

Mika Luukkonen

**REUNAOHJAUKSEN NYKYTILA JA KEHITYS OSANA LINJA-
AUTOMAATIOTA**

**REUNAOHJAUKSEN NYKYTILA JA KEHITYS OSANA LINJA-
AUTOMAATIOTA**

Mika Luukkonen
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Mika Luukkonen

Opinnäytetyön nimi: Reunaohjauksen nykytila ja kehitys osana linja-automaatiota

Työn ohjaaja(t): Eero Putaansuu ja Tero Hietanen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2016 Sivumäärä: 36 + 3 liitettä

Työssä tutkittiin Raahen Nauhalevyleikkauslinja 2:n aukikelaimen reunaohjauksen toimintaa ja sen ongelmia, joita on koetettu ratkaista voimasäädöllä. Reunaohjauksen tehtävänä on pitää prosessoitava nauha keskellä linjaa ajon aikana siirtämällä tuurnaa sivuttaissuunnassa. Nykyinen voimasäätö ottaa huomioon pelkästään nauhan paksuuden. Tavoitteena oli saada todennettua nykyisestä voimasäädöstä johtuvat ongelmat laskujen kautta sekä erinäisillä analysoinneilla. Tavoitteena oli myös saada kehitettyä prosessoitavan materiaalin ominaisuudet huomioon ottava uusi säätömalli, jolla voimasäätöä saadaan paremmin toimivaksi.

Analysoinnissa käytettiin erinäisiä ohjelmia sekä laskentaa. Laskennallisesta näkökulmasta otettiin kaksi pääteemaa: kitkavoima ja lommahdusvoima. Kitkavoima liittyy nauhan luistamiseen kelan kierrosten välissä, lommahdus puolestaan nauhan elastiseen muodonmuutokseen. Aluksi tutustuttiin aukikelaimen prosessiin ja sen laitteistoon, jonka jälkeen alettiin analysoida ajotilanteita. Myöhemmässä vaiheessa otettiin vielä voimalaskennat mukaan ajotilanteiden analysointiin.

Tulokset tukivat alkuperäistä ajatusta siitä, että nykyisellä voimasäädöllä tuurnan siirtovoimat ovat liian suuria prosessoitavan materiaalin ominaisuuksiin nähden. Käytettäviä voimia voidaan pienentää, jolloin luistaminen ja lommahdukset saataisiin poistettua kokonaan. Voimasäädölle saatiin uusi malli, jolla voimasäätö voidaan toteuttaa. Mallin testaus tehdään tulevaisuudessa.

Asiasanat: terästeollisuus, säätöjärjestelmät, säätötekniikka, kitka, lommahdus

ALKULAUSE

Haluan kiittää työni ohjaamisesta Eero Putaansuuta ja Tero Hietasta sekä muusta avustamisesta Tuomo Eskolaa, Kimmo Alatulkkilaa sekä Tapio Marjamaata. Haluan kiittää erityisesti lommahduksien ja kittkavoimien mallinnuksesta Ilkka Rajalinia, Olli Leinosta ja Joonas Ilmolaa. Haluan kiittää myös perhettäni ja ystäviäni tukemisesta opinnäytetyön aikana.

Oulussa 4.5.2016

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 SSAB:N RAAHEN TEHDAS	8
3 NAUHALEVYLEIKKAUSLINJA 2	9
3.1 Aukikelain	10
3.2 Vision-reunaohjausjärjestelmän kuvaus	12
3.2.1 Laitteiston kuvaus	13
3.3 Nykyinen voimasäätö	14
4 REUNAOHJAUSJÄRJESTELMÄSSÄ HAVAITUT ONGELMAT	16
4.1 Nauhan kääntyminen vetorullastolla	17
4.2 Nauhan luistaminen	17
4.3 Nauhan lommahdus	18
4.4 Operaattoreiden kertomia ongelmia	19
5 ONGELMIEN TARKASTELU	20
5.1 IbaAnalyzer	20
5.2 NETAVIS Observer	22
5.3 ALMA	23
5.4 Laskut	24
5.4.1 Lommahdusvoima	24
5.4.2 Kitkavoima	26
6 TULOSTEN TARKASTELU	31
6.1 Kitkavoimien mallinnus	31
6.2 Lommahduksen mallinnus	32
6.3 Voimasäädön kehittäminen mallien pohjalta	33
7 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	35
LIITTEET	

