



Jouni Auvinen

HP-LINJOJEN KERAAMISTEN KANNATINRULLIEN KÄYTÖN KEHITYS

HP-LINJOJEN KERAAMISTEN KANNATINRULLIEN KÄYTÖN KEHITYS

Jouni Auvinen
Opinnäytetyö
8.4.2011
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	Liitteitä
Kone- ja tuotantotekniikka	Insinöörityö	45	+ 6
Suuntautumisvaihtoehto	Aika		
Koneautomaatio	2011		
Työn tilaaja	Työn tekijä		
Outokumpu Stainless Oy	Jouni Auvinen		
Työn nimi			
HP-linjojen keraamisten kannatinrullien käytön kehitys			
Avainsanat			
Kannatinrulla, pakkausmenetelmä			

Tämä opinnäytetyö on tehty Outokumpu Stainless Oy:n kylmävalssaamo 1:n HP2-linjalle. Työn aiheena on HP-linjojen keraamisten kannatinrullien käytön kehitys. Työssä tutkittiin keraamisten kannatinrullien pakkausmenetelmiä. Tavoitteena oli parantaa kannatinrullien kestoja kehittämällä rullanpakkausmenetelmää ja vähentää rullien keston vaihtelua.

Kannatinrullat pakataan keraamisista kuitukiekoista Tormets Oy:ssä ja kuljetetaan Outokummun tehtaalle. Kiekkotoimittajia HP2-linjalle on kaksi, japanilainen Sojitz ja saksalainen Frenzelit. Työssä tehtiin kokeita muuttamalla molempien valmistajien kiekoista pakattujen rullien pakkausmenetelmiä. Niitä vertailtiin vanhoihin pakkausmenetelmiin sekä keskenään. Lisäksi kiekoille tehtiin hehkutuskokeita laboratorioissa ja seurattiin materiaalin muutoksia.

Tuloksia tarkastellessa rullien kesto ei vielä parantunut, mutta vaihtelu pieneni. Testeillä selvitettiin oikea suunta ja piirrettiin kuvaaja, josta rullia on helppo tarkastella. Lisätesteillä löydetään varmasti oikea pakkausmenetelmä. Hehkutuskokeissa vertailtiin materiaaleja ja erona niissä oli paksuuden vaihtelu. Sojitzilla se on huomattavasti suurempi kuin Frenzelitillä.

Degree program	Thesis	Number of pages	+	Appendices
Mechanical and Production Engineering	B. Sc.	45	+	6
Line	Date			
Machine Automation	2011			
Commissioned by	Author			
Outokumpu Stainless Oy	Jouni Auvinen			
Thesis title				
Developing Ceramic Bracket Rolls of AP-Lines				
Keywords				
Bracket roll, packing method				

This thesis was commissioned by Outokumpu Stainless for their cold rolling mill 1, annealing and pickling line 2. The subject was to develop the use of the ceramic bracket rolls of their AP-lines. The purpose of this thesis was to study packing methods of ceramic bracket rolls. The aim was to improve the durability of ceramic bracket rolls by developing the packing methods. The other aim was to reduce quality fluctuations.

Bracket rolls are packed with ceramic fiber discs by Tormets Oy and then the rolls are carried to Outokumpu. There are two providers of discs for AP 2 line and they are Japanese Sojitz and German Frenzelit. Tests were performed by changing the packaging methods of both the manufacturers and then they were compared with each other as well as with the old packaging methods. In addition, some annealing tests were performed for the discs in laboratories and changes in the material were monitored.

As a result the duration of the bracket rollers was not yet improved but the variability decreased. The conclusions from the examinations were visualised in a graph to detect the impacts of the packaging methods. Additional tests will certainly show the improvement of the developed packaging method. When the results of the annealing tests were compared, the biggest difference was detected in thickness. The thickness decreased more with Sojitz discs than Frenzelit discs.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Outokumpu Stainless Oy kylmävalssaamo 1:n hehkutus-peittauslinja 2:lle. Työn ohjaajana Outokumpu Stainless Oy:ltä toimi kehitysinsinööri Juho Keskitalo ja Oulun seudun ammattikorkeakoulun puolesta lehtori Jukka Kinnula.

Haluan kiittää avusta ja tiedoista työn ohjaajia Juho Keskitaloa sekä Jukka Kinnulaa ja lisäksi Frenzelitin ja Tormetsin edustajia, hehkutus-peittauslinja 2:n työntekijöitä sekä johtajia. Kielenhuollosta kiitän lehtori Tuija Juntusta sekä lehtori Sinikka Luukkosta.

Oulussa 8.4.2011

Jouni Auvinen

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1 JOHDANTO	8
2 KERAAMIT KANNATINRULLISSA	9
2.1 Keraaminen kuitu	9
2.1.1 Rakenne	10
2.1.2 Valmistus	11
2.1.3 Terveysvaikutukset	12
2.2 Kannatinrullien tehtävä	13
2.2.1 Lujusvaatimukset	14
2.2.2 Kannatinrullien jättämät pintavirheet	19
2.3 Rullanpakkaus	20
2.3.1 Yleistä	20
2.3.2 Kannatinrullien runko	21
2.3.3 Purku ja pakkaus	23
2.4 Hehkutus-peittäuslinja 2	28
2.4.1 Prosessin kuvaus	28
2.4.2 Tuotealue	30
2.4.3 Linjan tekniset tiedot	30
3 RULLANPAKKAUSMENETELMÄT	32
3.1 Käytetyt pakkausmenetelmät	32
3.1.1 Frenzelit 3074	32
3.1.2 Sojitz 2055	32
3.2 Ehdotetut pakkausmenetelmät	32
4 TESTIRULLIEN TUTKIMUS	33
5 VERTAILU	34
5.1 Testirullat	38
5.2 Hehkutuskokeet	41
6 TULOKSET	43

7 YHTEENVETO.....	45
LÄHTEET.....	46
LIITTEET.....	47

1 JOHDANTO

Insinööriyöaihe on sovittu yhteistyössä Outokumpu Stainless Oy:n kanssa. Työ koskee keraamisten kannatinrullien käytön kehittämistä hehkutus-peittauslinjoilla, josta käytetään lyhennettä HP. Keraamista kuitua sisältäviä kannatinrullia käytetään HP-linjoilla 1, 2 ja 4. Rullia käytetään uuni- ja jäähdytysalueella teräsnauhan kannattelemiseen. Keraamiset kuiturullat on pakattu 5 mm paksuista kiekkoista, jotka puristetaan hydraulisesti yhteen akselille ja sorvataan ulkopinnaltaan tasaiseksi. (Liite 1.)

Rullien käyttöikä vaihtelee suhteellisen paljon, noin 100:sta 500 kilometriin. Rullan vaihtamisen syynä ovat useimmiten rullan aiheuttamat teräksen pinnanlaatua heikentävät tekijät. Rullan mekaaninen kuluminen ei ole määräävä vaihdon syy. Rullan pakkausmenetelmällä ja käyttöolosuhteilla vaikuttaa olevan merkitystä rullan kestoon.

Työn ensisijaisena tavoitteena on kehittää rullanpakkausmenetelmää rullan laaduntuottokyvyn ja keston parantamiseksi sekä vaihtelun pienentämiseksi. Muita tavoitteita on vertailla eri kannatinrullamateriaaleja keskenään.

Työ on rajattu koskemaan pääasiassa HP2:n kannatinrullia ja myös työn kokeellinen osa tehdään tällä linjalla. HP2:lla käytetään kahden eri valmistajan, Frenzelitin ja Sojitzin kiekkoja, joten työssä keskitytään vain niihin.

2 KERAAMIT KANNATINRULLISSA

2.1 Keraaminen kuitu

Frenzelitin kiekoissa käytettävä keraaminen kuitu kuuluu Isoplan-tuoteperheeseen. Isoplan koostuu biohajoavasta erikoisaineesta, mineraaleista ja kuituvillasta. (Kuva 1.) Näihin lisätään sopiva täyte- (kuva 2) sekä sideaine (kuva 3). Tuloksena on materiaali, jolla on korkea lämmönkesto, matala lämmönjohto ja hyvät eristysominaisuudet. (1.)



KUVA 1. Kuituja (2. s. 2)



KUVA 2. Täyteaine (2. s. 2)



KUVA 3. Sideaine (2. s. 2)

Kuidut ja sideaineet ovat sekä orgaanisia että epäorgaanisia ja täyteaine on epäorgaanista. Epäorgaaniset aineet palavat lämpötilan ollessa 300 - 400 °C. Sintraantuminen eli aineen kiinteytyminen tapahtuu eri Isoplan-materiaalista riippuen 600 - 1 300 °C. Sintraantuminen vaikuttaa myös materiaalin kovuuteen. Kovuus laskee lämpötilan noustessa noin 400 - 500 °C:seen ja alkaa sen jälkeen taas nousta. Kovimmillaan aine on noin 100 °C ja 1 300 °C:n lämpötilassa. Käytännössä täytyy kokeilemalla etsiä sopiva kovuus käytettävään lämpötilan, eli tässä tapauksessa uunin lämpötilassa, joka on korkeimmillaan 1 200 °C. (2, s. 2; 3, s. 2) Tyypillisiä käyttökohteita keraamisille kuiduille ovat korkea lämmönkestoa vaativat olosuhteet kuten terästeollisuus, valimot, teollisuusuunien ja kattiloiden valmistus, tulenkestävät ovet, lämmitys- ja kuivauslaitteet, koneiden ja laitteiden valmistus, sähkölaitteet ja lasiteollisuus. (1.)

2.1.1 Rakenne

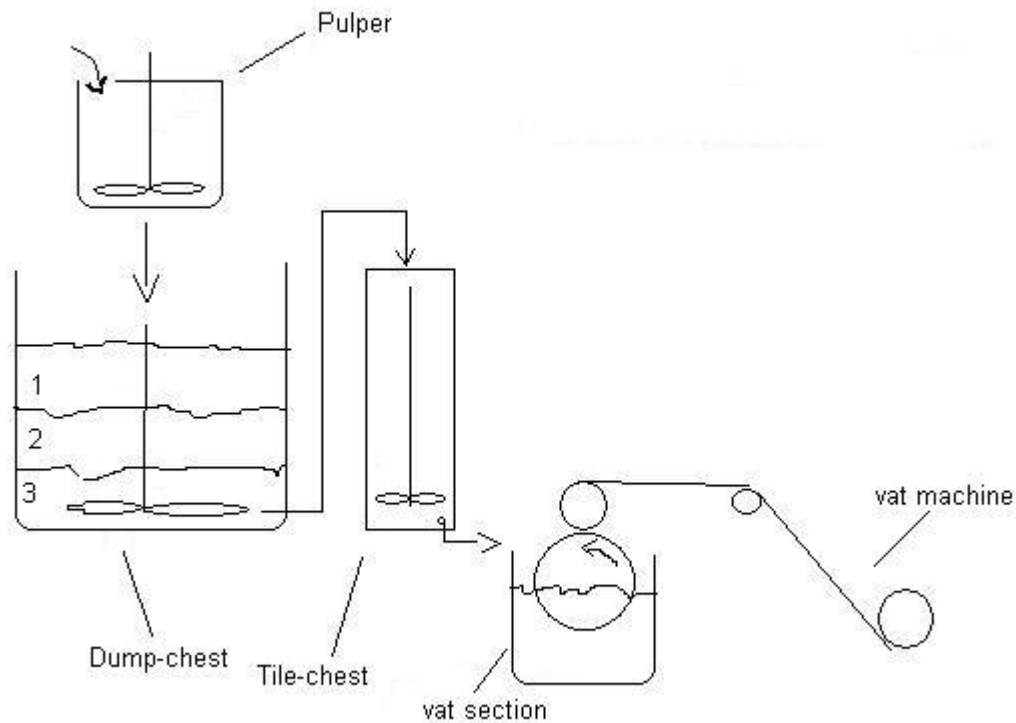
Kannatinrullien keraaminen kuitu on monikiteistä ja sisältää seuraavia aineita (4, s, 125):

- SiO_2 : 30 - 50 %
- Al_2O_3 : 20 - 40 %
- CaO : 5 - 10 %
- MgO : 10 - 15 %
- muut: 1 - 3 %.

