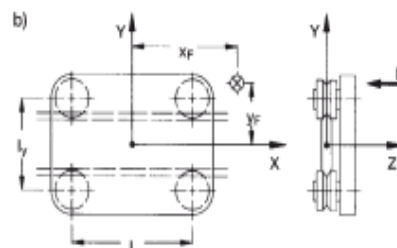
Diagram a)
load F applied parallel to axis Y



$$P_a = \frac{F \cdot z_F}{2 \cdot l_c}$$

$$P_r = \frac{F \cdot (l_x + 2 \cdot x_F)}{2 \cdot l_x} + \frac{F \cdot z_F \cdot \tan \alpha}{2 \cdot l_c}$$

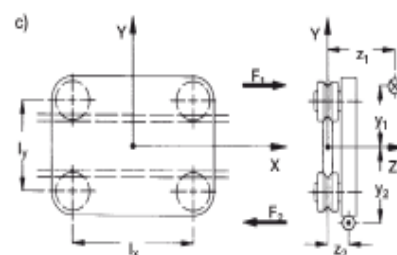
Diagram b)
load F applied parallel to axis Z



$$P_a = \frac{F}{4} + \frac{F \cdot x_F}{2 \cdot l_x} + \frac{F \cdot y_F}{2 \cdot l_c}$$

$$P_r = P_a \cdot \tan \alpha$$

Diagram c) load F applied parallel to axis X



Liite 3. Nadella laskentaohje johdelaakerien nimelliskäyttöäälle. /5/

Technical features

In this case the external load F_1 , applied at the point of co-ordinate y_1 z_1 , should be considered together with reaction $F_2 = -F_1$, applied at the point of co-ordinate y_2 z_2 . Calling Δy the absolute value of $y_2 - y_1$ and Δz the absolute value of $z_2 - z_1$, the following formula is used:

$$P_a = \frac{F_1 \cdot \Delta z}{2 \cdot l_x}$$

$$P_r = \frac{F_1}{l_x} \cdot \left(\frac{\Delta z \tan \alpha}{2} + \Delta y \right)$$

Guide roller calculation

In the table for each roller the following data is specified:

C_{Wb} basic dynamic load, it is the radial load [N] that applied to the guide roller gives 100 km nominal life*.

F_r limit radial load, it is the maximum radial load [N] that can be applied on the guide roller; for the guide wheels is the limit radial load of the wheel.

F_a limit axial load, it is the maximum axial load [N] that can be applied on the guide roller; for the guide wheels is the limit axial load of the wheel.

X and Y coefficients to define the equivalent load for bearing life.

α is the contact angle dependent on the guide roller type.

Rollers FRN..EI work as combined bearings, the basic dynamic load is defined as:

C_{Wrr} basic radial dynamic load, it is the radial load [N] that applied to the guide roller gives 100 km nominal life*.

C_{Wra} basic axial dynamic load, it is the axial load [N] that applied to the guide roller gives 100 km nominal life*.

Note*: ISO 281 states 'the nominal life will be exceeded by 90% of bearings before the first sign of material fatigue'.

Nominal life calculation

System life is the minimum life of either the bearings in the guide roller or the rail/roller contact surfaces.

For the rail/roller surface see the lubrication paragraph. For the bearings life proceed as follows.

The loads P_r and P_a are calculated for ideal condition. However, in practice, because of the structure and operating conditions a better calculation and life

estimation is performed using overload factor f_w as follows:

- 1.0 – 1.2 smooth operation at low speed at constant load without shocks
- 1.2 – 1.5 smooth operation with load variation
- 1.5 – 2.0 operation with small shocks and vibrations
- 2.0 – 4.0 high acceleration, shocks and vibrations

Once P_a and P_r has been defined we can proceed to calculate the equivalent load P_{eq} (not for FRN..EI).

$$P_{eq} = X P_r + Y P_a \quad [N]$$

Coefficients X and Y can be obtained from guide rollers tables.

In case of pure radial guide roller as PK and GC or floating bearings FRL, RAL, RKXL, RKUL.

$$P_{eq} = P_r \quad [N]$$

Nominal bearing life:

$$L_{10} = 100 \left(\frac{C_W}{P_{eq} \cdot f_w} \right)^p \quad [km]$$

Where coefficient p is:

$p = 3$ for ball bearing guide rollers
(FR..EU, RCL.., PFV.., RAL, MBL)

$p = 10/3$ for roller bearing guide rollers
(PK.., RKY, RKX, ROLBLOC, GC, FRL..)

In case of guide rollers based on needle bearings type FRN..EI nominal bearing life is calculated as the minimum between:

$$L_{10} = 100 \left(\frac{C_{Wrr}}{P_r \cdot f_w} \right)^{10/3} \quad [km]$$

and

$$L_{10} = 100 \left(\frac{C_{Wra}}{P_a \cdot f_w} \right)^{10/3} \quad [km]$$

Checking the guide roller max load

The values of the radial limit loads F_r and axial limit loads F_a shown in the catalogue refer to extreme operating conditions, meaning:

$P_a = 0$ (pure radial load)

$P_r = P_a \tan \alpha$ (maximum axial load)



Liite 4. Mathcad laskelma 1 (luottamuksellinen)

Liite 5. Mathcad laskenta 2 (luottamuksellinen)

Liite 6. Vaissi Oy:n huolto ja korjaus raportti (luottamuksellinen)