Liite 1. Voimasäädön nykyinen sovellus

Liite 2. Vetoarvojen mallinnus

Liite 3. Lommahdusvoimien mallinnus Excelissä

1 JOHDANTO

Työssä tutkittiin Nauhalevyleikkauslinjan 2 aukikelaimen reunasäädön voimasäätöä ja sen ongelmia sekä kehittämistä. Tavoitteena oli tutkia aukikelaimella ilmeneviä ongelmia, kuten nauhan luistaminen kelan kierrosten välissä sekä nauhan lommahdus eli näiden pohjalta tuli kehittää voimasäädölle uusi malli, jolla voidaan säätää aukikelaimen tuurnan sivuttaissiirtovoimaa ottaen huomioon kelan ominaisuudet, kuten leveys ja myötölujuus. Tämänhetkinen olemassa oleva voimasäätö perustuu yksinkertaisesti nauhan paksuuteen, jonka perustella lasketaan sivuttaissiirtovoima.

Ongelmien tarkastelu keskittyi yllämainittuihin teemoihin: nauhan luistaminen kierrosten välissä sekä nauhan lommahtaminen. Lommahdus tapahtuu, kun nauhassa tapahtuu elastinen muodonmuutos. Ongelmien analysointiin käytettiin videoita sekä signaalien analysointiin tarkoitettua ohjelmaa.

2 SSAB:N RAAHEN TEHDAS

SSAB Europe on johtava korkealaatuisten teräsnauhojen ja -kvarttolevyjen sekä putkituotteiden valmistaja. SSAB Europen tuotantolaitokset räätälöivät tuotteita asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Lujien terästen tuotanto-osaamisen yhdistäminen asiakkaalle lisäarvoa luoviin palveluihin erottaa SSAB Europen lukuisista muista tuottajista. (3.)

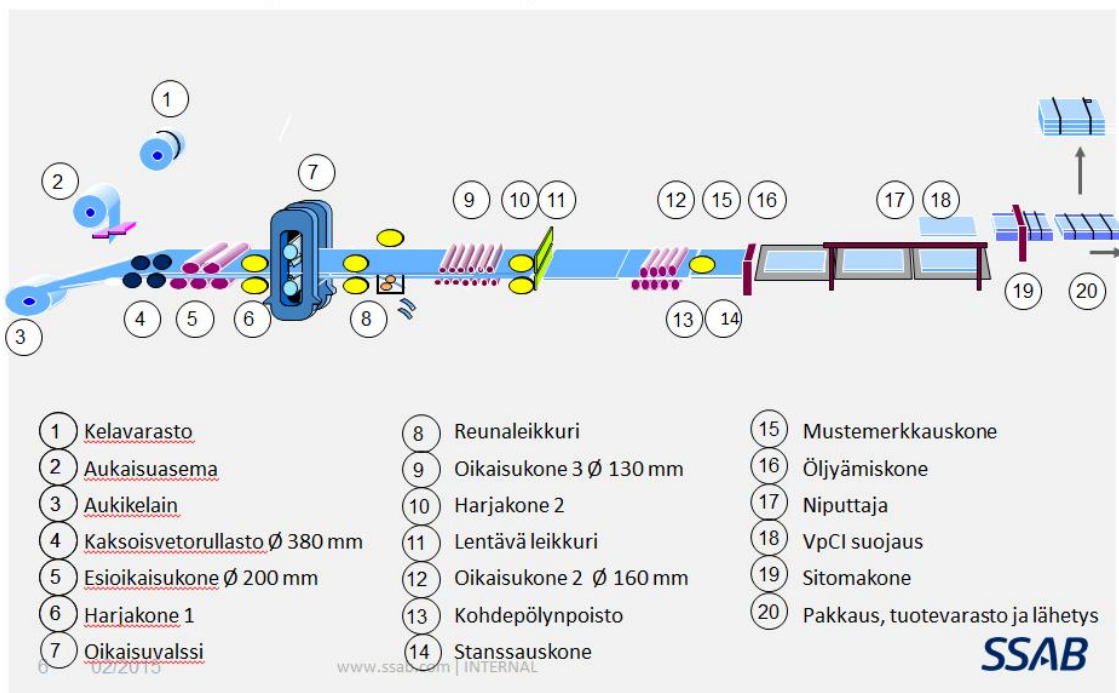
SSAB Europen päätuotantolaitokset sijaitsevat Raahessa ja Hämeenlinnassa (Suomi) sekä Luulajassa ja Borlångessä (Ruotsi). Tuotanto perustuu masuuni-prosessiin. SSAB Europen terästehtaiden vuotuinen tuotantokapasiteetti on noin 4,9 miljoonaa tonnia. (3.)