Rakeiset materiaalit muodostavat kiinteitä kappaleita siten, että rakeet kiinnittyvät toisiinsa sintrauksessa tapahtuvien massansiirtoprosessien välityksellä. Prosessilämpötilat ovat yli 1 000 °C ja ne riippuvat käytetystä materiaalista ja halutusta lopputuotteesta. (4, s. 215.)

2.1.2 Valmistus

Kuvassa 4 on esitetty Frenzelitin keraamisten kuitukiekkojen valmistusprosessi. Prosessi alkaa pulpperista (pulper), jossa möyhennetään kuidut, side- ja täyteaineet veden kanssa. Pulppereita on 3, joista möyhennetyt aineet kaadetaan kaatokirstuun (dump-chest). Kaatokirstussa numerot tarkoittavat eri aineita, eli kuituja, täyte- ja sideaineita. Aineet sekoitetaan veden kanssa ja pumpataan laattakirstuun (tile-chest). Laattakirstussa sekoitettu aine on vielä juoksevaa. Seuraavaksi aine pumpataan altaaseen (vat section). Altaassa pyörii rulla, joka on noin puoliksi upotettuna aineeseen ja puoliksi pinnan yläpuolella. Rullaan tarttuu ainetta kiinni ja kun ainetta on 5 mm paksusti, se jatkaa matkaansa kuljettimilla kohti kuivausta. Kuivuneesta aineesta leikataan 2 m * 2 m kokoisia levyjä. Sitten levyistä leikataan kannatinrulliin sopivia kiekkoja. (5.)



KUVA 4. Frenzelitin keraamisten kuitukiekkujen valmistusprosessi (5)

Tarkempaa prosessinkuvausta Frenzelitin edustaja ei kertonut, etteivät mahdolliset kilpailijat siitä hyödy. Sojitz ei ole ilmoittanut valmistusprosessistaan.

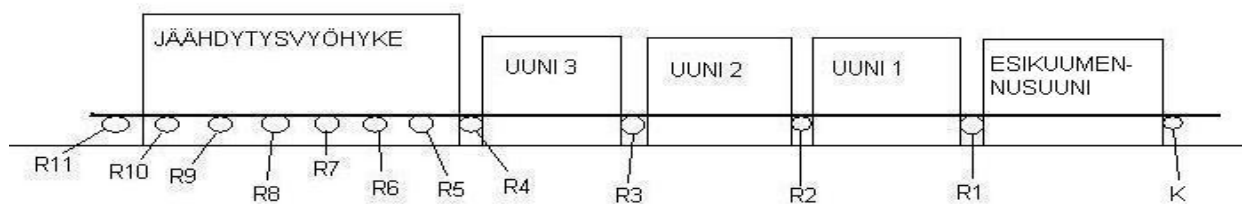
2.1.3 Terveysvaikutukset

Kannatinrullissa käytettävä keraaminen kuitu on myrkyllistä. Kosketuksessa se saattaa ärsyttää ihoa, silmiä ja hengityselimiä. Se voi myös lisätä jo olemassa olevien tautien oireita ja sairauksia, kuten muutkin pölyt. Hengitettynä keraaminen kuitu on luokiteltu syöpää aiheuttaviin aineisiin luokkaan 2, direktiivin 97/69/EC:n mukaan. "Aineet, joihin on suhtauduttavaniin kuin ne olisivat ihmiselle syöpää aiheuttavia.". (2, s. 3.) Outokumpu Stainless Oy:llä ja Tormets Oy:llä tähän on varauduttu kuitupölyn leviämisen ehkäisemisellä sekä tarvittavilla suojarusteilla ja ohjeilla.

2.2 Kannatinrullien tehtävä

Kannatinrullien tehtävä on kannatella teräsnauhaa uuni- ja jäähdytysvyöhykkeillä. Rullasta ei saa jäädä jälkiä nauhan pintaan. Jälkiä syntyy helpoiten lämpötilan ollessa korkea, koska silloin teräs on pehmeämpää. HP2:lla kannatinrullia on 11 kappaletta, joista 4 uuni- ja 7 jäähdytysvyöhykkeellä. Kannatinrullat sijaitsevat uunien väleissä ja päissä.

Kuvassa 5 R1 - R11 tarkoittavat revolvereita 1 - 11. Kannatinrullat ovat kiinni revolvereissa (kuva 6).

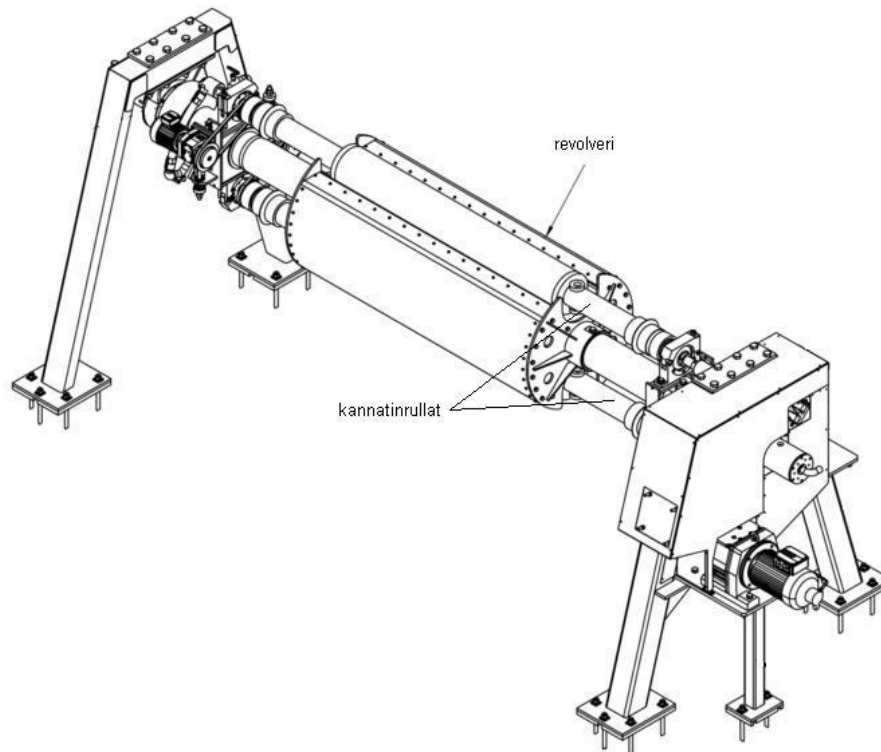


KUVA 5. Periaatekuva uuneista sekä jäähdytysvyöhykkeestä

Pituus esikuumennusuunin edessä olevalta rullalta K revolverille 1 on 21,895 m. R1 - R2, R2 - R3 sekä R3 - R4 pituus on 17,52 m. R4 - R5 on 5,14 m, R5 - R6, R6 - R7 sekä R7 - R8 5,1 m, R8 - R9 5,115 m, R9 - R10 sekä R10 - R11 6,2 m.

Esikuumennusuunissa lämpötila on noin 900 °C, uunissa 1 noin 1 150 °C, uunissa 2 ja 3 1 160 — 1 190 °C. Nauhan lämpötilaa mitataan revolvereiden 3 ja 4 kohdalta, R3:n kohdalla noin 1 090 °C ja R4:n 1 140 °C. Uunien lämpötiloja vaihdellaan teräslaatuja mukaan ja esimerkiksi ferriittisillä laaduilla lämpötilat ovat huomattavasti alemmat. Yllä esitetyt korkeimmat lämpötilat ovat normaalien austeniittisten teräslaatuja käsittelylämpötiloja.

Kannatinrullat ovat kiinni revolvereissa sekä ylä että alapuolella, kuten kuvassa 6. Yläpuolella oleva on linjassa ja alapuolella oleva käännetään ylös tarvittaessa. Kun revolveria on käännetty, alapuolelle vaihdetaan uusi rulla, joka käännetään ylös, kunnes linjassa oleva rulla on vaurioitunut.



KUVA 6. Revolveri kannatinrullineen (6)

2.2.1 Lujuusvaatimukset

Lasketaan mekaaniset maksimirasitukset uunialueen kannatinrullille 1 - 5. Linjalla voidaan ajaa 0,4 - 3 mm paksuja ja 0,8 - 1,6 m leveitä rullia. Laskuissa käytetään 3 mm paksua ja 1 600 mm leveää nauhaa, jolloin rulliin kohdistuu maksimirasitus. Uunin riippumaa ei ole otettu huomioon.

Taulukossa 1 numerot tarkoittavat revolvereita 1 - 6 ja K on rulla esikuumennusuunin etupuolella.

TAULUKKO 1. Tarvittavat mitat

rulla	pituus/m
K - 1	21,895
1 - 2	17.52
2 - 3	17.52
3 - 4	17.52
4 - 5	5.14
5 - 6	5.1

Ruostumattoman teräksen tiheys on $\rho = 8,0g / cm^3$. Laskuissa käytetään kaavoja 1 - 4, joissa s tarkoittaa rullaa rasittavaa pituutta, l leveyttä ja h paksuutta. Kiihtyvyytenä a voidaan käyttää maan vetovoimaa g, joka on $9,81 (m / s^2)$.

Rullaa rasittava pituus lasketaan kaavalla 1.

$$s = \frac{x_1}{2} + \frac{x_2}{2}$$

KAAVA 1

x_1 = matka kannatinrullalta seuraavalle (m)

x_2 = matka kannatinrullalta edelliselle (m)

Teräsnauhan tilavuus lasketaan kaavalla 2.

$$V = slh$$

KAAVA 2

s = rullaa rasittava pituus (m)

l = leveys (m)

h = paksuus (m)

Kaavalla 3 lasketaan teräsnauhan massa.

$$m = \rho V \quad \text{KAAVA 3}$$

ρ = tiheys (g / cm³)

V = tilavuus (m³)

Kannatinrullaa rasittava voima lasketaan kaavalla 4.

$$F = ma \quad \text{KAAVA 4}$$

m = massa (kg)

a = kiihtyvyys (m / s²)

Lasketaan mekaaniset maksimirasitukset rullille 1 - 6. Kannatinrulla 1:stä rasittava pituus lasketaan kaavalla 1.

$$s = \frac{21,895m}{2} + \frac{17,52m}{2} = 19,71m$$

Sijoitetaan saatu arvo, leveys ja paksuus kaavaan.

$$V = slh = 19,71m * 1,6m * 0,003m = 0,0946m^3$$

Sijoitetaan tiheys ja tilavuus kaavaan 3.

$$m = \rho V = 8000kg/m^3 * 0,0946m^3 = 756,8kg$$

Sijoitetaan massa kaavaan 4.

$$F = ma = 756,8\text{kg} * 9,81\text{m/s}^2 = 7424,2\text{N} \approx 7,4\text{kN}$$

Kannatinrullaa 1 rasittava maksimivoima on 7,4 kN. Seuraavaksi lasketaan rullat 2 – 3, nämä voidaan laskea samoilla arvoilla, koska rasittavat pituudet ovat molemmilla samat. Lasketaan rullia rasittava pituus kaavalla 1.

$$s = \frac{17,52\text{m}}{2} + \frac{17,52\text{m}}{2} = 17,52\text{m}$$

Sijoitetaan saatu arvo, leveys ja paksuus kaavaan 2.

$$V = slh = 17,52\text{m} * 1,6\text{m} * 0,003\text{m} = 0,0841\text{m}^3$$

Sijoitetaan tiheys ja tilavuus kaavaan 3.

$$m = \rho V = 8000\text{kg/m}^3 * 0,0841\text{m}^3 = 672,8\text{kg}$$

Sijoitetaan massa kaavaan 4.

$$F = ma = 672,8\text{kg} * 9,81\text{m/s}^2 = 6600,2\text{N} \approx 6,6\text{kN}$$

Rullille 2 – 3 saatiin tulokseksi 6,6 kN. Kannatinrulla 4:n jälkeen alkaa jäähdytysvyöhyke, jossa rullat ovat tiheämmin kuin uunissa (kuva 5). Lasketaan kannatinrulla 5:sta rasittava pituus kaavalla 1.

$$s = \frac{17,52\text{m}}{2} + \frac{5,14\text{m}}{2} = 11,33\text{m}$$

Sijoitetaan saatu arvo, leveys ja paksuus kaavaan 2.

$$V = slh = 11,33\text{m} * 1,6\text{m} * 0,003\text{m} = 0,0544\text{m}^3$$

Sijoitetaan tiheys ja tilavuus kaavaan 3.

$$m = \rho V = 8000 \text{ kg/m}^3 * 0,0544 \text{ m}^3 = 435,2 \text{ kg}$$

Sijoitetaan massa kaavaan 4.

$$F = ma = 435,2 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 4269,3 \text{ N} \approx 4,3 \text{ kN}$$

Tuloksena rullalle 4 saatiin 4,3 kN. Kannatinrulla 5 on jäähdytysvyöhykkeellä, jossa mekaaninen rasitus on huomattavasti pienempi kuin uunialueella. Lasketaan kannatinrulla 5:sta rasittava pituus kaavalla 1.

$$s = \frac{5,14 \text{ m}}{2} + \frac{5,1 \text{ m}}{2} = 5,12 \text{ m}$$

Sijoitetaan saatu arvo, leveys ja paksuus kaavaan 2.

$$V = slh = 5,12 \text{ m} * 1,6 \text{ m} * 0,003 \text{ m} = 0,0246 \text{ m}^3$$

Sijoitetaan tiheys ja tilavuus kaavaan 3.

$$m = \rho V = 8000 \text{ kg/m}^3 * 0,0246 \text{ m}^3 = 196,8 \text{ kg}$$

Sijoitetaan massa kaavaan 4.

$$F = ma = 196,8 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 1930,6 \text{ N} \approx 1,9 \text{ kN}$$

Kannatinrullaa 5 rasittava voima on 1,9 kN. Tuloksista nähdään, ettei mekaaninen rasitus ei ole rullaa liiallisesti kuluttava, koska eniten rullia vaihdetaan revolveri 4:lle ja revolveri 3:lle. Revolveri 4 on kuumin paikka ja toiseksi kuumin on revolveri 3, joten kuumuus kuluttaa rullia eniten. Kuumissa paikoissa myös teräksen lämpötila suurin, jolloin sen lujuus ja kovuus ovat matalimmillaan. Tällöin nauhaan syntyy

helposti pintavirheitä ja rullia joudutaan vaihtamaan useammin, koska pienetkin viat laskevat teräsnauhan käyttötarkoistusta, jolloin siitä saataisiin huonompi hinta.

2.2.2 Kannatinrullien jättämät pintavirheet

Kannatinrullien jättämät yleisimmät pintavirheet ovat painumat (kuva 7). Ne syntyvät, kun kannatinrullan pintaan ilmaantuu tasomaisia poikkeamia. Kannatinrullat kuluvat joskus toisesta päästä ohuemmaksi tai jopa soikeaksi. Soikeus huonontaa teräsnauhan tasomaisuutta. Soikeus voi aiheutua rullan epätasaisesta kovuudesta tai vääntyneestä rullasta. Soikeus on kuitenkin paljon harvinaisempaa kuin painumat. Mikäli kannatinrulla on jumittunut tai kulunut niin paljon, että kiekkojen väliset foliot tulevat esiin, voi folioista jäädä naarmua teräsnauhan pintaan. Kiekoista ja folioista kerrotaan seuraavassa luvussa.



KUVA 7. Kannatinrullan painuma

2.3 Rullanpakkaus

2.3.1 Yleistä

Kannatinrullat pakataan Tormetsilla, josta ne kuljetetaan kuorma-autoilla Outokummun tehtaalle. Materiaalina rullissa käytetään keraamisia kuitukiekköjä, joiden paksuus on 5 mm (+-10%), sisähalkaisija 161 mm ja ulkohalkaisija 300 mm. (7, s. 3). Kuvassa 8 nähdään Frenzelitin kuitukiekkö.



KUVA 8. FR 3074, keraaminen kuitukiekkö

Kiekot varastoidaan lämpimiin ja kuiviin tiloihin. Varastona käytetään Tormetsin tiloja. Tormets seuraa kiekkomäärän tilannetta ja ilmoittaa Outokummulle, mikäli kiekkoja tarvitaan lisää. Kiekoille suoritetaan silmämääräinen tarkistus ja pistokokeita halkaisijoille. 1 / 10 000 kiekosta toimitetaan laboratorioon testeihin. (7, s. 3.)

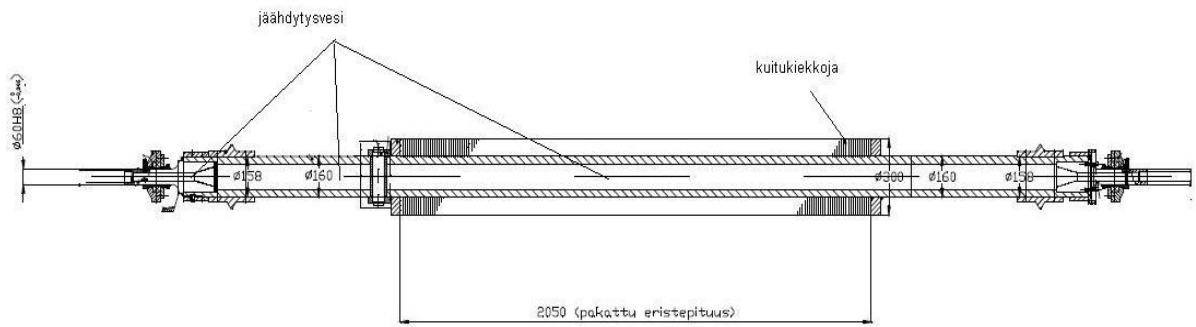
Kiekkojen välissä käytetään metallifoliokiekkoja lämmönsiirron parantamiseksi (kuva 9). Metallifolioita käytetään eri tavalla eri valmistajan kiekkoilla. Frenzelit metallifoliokiekon ulkohalkaisija on 230 mm, sisähalkaisija 161 mm ja paksuus 0,05 mm. Näitä pakataan joka kolmannen kuitukiekon väliin. Sojitz metallilevyn ulkohalkaisija on 211 mm, sisähalkaisija 161 mm ja paksuus 0,08 mm. Näitä pakataan joka toisen kuitukiekon väliin.



KUVA 9. Kiekkojen välissä käytettäviä metallifolioita

2.3.2 Kannatinrullien runko

Kuvassa 10 nähdään leikkaus kannatinrullan cad-kuvasta. Rungon halkaisija on 160 mm ja sen sisällä kulkee vesi jäähdytysaineena. Pituus laakeriryksiköiden välillä 4 170 mm. Rullassa on laakerit ja ohjausholkit molemmissa päissä. Toisessa päässä rullaa on hammashihnapyörä. Rullaa pyörittää sähkömoottori hammashihnan avulla. (7, s. 3.)



KUVA 10. Periaatekuva kannatinrullasta (8)

Helmikuussa 2011 kahden kannatinrullan laakeriryksiköiden kiinnitystapaa muutettiin. Kuvassa 11 vanha kiinnitystapa ja kuvassa 12 uusi. Kuvassa 11 nähdään kuinka laakeriryksikön kiinnitysruuvit ovat pureutuneet rullan akseliin ja syöneet akselia. Muutos tehtiin rullaan vapaaseen pätyyn, siihen pätyyn, missä ei ole vetävää hihnaa. Hihnan päädyssä ongelmia ei ole ollut, joten ei ole syytä vaihtaa kiinnitystapaa.



KUVA 11. Kannatinrullan laakeriryksikkö, vanha kiinnitystapa

Muutoksella testataan, onko laakeriyksikön kiinnityksellä vaikutusta rullien keston ja soikeuteen. Kuvassa 11 näyttää, että kuusiokoloruuvit pureutuvat runkoon ja voivat vääntää rullan akselia. Uudella kiinnitystavalla testataan, pysyykö laakeriyksikkö suorassa akseliin nähden. Uusi kiinnitystapa on tukevampi ja puristava pinta-ala on suurempi kuin vanhassa. Vanhassa se on ruuvin kärki ja uudessa suorakulmion muotoinen, kuten kuvassa 12 näkyy.



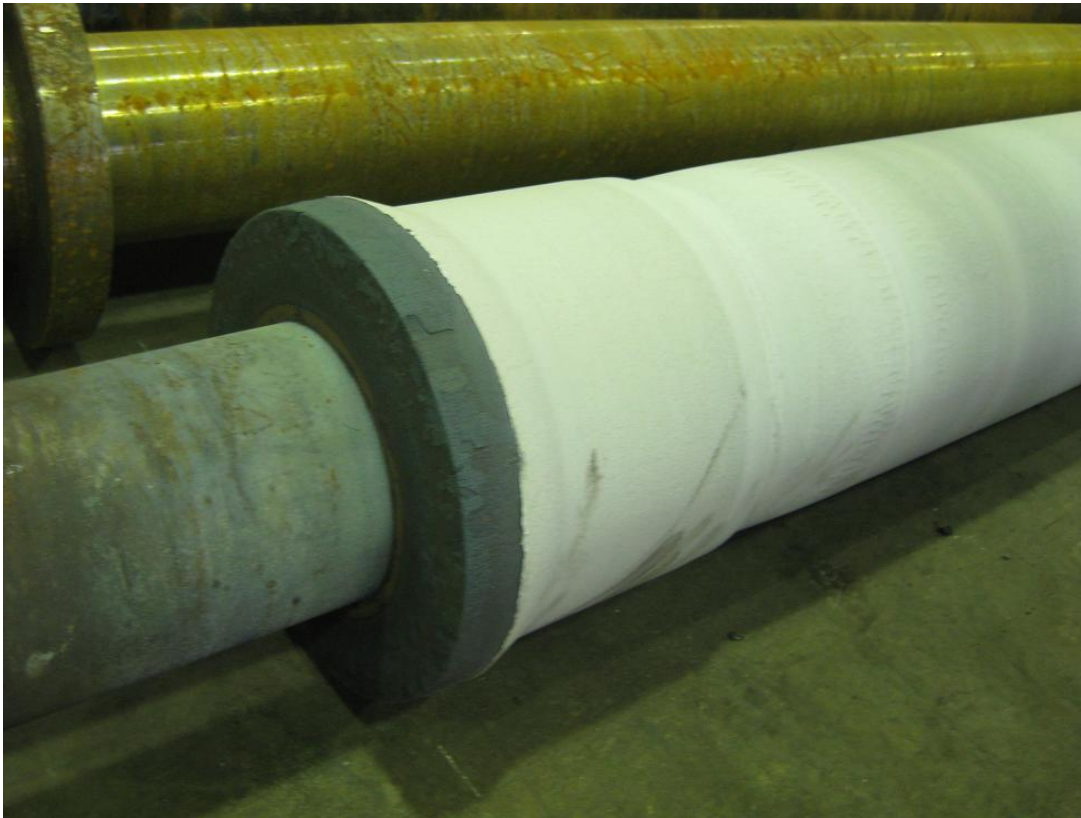
KUVA 12. Kannatinrullan laakeriyksikkö, uusi kiinnitystapa

2.3.3 Purku ja pakkaus

Käytetyt kannatinrullat toimitetaan Tormetsille, jossa ne joko sorvataan tai puretaan ja pakataan uudestaan. Sorvausta käytetään, jos rulla voidaan sorvata vähintään

250 mm paksuksi. Tällä hetkellä sovittu minimihalkaisija HP2:lla on 250 mm. Joskus sorvausta ei voida tehdä uudelleen materiaalin ominaisuuksien vuoksi, esimerkiksi pinta lohkeilee tai muuten oireilee sorvatessa.

Kuvan 13 kannatinrulla on kulunut reunalta, se voidaan sorvata, mikäli halkaisija pysyy yli 250 mm:ssä. Jos rulla puretaan, se aloitetaan laittamalla runko telineeseen ja sitten irroitetaan lukitustappi ja päätylaippa. Sitten irrotetaan kiekot ja puhdistetaan runko. Tarvittaessa runko myös hiotaan. (7, s. 6.)



KUVA 13. Käytetty kannatinrulla

Kuvan 14 keskellä on purettuja ja puhdistettuja kannatinrullien runkoja. nyt rullat ovat valmiita pakattaviksi. Kannatinrullien runkojen kuntoa valvoo Tormets. (7, s. 3.)



KUVA 14. Purettuja rullia keskellä

Kuvassa 15 on rullanpakkaus meneillään. Kiekot ladotaan puhdistetulle kannatinrullan rungolle käsin, pieninä paketteina toisiaan vasten. Vuorotellen kuituja metallikiekkoja. Imuri imee kuitupölyn. (7, s. 5.)



KUVA 15. Rullanpakkaus meneillään

Puristus tehdään 80 tonnin puristusvoimalla 5 minuutin ajan, jonka jälkeen puristus vapautetaan ja lisätään tarvittaessa kiekkoja. Kuvassa 16 nähdään puristuksessa käytettävä hydraulinen puristin. Nykyään puristus on toistettu niin usein, kunnes akselille on saatu riittävä määrä kiekkoja (kappaleita tai kg). (7, s. 5.)



KUVA 16. Rulla puristetaan hydraulisesti

Kun kiekot on puristettu, lukitaan rulla laipalla ja tapilla (kuva 17). Tappi hitsataan kiinni laippaan. (7, s. 5.)



KUVA 17. Lukituslaippa ja -tappi paikallaan

Pakkaukseen tai uudelleensorvaukseen tulevien rullien pinta sorvataan sileäksi ja hyväksi. Sorvaus suoritetaan erillisellä hiotulla pikaterästerällä. Lopuksi pinta viimeistellään puhdistamalla sekä painorullauksella. (7, s. 6.) Kuvassa 18 sorvaus on käynnissä.



KUVA 18. Sorvausta

Sorvauksen jälkeen rullat suojataan muovikelmulla ja nostetaan telineeseen, jolla rullia kuljetetaan. Pakkauksen päälle kirjoitetaan kiekkoerän sarjanumero sekä saapumispäivä. Tiedot kirjataan myös seurantaraporttiin, josta ilmenee kannatinrullan numero, kasauspvm., sekä käytetty kiekkoerä. Näin voidaan seurata kiekkojen kestoa. (7, s. 7.) Kuvassa 19 nähdään valmiita rullia.



KUVA 19. Valmiit rullat telineessä kuljetettavaksi Outokummun tehtaalle

2.4 Hehkutus-peittauslinja 2

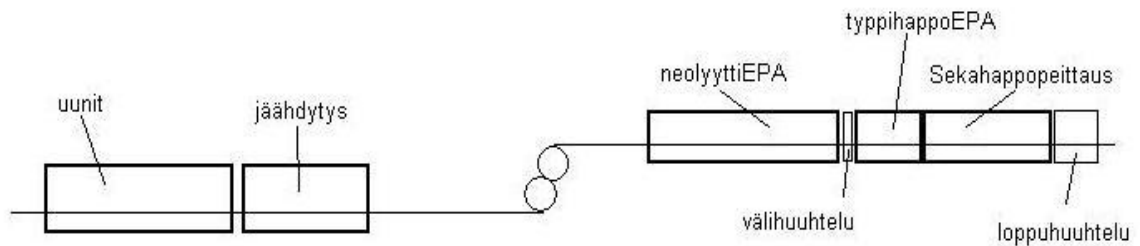
2.4.1 Prosessin kuvaus

Hehkutus- ja peittauslinjan tehtävänä on poistaa kylmävalssauksessa syntynyt muokkauslujittuminen, tehdä teräksen mikrorakenne tasaiseksi ja poistaa hehkutuksessa syntynyt oksidikerros nauhan pinnasta sekä passivoida pinta korroosiota kestäväksi. (9.) Linja voidaan jakaa karkesasti kolmeen osaan: alkupäähän, prosessiosaan ja loppupäähän.

Alkupäässä on kaksi aukikelainta, toinen on prosessipuolella ja toinen romutuspuolella. Kelaimet ovat kiinni pyörähtävässä revolverissa, joka pyöräytetään aina, kun uusi rulla laitetaan linjaan. Alkupään tehtäviin kuuluvat, rullan pujotus, romutus sekä hitsaus. Hitsauksen jälkeen teräsnauha menee rasvanpoiston läpi, jossa siitä puhdistuu rasva/öljy pois. Rasvanpoiston jälkeen nauha jatkaa varaajaan, joka on n. 430 m pitkä. Ajallisesti varaajan pituus riippuu ajonopeudesta, maksiminopeudella $430 \text{ m} / 80 \text{ m/min} = 5,37 \text{ min}$. Varaajan ansiosta prosessiosaa ei tarvitse pysäyttää teräsnauhoja hitsatessa kiinni toisiinsa. Hitsaus suoritetaan automaattisella vastuskiekkohitsauskoneella. Varaajan jälkeen alkaa prosessiosa.

Prosessiosassa teräsnauha menee uuniin hehkutettavaksi ja sitten jäähdytys- ja peittäusvyöhykkeelle, eli kuvassa 20 vasemmalta oikealle. Uuneja on esikuumennusuuni ja 3 hehkutusuunia. Hehkutusuunin 3 lopussa teräsnauhan lämpötila nousee $1\ 050 - 1\ 150 \text{ °C}$:seen teräslaadun mukaisesti. Uunissa teräsnauhan rakenne tasaantuu ja siinä palautetaan kylmävalssauksessa muuttuneet materiaaliominaisuudet sekä saavutetaan haluttu raekoko ja mekaaniset ominaisuudet.

Seuraavaksi tulee jäähdytysvyöhyke ja siellä nauha pyritään saamaan alle 100 °C :ksi. Jäähdytyksen jälkeen teräsnauha jatkaa matkaa peittaukseen. Peittauksessa nauhan pinnasta liuotetaan oksidi- ja kromiköyhä kerros. HP2:lla on 3 erilaista peittäystä, neutraali elektrolyyttipeittäus, typpihappoelektrolyytti- ja sekahappopeittäus. Erilaatuisilla teräksillä käyteen erilaisia peittäuksia. Esim. typpihappoelektrolyyttipeittäystä käytetään tietyillä ferriittisillä laaduilla. Neutraalin elektrolyyttipeittauksen ja typpihappopeittauksen välissä on välihuuhtelu, joka huuhtelee nauhan pinnasta elektrolyyttiliuoksen pois. Sekahappopeittauksen jälkeen on loppuhuuhdeltu, joka huuhtelee nauhasta happojen jäämät pois.



KUVA 20. Prosessiosan periaatekuva

Peittausvöhykkeen jälkeen teräsnauha jatkaa matkaa loppupäähän. Loppupäässä on varaaja, tarkastajan paikka, loppupään leikkuri sekä päällekelain. Varaaja on 250m pitkä, maksiminopeudella $250 \text{ m} / 80 \text{ m/min} = 3,125 \text{ min}$. Varajan ansiosta prosessia ei tarvitse pysäyttää rullaa tarkastaessa tai linjasta pois ottamisen aikana.

2.4.2 Tuotealue

Hp 2:lla ajetaan austeniittista, austeniittis-ferriittistä sekä ferriittistä kylmänauhaa. Suurin osa ajettavista rullista on austeniittisiä. Austeniittisiin kuuluvat myös mangaani- ja titaanilaadut Duplex-treäkset kuuluvat austeniittis-ferriittisiin. Ferriittiset ovat halvempia kuin austeniittiset laadut ja niiden valmistus on lisääntynyt viime vuosina. Ferriittinen laatu BB on pinnaltaan peilimäistä, jolloin siitä huomaa erittäin helposti virheet, esimerkiksi kannatinrullien jättämät jäljet.

2.4.3 Linjan tekniset tiedot

Seuraavassa esitetään HP2-linjan tekniset tiedot (8):

- tuotantokapasitetti on 300 000 (t/a)
- valvomoita 2 kappaletta
- henkilöstöä 5 vuorossa
- kylmänauhan paksuusalue on 0,4 - 3,0 mm
- nauhan leveysalue on 950 - 1 630 mm
- linjan max. nopeus on 80 m/min

- vastuskiekkohitsauskone
- linjan kokonaispituus on 380 m
- alkupään varaaja on 430 m pitkä
- loppupään varaaja on 250 m pitkä.

HP2-linjaan kuuluvan uunialueen tiedot ovat seuraavat (8):

- esikuumennusuunin pituus on 20 m
- kolmen hehkutusuunin pituus yhteensä on 45 m
- jäähdytysvyöhykkeen pituus on 39,6 m
- uunien polttoaineena käytetään propaania
- nauhan loppulämpötila on 1 050 - 1 150 °C
- Kannatinrullamateriaalina käytetään keraamista kuitua
- Jäähdytysaineena ilma, vesijäähdytyskin on tulossa

3 RULLANPAKKAUSMENETELMÄT

3.1 Käytetyt pakkausmenetelmät

HP2-linjalla käytetään nykyään kahta eri kiekkotoimittajaa, Frenzelit ja Sojitz. Molemmille on erilaiset pakkausmenetelmät.

3.1.1 Frenzelit 3074

Rullalle pakataan 573 kappaletta kiekkoja ja joka kolmanteen väliin metallilevy. Kuitukiekkojen ulkohalkaisija on 300 mm, sisähalkaisija 161 mm ja paksuus 5 mm (+-10%). Metallilevyjen ulkohalkaisija on 230 mm, sisähalkaisija 161 mm ja paksuus 0,05 mm. Rullat sorvataan $\varnothing_{nim.} = 300$ mm:ksi ja viimeistellään painorullauksella.

3.1.2 Sojitz 2055

Rullalle pakataan 680 kpl kiekkoja ja joka toiseen väliin metallilevy. Kuitukiekkojen ulkohalkaisija on 300 mm, sisähalkaisija 161 mm ja paksuus 5 mm (+-10%). Metallilevyjen ulkohalkaisija on 211 mm, sisähalkaisija 161 mm ja paksuus 0,08 mm. $\varnothing_{nim.} = 300$ mm ja minimihalkaisija 250 mm. Rullat viimeistellään painorullauksella.

3.2 Ehdotetut pakkausmenetelmät

Tutkimuksella selvitettäväksi ehdotettiin (3, s. 5-6)

- rungolle täytettävän kiekkomäärän muuttaminen ja sopivan kovuuden löytäminen
- käyttökertojen ja -iän optimointi metalliekkojen mittojen muutoksella
- käyttöiän pidentäminen tiukentamalla kiekon ja akselin välistä toleranssia
- kannatinrullan jäähdytyksen parantaminen lisäämällä metallisten välikiekkojen määrää.

4 TESTIRULLIEN TUTKIMUS

Jatkossa alettiin pakata testirullia kiekkojen massan mukaan. Tutkimuksessa keskityttiin revolvereihin 3 ja 4, koska niissä rullia kuluu eniten.

Ensin pakattiin Frenzelitin rulliin 130 kg kiekkoja ja foliot kuten ennen. 130 kg testirullia ajettiin 8 kappaletta, joista 1 pystyttiin sorvata. Sorvattu rulla ei käynyt linjassa, koska se oli kolhittu. Tuloksia on liitteessä 2/1. Seuraavaksi kiekkoja pakattiin 135 kg. 135 kg rullia ajettiin 10 kappaletta ja näistäkin sorvattiin vain yksi (liite 2/2). Kun tämäkään kiekkomäärä ei riittänyt, pakattiin kiekkoja rullille 140 kg. 1 rulla pystyttiin sorvata, joten sorvattavuus näillä on huonoa. Tuloksia on liitteessä 2/3.

Sojitzin rulliin aloitettiin pakkaamaan 138 kg kiekkoja. Näitä rullia ajettiin vain 3 kappaletta, koska ne eivät kestäneet pitkään (liite 3/1). Sorvattavuus oli hyvää, koska 2/3 voitiin sorvata. Seuraavaksi pakattiin 5:een rullaan 145 kg kiekkoja. Näillä tulokset näyttäisivät paranevan (liite 3/2). Yksi rulla sorvattiin, mutta ei ehditty ajaa.

Kiekoille tehtiin myös laboratoriokokeita Oamk:n laboratoriossa. Kokeet suoritettiin Outokummun ohjeen mukaisesti (liite 4). Kiekoista laitettiin palat uuniin hehkuttamaan 5 tunniksi. Hehkutuskokeita tehtiin 3:ssa eri lämpötilassa, 1 200 °C, 1 100 °C ja 900 °C. Kokeilla mitattiin kiekkojen fyysisiä muutoksia (liite 5). Liitteessä 6 on Outokummun laboratoriotuloksia, joita voi verrata Oamk:lla saatuihin tuloksiin.

5 VERTAILU

Vertailtiin rullien kestoja revolvereissa 3 ja 4. Kuvien 21 - 24 kuvaajissa x-akselilla on kannatinrullien lukumäärä ja y-akselilla ajokilometrit. Sorvatuista rullista puristuspainetta ei mitattu, mutta se pienenee, koska kiekot kutistuvat uunissa.

Kiekkojen hinnoissa on melko suuri ero. Sojitzin kiekot maksavat noin 40 % enemmän kuin Frenzelitin kiekot. Jos molemmat kestävät samat kilometrit, tulisi Frenzelit paljon edullisemmaksi. Täytyy myös ottaa huomioon, miten ne kestävät sorvausta. Mikäli Sojitz kestää ja Frenzelit ei, silloin Sojitz tulisi edullisemmaksi.

Lasketaan kilometrille hinta, kun oletetaan, että molempien valmistajien rullat kestävät 200 km. Frenzeliteistä voidaan sorvata 25 % ja Sojitzeista 50 %. Kiekkojen hinnat, Frenzelit x ja Sojitz $1,4x$. Frenzelitin rullassa 573 kpl kiekkoja ja Sojitzissa 680 kpl.

Seuraavassa on laskettu rullien hinnat:

- Frenzelit: $x * 573 = 573x$
- Sojitz: $1,4x * 680 = 952x$.

Kilometrit voidaan kertoa sorvausprosentteilla, jolloin saadaan keskimääräinen käyttöikä kilometreina:

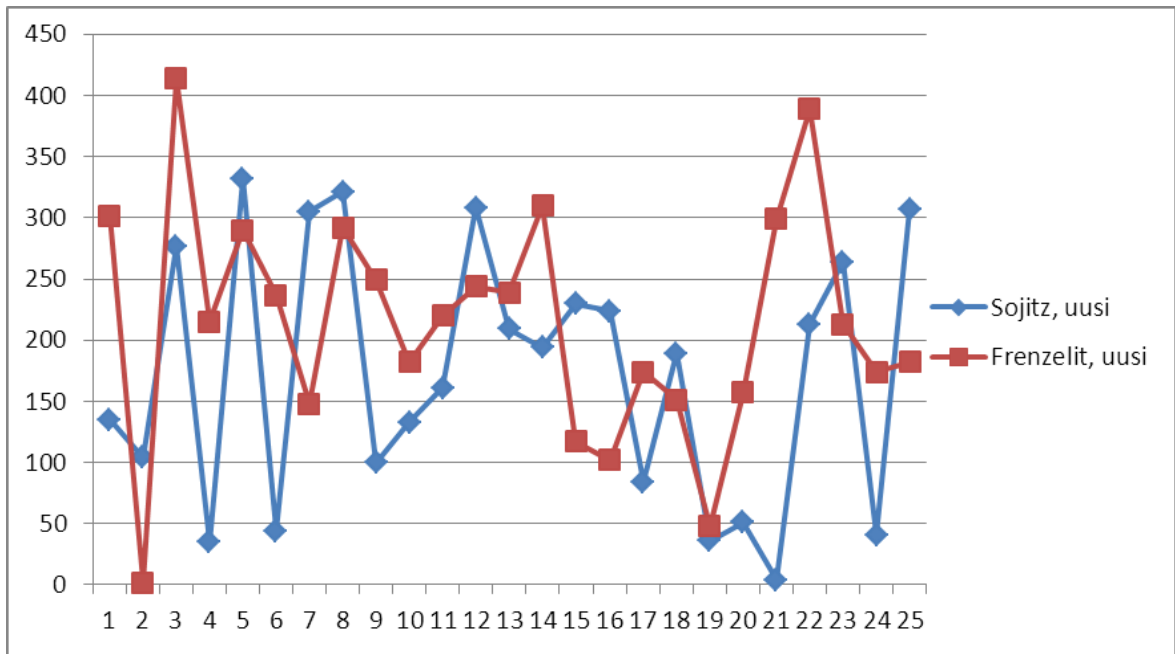
- Frenzelit: $200km + (200km * 0,25) = 250km$
- Sojitz: $200km + (200km * 0,50) = 300km$.

Kilometrihinnaksi saadaan seuraavaa:

- Frenzelit: $\frac{573x}{250km} = 2,292x/km$
- Sojitz: $\frac{952x}{300km} = 3,173x/km$.

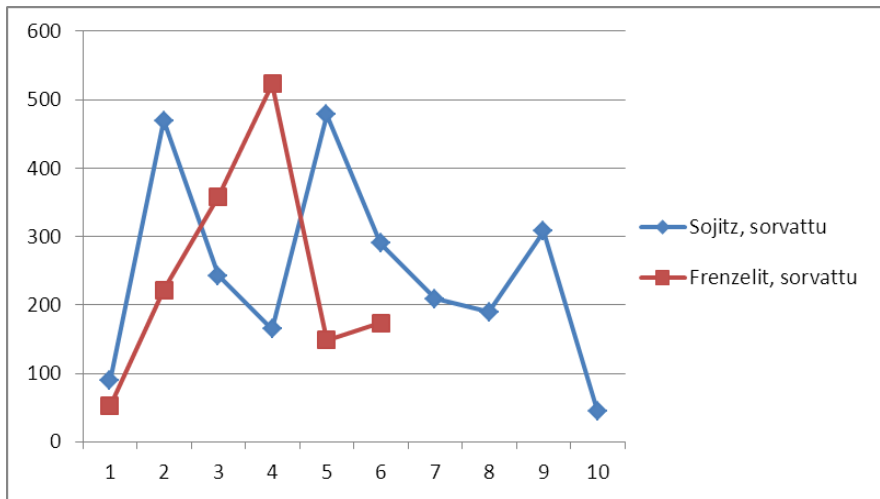
Esimerkkitapauksessa Frenzelit maksaisi 2,292x/km ja Sojitz 3,173x/km, joten Frenzelit tulisi edullisemmaksi.

Kuvasta 21 voidaan päätellä, että rullien kestossa on todella suuria vaihteluja sekä Frenzelitin että Sojitzin kiekkoilla. Kuvaajassa on vain uudet rullat, ei sorvattuja. Ajokilometrit näyttäisi olevan molemmissa lähes samat.



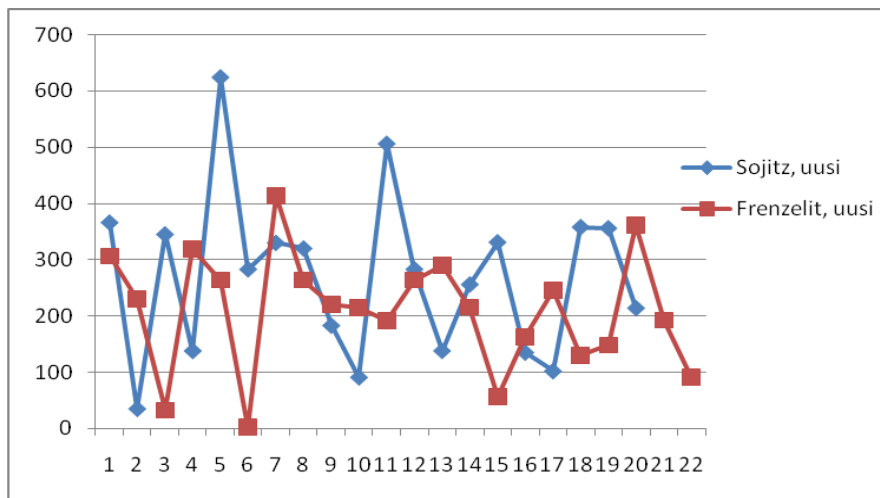
KUVA 21. Kuvaaja revolveri 3:n kannatinrullien ajokilometreistä

Kuvan 22 sorvatuissa rullissa on myös samalla tavalla suuria eroja kestossa. Tästä myös nähdään, että Sojitzin rullat ovat paremmin sorvattavissa kuin Frenzelitit. Kuvassa 21 on 23 Sojitzin rullaa ja 24 Frenzelitin rullaa. Kuvasta 22 nähdään, kuinka moni niistä on sorvattu. Näyttäisi, että Sojitz on paremmin sorvattavissa, koska niitä on sorvattu 10 ja Frenzelitejä 5.



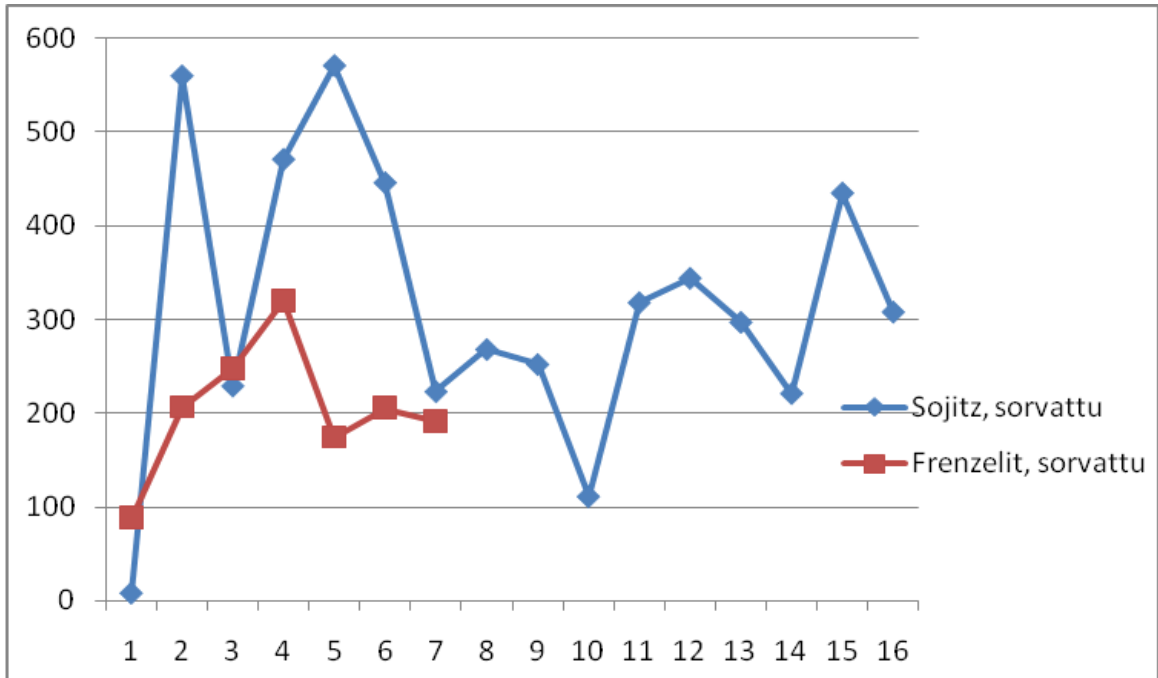
KUVA 22. Kuvaaja revolveri 3:n sorvatuista rullista

Kuvan 23 kuvaaja on hyvin pitkälle samanlainen kuin kuvassa 21. Suuret vaihtelut rullien kestossa. Tässä kuvaajassa on vain uudet rullat, ei sorvattuja.



KUVA 23. Kuvaaja revolveri 4:n kannatinrullien ajokilometreistä

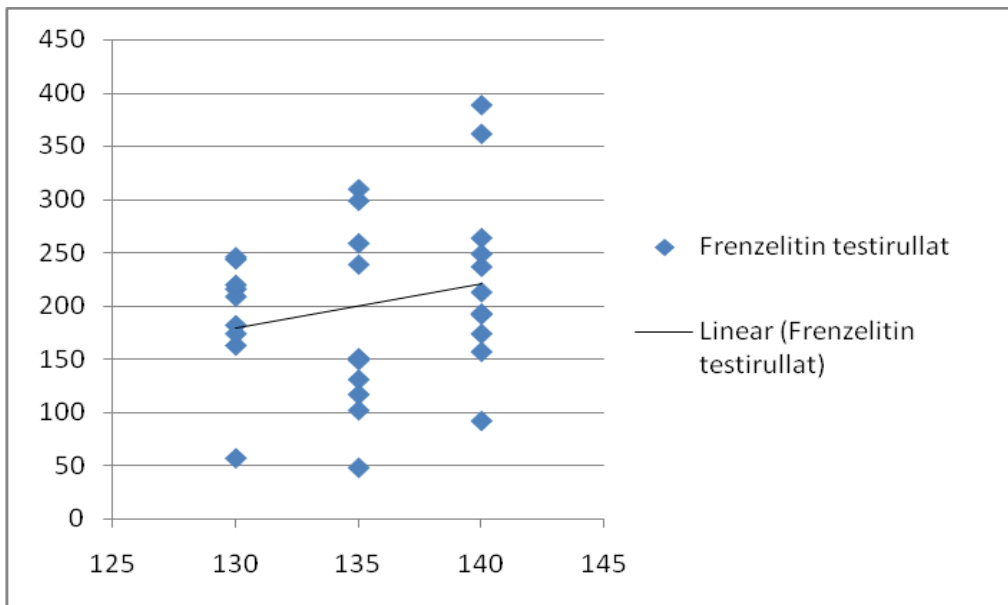
Kuvasta 24 nähdään, että Sojitzin rullat on paremmin sorvattavissa kuin Frenzelitin rullat. 22:sta Frenzelitin rullasta sorvattiin vain 6, kun Sojitzeja oli 19, joista voitiin sorvata 16.



KUVA 24. Kuvaaja revolveri 4:n sorvatuista rullista

5.1 Testirullat

Kuvan 25 kuvaajassa on vertailtu Frenzelitin kiekkoja revolvereissa 3 ja 4. X-akselilla on kiekkojen massa ja Y-akselilla ajokilometrit. Trendiviivasta voidaan todeta, että suurempi kiekkomäärä kestää pidempään, koska keskimääräinen kestoaika kasvaa kiekkojen massan kasvaessa.



KUVA 25. Frenzelitin testirullat revolvereissa 3 ja 4

130 kg:n rullilla Shore D-kovuus oli välillä 40 - 50. Tämä arvo laskee, kun rulla lämpenee. Paine vaihtelee välillä 330 - 390 bar. Näistä rullista yhtäkään ajettua rullaa ei voitu sorvata uudelleen, koska kuitumateriaali mureni (kuva 26).



KUVA 26. Murentunut kuitumateriaali sorvauksen jälkeen 130 kg rullalla

Kuvan 27 perusteella näyttää, että kuvan 26 epäonnistunut sorvaus on johtunut siitä, että kiekot ovat irtoilleet toisistaan. Kuvan 27 vasemmassa laidassa näkyy hilsettä, joka on kertynyt rullan pintaan. Kun hilsettä on kertynyt halkeamiin tarpeeksi, se voi leimata teräsnauhan pintaa ja se näkyy painumana. Liitteen 2 taulukoista nähdään, että paine on sitä pienempi, mitä vähemmän kiekkoja, joten näyttäisi, että painetta on liian vähän. Halkeilua edesauttaa myös kiekkojen taipuminen lämmitessään. Yksi rulla näistä sorvattiin, mutta se oli kolhittu johonkin, joten se ei ollut käynyt linjassa ennen sorvausta.



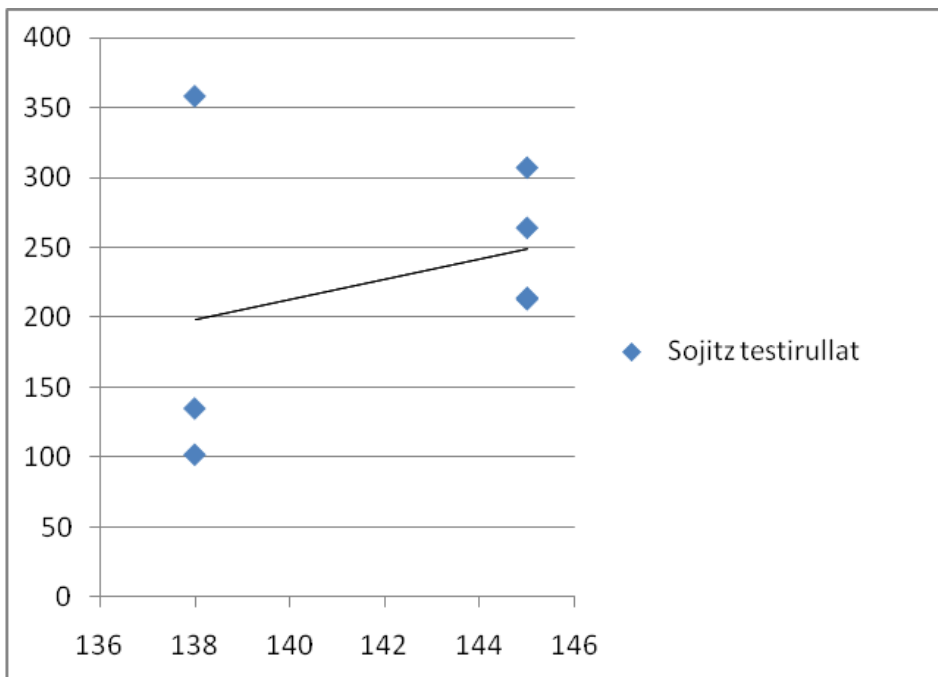
KUVA 27. 130 kg ajettu testirulla

135 kg rullilla paine vaihteli 420 - 450 bar:n välillä. Kovuus oli kaikissa rullissa 45 Shore D. Yksi rulla sorvattiin ja sorvauksen jälkeen kovuus oli 25 Shore D. Sorvattu rulla oli ensimmäisellä ajokerralla revolverissa 2 eikä kuumimmassa paikassa. 135 kg rullilla oli samankaltaisia ongelmia kuin 130 kg rullilla, eli halkeilee ja sorvaus ei onnistu, mutta lievempinä.

140 kg rullilla paine vaihteli välillä 500 - 560 bar ja kovuus 45 - 55 Shore D. Näistäkin sorvattiin vain 1, jossa kovuus oli 30 Shore D. 140 kg rullat kestivät parhaiten tähän asti testatuista, mutta edelleenkin sorvattavuus heikkoa.

Vanhalla menetelmällä pakattujen rullien, joissa on 573 kappaletta kiekkoja, puristusaine oli välillä 420 - 620 bar. Kiekkojen massan mukaan pakatuissa painevaihtelu on pienempää, joten laadun pitäisi tasaantua, kun löydetään oikea kilomäärä.

Vähästä materiaalista huolimatta kuvan 28 kuvaajakin näyttää, että suurempi kiekkomäärä kestää pidempään trendiviivan perusteella. 138 kg rullien testit lopetettiin jo muutaman rullan jälkeen, koska ne eivät kestäneet pitkään. Sorvaus sen sijaan onnistui 2:lle rullalle 3:sta. 145 kg rullat kestivät pidempään kuin 138 kg rullat. Sorvattavuudesta ei vielä tiedetä, koska rullia ei ole vielä keretty sorvata. 138 kg rullissa puristusaine vaihteli välillä 450 - 490 bar ja kovuus 45 - 50 Shore D, sorvatuissa kovuudet olivat 20 ja 25 Shore D. 145 kg rullissa puristusaine välillä 580 - 600 bar ja kovuus kaikissa 50 Shore D. Rullissa, jotka on pakattu 680 kappaleen kiekkomäärällä puristusaine vaihteli suuresti, se oli välillä 550 - 720 bar. Kovuutta ei ole mitattu.



KUVA 28. Sojitzin testirullat revolveissa 3 ja 4

5.2 Hehkutuskokeet

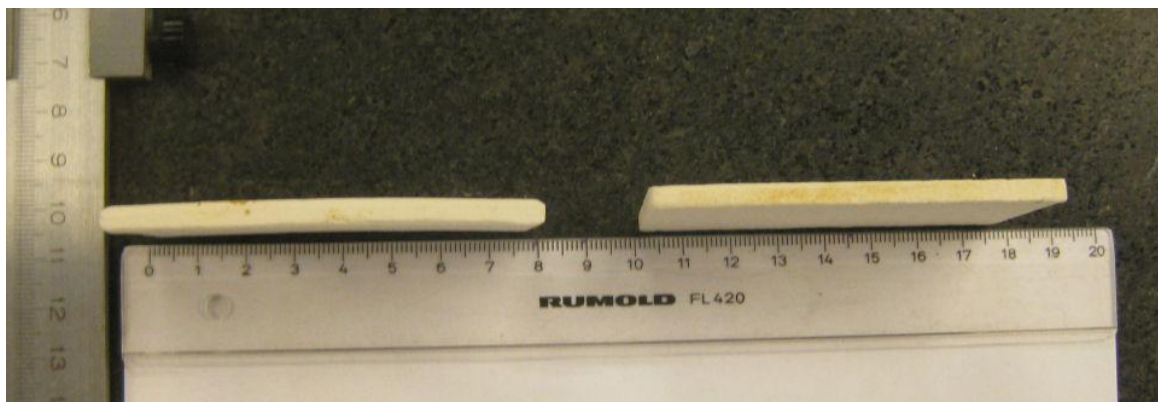
Hehkutuskokeet tehtiin Outokummun ohjeiden mukaisesti ja tarkasteltiin, kuinka paljon kiekot pienenevät. Lasipalloja ei voitu mitata, koska vesihionta ei onnistunut. Hehkutuskokeiden ohjeet liitteenä. (Liite 4.) Taulukosta 2 nähdään, miten kiekot reagoivat hehkutuskokeissa.

TAULUKKO 2. Hehkutuskokeiden tulokset taulukkona

1200 °C	leveys (%)	pituus (%)	paksuus (%)	massa (%)
Frenzelit	3,3	1	6,1	15,9
Sojitz	3,2	2,3	17,4	16,7
1100 °C				
Frenzelit	1,5	0,8	5,4	15,7
Sojitz	2,3	2,3	16,6	16,8
900 °C				
Frenzelit	0,7	0,2	1,8	15,1
Sojitz	1,5	1	14,9	16,7

Tulosten perusteella näyttää, että pituus-, leveys- ja paksuusmuutokset suurenevat, kun lämpötilakin suurenee. Massa pysyy samana sen jälkeen, kun epäorgaaniset aineet ovat palaneet noin 400 °C:ssa. Suurin ero on kiekkojen paksuuden muutoksessa, sillä Sojitz menettää paksuutta huomattavasti enemmän kuin Frenzelit. Mittaustulokset ovat liitteenä 5.

Kuvan 27 vasemmalla puolella on pala Frenzelitin kiekosta ja oikealla Sojitzin. Frenzelitin kiekossa nähdään kohtalaista käyristymää, mutta alemmissa lämpötiloissa käyristymää ei havaittu. Sojitzin kiekkoissa käyristymää ei havaittu yhdessäkään.



KUVA 27. Hehkutuskoe 1 200 °C

6 TULOKSET

Taulukossa 3 esitetään kaikki revolverissa 3 ajettujen rullien keskimääräiset ajokilometrit.

TAULUKKO 3. Revolverin 3 kannatinrullat

Revolverin 3 kannatinrullat						
merkki	pakkausmenetelmä	uudet (kpl)	sorvatut (kpl)	keskimääräiset ajokilometrit, uudet. (km)	keskimääräiset ajokilometrit, sorvatut. (km)	keskimääräiset ajokilometrit, yhteensä. (km)
Frenzelit	573kpl	4	5	305	260	281
Frenzelit	130kg	4	1	214	174	206
Frenzelit	135kg	7	0	181		181
Frenzelit	140kg	5	0	236		236
Sojitz	680kpl	16	9	195	253	213
Sojitz	138kg	0	0			
Sojitz	145kg	3	0	250		250

Taulukon 3 mukaan revolverissa 3 parhaat tulokset ovat Frenzelitin vanhalla pakkausmenetelmällä, jolloin rullalle pakattiin 573 kiekkoa. Frenzelitin testirullista parhaiten kesti 140 kg rullat. Liitteestestä 2/3 nähdään, että kiekkomäärät 140 kg rullissa oli 552 - 565 kappaletta. Sorvattavuus on parasta Sojizin vanhalla pakkausmenetelmällä, eli 680 kappaletta kiekkoja. Uusia 145 kg rullia ei ole vielä keretty sorvata, joten niistä ei ole tietoa. 145 kg rullissa kiekkoja oli 662 - 670 kappaletta.

Sojitzin 145 kg tulokset voisivat vielä nousta, koska 1:n rullan tulokset on otettu rullasta, joka on vielä ajossa. Sillä oli 30.3.2011 mennessä ajettu 307 km.

Taulukossa 4 esitetään kaikki revolverissa 4 ajettujen rullien keskimääräiset ajokilometrit.

TAULUKKO 4. Revolverin 4 kannatinrullat

Revolverin 4 kannatinrullat						
merkki	pakkausmenetelmä	uudet (kpl)	sorvatut (kpl)	keskimääräiset ajokilometrit, uudet. (km)	keskimääräiset ajokilometrit, sorvatut. (km)	keskimääräiset ajokilometrit, yhteensä. (km)
Frenzelit	573kpl	8	4	257	216	243
Frenzelit	130kg	4	0	171		171
Frenzelit	135kg	3	0	180		180
Frenzelit	140kg	4	0	210		210
Sojitz	680kpl	16	16	287	316	302
Sojitz	138kg	3	0	198		198
Sojitz	145kg	1	0	214		214

Revolverissa 4 parhaiten kesti Sojitzin rullat, joihin pakattiin 680 kappaletta kiekkoja. Ne olivat myös parhaiten sorvattavissa. Sojitzin 138 kg rullia pystyttiin sorvaamaan 2, mutta niitä ei ollut ajettu vielä 30.3.2011. Ainoa listassa oleva Sojitzin 145 kg rullasta otettiin tulos 30.3.2011, jolloin rulla oli vielä ajossa. Sen tulos voi nousta. 145 kg rullia ei ole vielä sorvattu, joten niistä ei ole tietoa.

Testirullilla on saatu pienennettyä puristuspaineen vaihtelua, vanhoilla menetelmillä se heitteli jopa 200 bar, kun uusilla menetelmillä 60 bar. Oikeaa kiekkomäärää ei ole vielä löydetty. Mielestäni testejä kannattaisi vielä jatkaa kuvien 25 ja 28 peurusteella lisäämällä kiekkomäärää niin kauan, kun trendiviivan kulmakerroin pysyy positiivisena. Esimerkiksi Frenzelitin kohdalla seuraavaksi 145 kg ja kun Sojitzista saadaan tuloksia, lisätään siihenkin kiekkojen määrää. Kun sopiva kiekkomäärä löytyy, sen jälkeen kannattaa seurata rullien sorvattavuutta ja laskea kumman valmistajan kiekkoilla kilometrin hinta on edullisempi.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kehittää keraamisten kannatinrullien pakkausmenetelmää tuotantolinjan laaduntuottokyvyn ja rullan keston parantamiseksi sekä laadun vaihtelun pienentämiseksi. Muuna tavoitteena oli vertailla kannatinrullamateriaaleja. Työ tehtiin HP2-linjalla, jossa käytettiin kahden eri valmistajan kannatinrullamateriaaleja, saksalainen Frenzelit ja japanilainen Sojitz.

Testaus tehtiin vaihtelemalla pakkausmenetelmiä ja seuraamalla eri tavalla pakattujen rullien kestoja. Ennen rullat pakattiin kuitukiekkosten määrän mukaan ja uusissa testirullissa kiekkosten massan mukaan. Frenzelitin kiekoista tehtiin kolme erilaista testisarjaa ja Sojitzista kaksi. Sojitzin viimeisimmistä testirullista on aika vähän materiaalia, joten niiden tulokset voi vielä muuttua. Testitulosten perusteella rullien kesto ei parantunut, mutta laatu vaihteli vähemmän. Selville kuitenkin saatiin oikea suunta, eli kiekkosia täytyy vielä lisätä. Lisätesteillä voidaan selvittää oikea kiekkomäärä. Lisäksi kiekoille tehtiin hehkutuskokeita, jotta nähdään, miten ne käyttäytyvät kuumetessaan.

Työ oli mielenkiintoinen, koska rullissa oli monia muuttujia, esimerkiksi kiekkosten määrä, kovuus ja paine. Tässä työssä testattiin kiekkomäärän vaikutus, joka tosin vaikuttaa kovuuteen ja paineeseenkin. Materiaalia olisi voinut olla enemmänkin, mutta siihen ei työn aika riittänyt.

LÄHTEET

1. Technical information about isoplan. Saatavissa:
http://www.frenzelitsealing.com/file/292_isoplan_e.pdf. Hakupäivä
10.1.2011.
2. Frenzelit - tietoa vaarallisista aineista kannatinrullissa. 2010. Esite.
Outokumpu Stainless Oy, Tornion tehtaas.
3. Outokumpu kannatinrullien täytön kehittäminen. 2010. Esite. Outokumpu
Stainless Oy, Tornion tehtaas.
4. Koivisto, K - Laitinen, E - Niinimäki, M - Tiainen, T - Tiilikka, P - Tuomikoski,
J. 2006. Konetekniikan materiaalioppi. 10 - 11. painos. Helsinki: Edita.
5. Kueffner, J. 2010. Myyntiedustaja. Frenzelit. Palaveri 24.10.2010. Tornio:
Outokumpu.
6. 772002. Intranet: <http://torsr054/webdoha/ui/>. Outokumpu Tornio Works.
Carrousel roll, assembly.
7. HP1, HP2, HP4 ja RAP5 kannatinrullien kasaus. 2010. Esite. Outokumpu
Stainless Oy, Tornion tehtaas.
8. 1081678-1. Intranet, <http://torsr054/webdoha/ui/>. Outokumpu Tornio Works.
Revolverirullastot, kuiturulla kokoonpano.
9. HP2 esisuunnittelun väliraportti. 15.2.2008. Tornion tehtaas sisäinen
tietokanta, Outokumpu Stainless Oy.

LIITTEET

- Liite 1.Lähtötietomuistio
- Liite 2.Frenzelit-testirullat
- Liite 3.Sojitz-testirullat
- Liite 4.Hehkutuskokeiden ohjeet
- Liite 5.Hehkutuskokeet
- Liite 6.Hehkutuskokeiden tuloksia

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä¹ Jouni Auvinen, 0408697456, t6aujo00@students.oamk.fi _____

Tilaaaja² Outokumpu Stainless Oy _____

Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot³ Juho Keskitalo, 0408330154 _____

Työn nimi⁴ HP-linjojen keraamisten kannatinrullien käytön kehitys _____

Työn kuvaus⁵ Tutkimustyö kannatinrullien keston parantamiseksi. _____

Työn tavoitteet⁶ Kehittää rullan pakkausmenetelmää rullan laaduntuottokyvyn ja keston parantamiseksi, kannatinrullamateriaalien vertailu, eri materiaalien ihanteellisten käyttökohtien määrittely. _____

Tavoiteaikataulu⁷ Valmis keväällä 2011 _____

Päiväys ja allekirjoitukset⁸ 18.10.2010 Jouni Auvinen _____

18.10.2010 Juho Keskitalo _____

¹ Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.

² Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.

³ Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.

⁴ Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.

⁵ Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.

⁶ Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.

⁷ Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun.

Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.

⁸ Lähtötietomuuistio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö.

rullanro	kiekkojen n lkm.	kiekkojen massa (kg)	paine (bar)	kovuus (shore D)	paikka/revolveri	ajokilometrit (km)
11.2	524/ 174	130.0	350	45.0	R4	216
37.2	530/ 176	130.0	390	45.0	R4	57
15.2	519/ 173	130.0	350	45.0	R3	182
2.2	512/ 170	130.0	360	45.0	R3	209
7.2	516/ 172	130.0	350	40.0	R4	163
6.2	512/ 170	130.0	350	50.0	R3	244
11.2	500/ 166	130.0	330	45.0	R4	246
12.2	506/ 168	130.0	340	43.0	R3	220
4.2	516/ 172	130.0	360	45.0	Kolhittu	ei ajettu

Sorvatut:

4.2	516/	130.0		40.0	R3	174
-----	------	-------	--	------	----	-----

rullanro.	kiekkojen lkm.	kiekkojen massa (kg)	paine (bar)	kovuus (shore D)	paikka/revolveri	ajokilometrit (km)
2.2	536/ 178	135.0	440	45.0	R4	131
15.2	534/ 178	135.0	430	45.0	R3	310
7.2	536/ 178	135.0	420	45.0	R3	239
12.2	530/ 176	135.0	420	45.0	R3	151
37.2	532/ 177	135.0	420	45.0	R3	48
19.2	537/ 179	135.0	450	45.0	R4	149
6.2	531/ 177	135.0	430	45.0	R3	102
35.2	532/ 177	135.0	450	45.0	R3	117
11.2	530/ 176	135.0	440	45.0	R4	259
2.2	535/ 178	135.0	420	45.0	R3	299

Sorvatut:

7.2		135.0		25.0		
-----	--	-------	--	------	--	--

rullanro.	kiekkojen lkm.	kiekkojen massa (kg)	paine (bar)	kovuus (shore D)	paikka/revolveri	ajokilometrit (km)
15.2	565/ 188	140	500	48	R3	249
15.2	560/ 186	140	500	45	R3	389
9.2	560/ 186	140	520	50	R3	157
34.2	552/ 184	140	560	50	R4	362
11.2	550/ 183	140	550	50	R3	182
3.2	550/ 183	140	500	45	R3	174
32.2	560/ 186	140	550	50	R3	213
9.2	555/ 185	140	540	48	R4	193
6.2	554/ 184	140	530	55	R4	92

Sorvatut:

6.2	554/ 184	140		30	R4	192
-----	-------------	-----	--	----	----	-----

rullanro.	kiekkojen lkm.	kiekkojen massa (kg)	paine (bar)	kovuus (shore D)	paikka/revolveri	ajokilometrit (km)
21.2	620/ 310	138	490	50	R3	45
23.2	620/ 310	138	450	45	R4	135
2.2	563/ 187	138	480	45	R4	358

Sorvatut:

23.2	620/ 310	138		25		
2.2	563/ 187	138		20		

rullanro.	kiekkojen lkm.	kiekkojen massa (kg)	paine (bar)	kovuus (shore D)	paikka/revolveri	ajokilometrit (km)
15.2	670/ 335	145	580	50	R3	264
21.2	645/ 322	145	580	50	R3	213
5.2	667/ 333	145	600	50	R3	41
9.2	662/ 331	145	600	50	R4	(214,20)*
4.2	664/ 332	145	600	50	R3	(307)*

Sorvatut:

21.2	645/322	145		20		
------	---------	-----	--	----	--	--

*:Ilä merkityt tarkoittavat tämänhetkisiä kilometrejä, ovat edelleen ajossa.



Tul 6020 KERAAMISTEN KUITUJEN TESTAUS KERAAMISTEN KUITUJEN TESTAUS

1. Tavoite
2. Näytteenotto ja valmistus
3. Mittaukset ennen hehkutuskoetta
4. Hehkutuskokeet
5. Visuaalinen tarkastus
6. Mittaukset hehkutuskokeen jälkeen
7. Mikroskooppinäyte, valmistus-mittaukset

1. Tavoite

Määritetään kannatinrullamateriaalista painohäviö, mittamuutokset, käyristyminen, lehteily, halkeilu, lasipallojen max. koko ja lasipallojen esiintymistiheys. Hehkutuslämpötilat 1200 °C ja 1350 °C.

2. Näytteenotto ja valmistus

Leikataan vannesahalla kannatinrullakiekosta 80 mm x 50 mm olevat testilevyt. Näytteissä oleva teksti pitkän sivun suuntaan. Sahauspinnat hiotaan kuivahiontana 180 grit-paperilla.

3. Mittaukset ennen hehkutuskoetta

Kappale punnitaan ja siitä mitataan pituus, korkeus ja paksuus.

4. Hehkutuskokeet

Testilevyt asetetaan **Höganäs-Porosil G-2** tiilestä tehtyyn näytetelineeseen liitteenä olevan kuvan [Notes Link](#) mukaisesti. Teline nostetaan tavoitelämpötilassa olevaan kammioniuniin. Uunissa on ilma-atmosfääri. Pitoaika 5 h, jonka jälkeen uunista kytketään tehot pois. Näytteet jäädytetään uunin mukana n. 500 °C:n lämpötilaan. Loppujäähdytys huoneenlämpötilaan vapaasti ilmassa.

5. Visuaalinen tarkastus

Käyristyminen:

- 0 = suora
- 1 = lievästi käyristynyt
- 2 = kohtalaisesti käyristynyt
- 3 = voimakkaasti käyristynyt

Lehteily:

- 0 = ei lehteilyä

- 1 = lievää lehteilyä
- 2 = kohtalaista lehteilyä
- 3 = irronneita kuitulaminaatteja

Halkeilu:

- 0 = ehyt
- 1 = pieniä halkeamia
- 2 = suuria halkeamia
- 3 = irronneita palasia

2. Mittaukset hehkutuskokeen jälkeen

Kappale punnitaan, mitataan pituus, korkeus ja paksuus. Muutokset ilmoitetaan %:na.

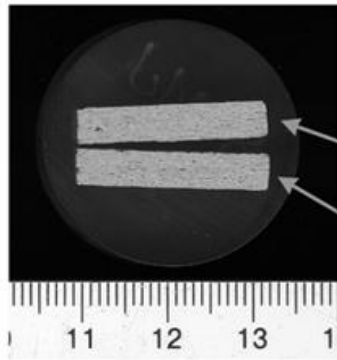
3. Mikroskooppinäyte; valmistusmittaukset

Hehkutetusta testilevystä irroitetaan metallikaarisahalla 2 kpl n. 20 mm:n mittaista kappaletta, pitkä sivu testilevyn pituussuunnassa.

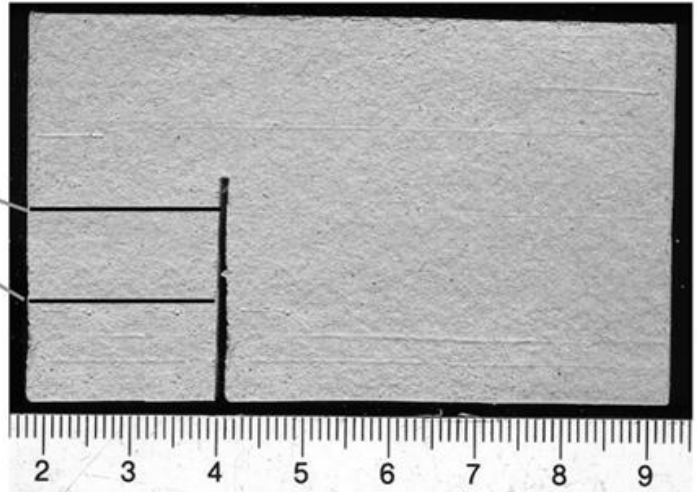
Sahauspinta hiotaan suoraksi 180 grit-hiomapaperilla kuivahiontana. Palat valetaan **Struersin Serifix**-muoviin.

Kovettunut nappi hiotaan vesihiontana 180 grit, 400 grit ja 600 grit-paperilla, jonka jälkeen timanttkiillotus 3 mm:n tahnalla. Kangaslaikka **Struersin DP-MOL**. Viimeistelykiillotus 1 mm:n tahnalla. Kangaslaikka **Struersin DP-NAP**. Kiillotuksessa käytetään väliaineena etanolia.

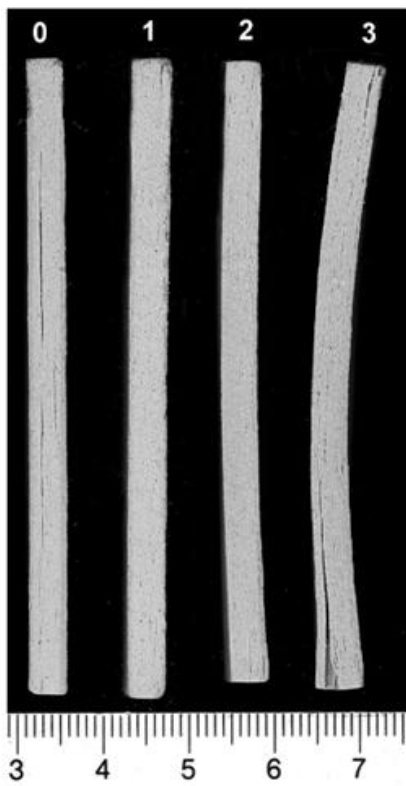
Näin valmistetusta näytteestä, jonka poikkipinta-ala on n. 2 cm², mitataan suurin lasipallo, sekä lasketaan kaikki yli 0.15 mm:n kokoiset lasipallot. Tulos ilmoitetaan kpl/ cm². Valomikroskooppimittauksissa käytettävä suurennus on 100x.



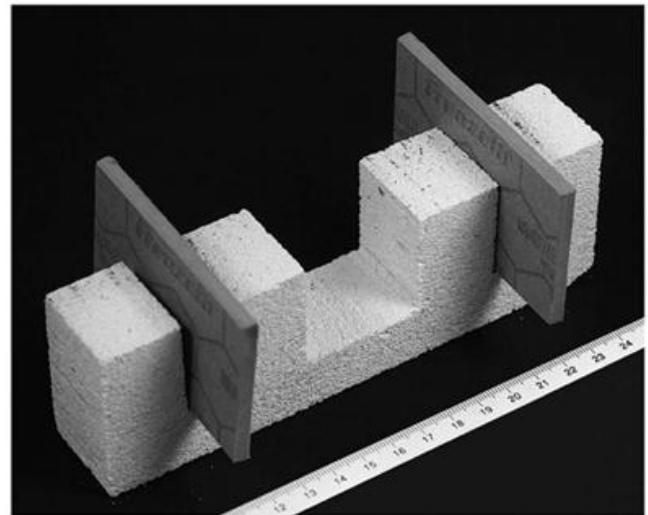
VALOMIKROSKOOPPINÄYTE



TESTILEVY HEHKUTETTUNA



KÄYRISTYMISEN MÄÄRITYS



TELIN JA TESTILEVYT

Hehkutuskoee 1200 °C, 5h					
Mitat ennen koetta:					
	leveys (mm)	pituus (mm)	paksuus (mm)	masssa (g)	
Frenzelit	49,88	77,85	5,1	18,56	
Sojitz	49,65	77,85	4,95	14,75	
Mitat kokeen jälkeen:					
	leveys (mm)	pituus (mm)	paksuus (mm)	masssa (g)	käyristymä
Frenzelit	48,24	77,09	4,79	15,6	2
Sojitz	48,07	76,08	4,09	12,29	0
muutokset	leveys (%)	pituus (%)	paksuus (%)	masssa (%)	
Frenzelit	3,3	1	6,1	15,9	
Sojitz	3,2	2,3	17,4	16,7	

Hehkutuskoee 1100 °C, 5h					
Mitat ennen koetta:					
	leveys (mm)	pituus (mm)	paksuus (mm)	masssa (g)	
Frenzelit	48,6	78,1	5,22	18,14	
Sojitz	47,69	78,06	5,07	13,83	
Mitat kokeen jälkeen:					
	leveys (mm)	pituus (mm)	paksuus (mm)	masssa (g)	käyristymä
Frenzelit	47,85	77,51	4,94	15,3	1
Sojitz	46,6	76,3	4,23	11,5	0
muutokset	leveys (%)	pituus (%)	paksuus (%)	masssa (%)	
Frenzelit	1,5	0,8	5,4	15,7	
Sojitz	2,3	2,3	16,6	16,8	

Hehkutuskoee 900 °C, 5h					
Mitat ennen koetta:					
	leveys (mm)	pituus (mm)	paksuus (mm)	masssa (g)	
Frenzelit	49,12	78,39	5,14	18,72	
Sojitz	48,26	77,4	5,04	13,8	
Mitat kokeen jälkeen:					
	leveys (mm)	pituus (mm)	paksuus (mm)	masssa (g)	käyristymä
Frenzelit	48,78	78,23	5,05	15,8	0
Sojitz	47,53	76,65	4,29	11,5	0
muutokset	leveys (%)	pituus (%)	paksuus (%)	masssa (%)	
Frenzelit	0,7	0,2	1,8	15,1	
Sojitz	1,5	1	14,9	16,7	

Kiekossa tussimerkintä FRENZELIT VP 3074 Auftrag. 1185426 (kiekko väriltään valkoinen)**HEHKUTUSKOE 1200 ° C**

Painohäviö	15,2 %
Pituusmuutos	1,7 %
Korkeusmuutos	2,0 %
Paksuusmuutos	4,9 %
Lehteily	0
Halkeilu	0
Käyristyminen	1
Suurin lasipallo	0,28mm
Lasipalloja >0,15mm	25kpl / cm ²

HEHKUTUSKOE 1350°C

Painohäviö	14,9 %
Pituusmuutos	6,0 %
Korkeusmuutos	9,4 %
Paksuusmuutos	24,6 %
Lehteily	0
Halkeilu	0
Käyristyminen	3
Suurin lasipallo	EI MITATTAVISSA (lähes sulanut)
Lasipallojaks.edellinenrivi	

Pussissa merkintä ORDER 1208223 1/1 VP 3074 ("valkoinen "kiekko) 6.2.2008**HEHKUTUSKOE 1200 ° C**

Painohäviö	15,4 %
Pituusmuutos	1,3 %
Korkeusmuutos	2,0 %
Paksuusmuutos	7,2 %
Lehteily	0
Halkeilu	0
Käyristyminen	1
Suurin lasipallo	0,36 mm
Lasipalloja >0,15mm	14 kpl / cm ²

HEHKUTUSKOE 1350 ° C

Painohäviö	15,4 %
Pituusmuutos	4,5 %
Korkeusmuutos	8,6 %
Paksuusmuutos	20,4 %
Lehteily	0
Halkeilu	0
Käyristyminen	2
Suurin lasipallo	- (ei mitattavissa , lähes sulanut rakenne)
Lasipalloja...	- (kts. edellinenrivi)