SSAB Raahen tehdas työllistää n. 2700 henkilöä. Tehtaalla valmistetaan kuumavalssattuja levy- ja nauhatuotteita. Muita tehtaan tarjoamia palveluja ovat kelan rainaleikkaus, nauhalevyleikkaus, peittäus ja levykomponentit. Käyttökohteita ovat esimerkiksi teollisuuden sovellukset, raskas liikenne ja energiateollisuus. Tehtaalla on myös oma teollisuusoppilaitos, jonka suorittaneet työllistyvät tehtaalle.

3 NAUHALEVYLEIKKAUSLINJA 2

Nauhalevyleikkauslinjalla 2:lla kuumavalssatut kelat aukaistaan, oikaistaan ja leikataan asiakkaan tilaamiin mittoihin. Leikatut nauhalevyt myös niputetaan, sidotaan, pakataan ja lähetetään asiakkaalle. Linjalla on monia laitteita ja osaprosesseja (kuva 1), joten sujuvan ja tehokkaan tuotannon kannalta on erityisen tärkeää tavoitella prosessin korkeaa käytettävyyttä ja hyvää laaduntuottokykyä.

Nauhalevyleikkauslinja 2



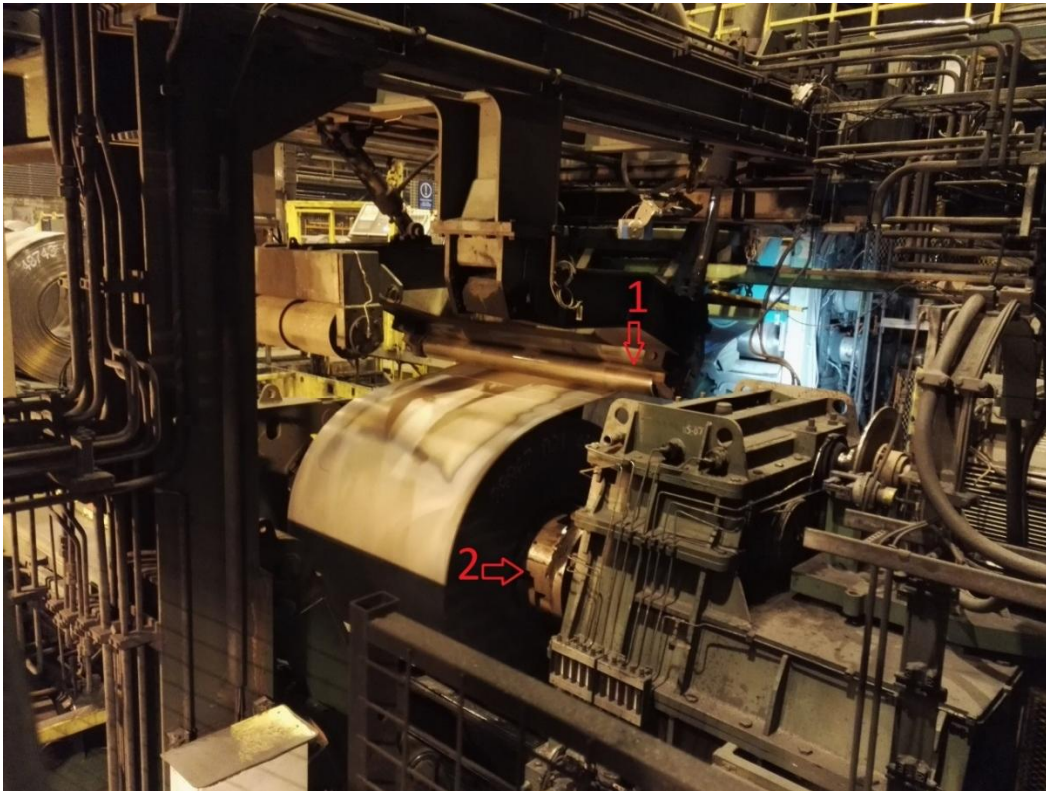
KUVA 1. Nauhalevyleikkauslinja 2:n osaprosessit ja laitteet (1, s. 6)

3.1 Aukikelain

Kelat tuodaan tuurnan keskelle kelavaunulla. Tuurnan tehtävänä on kannatella kela ajon aikana. Tuurna (kuva 2) paisutetaan jonka jälkeen suoritetaan automaattinen keskitys reunaohjauksen avulla. Operaattori suorittaa kelan lopullisen keskittämisen käsin.

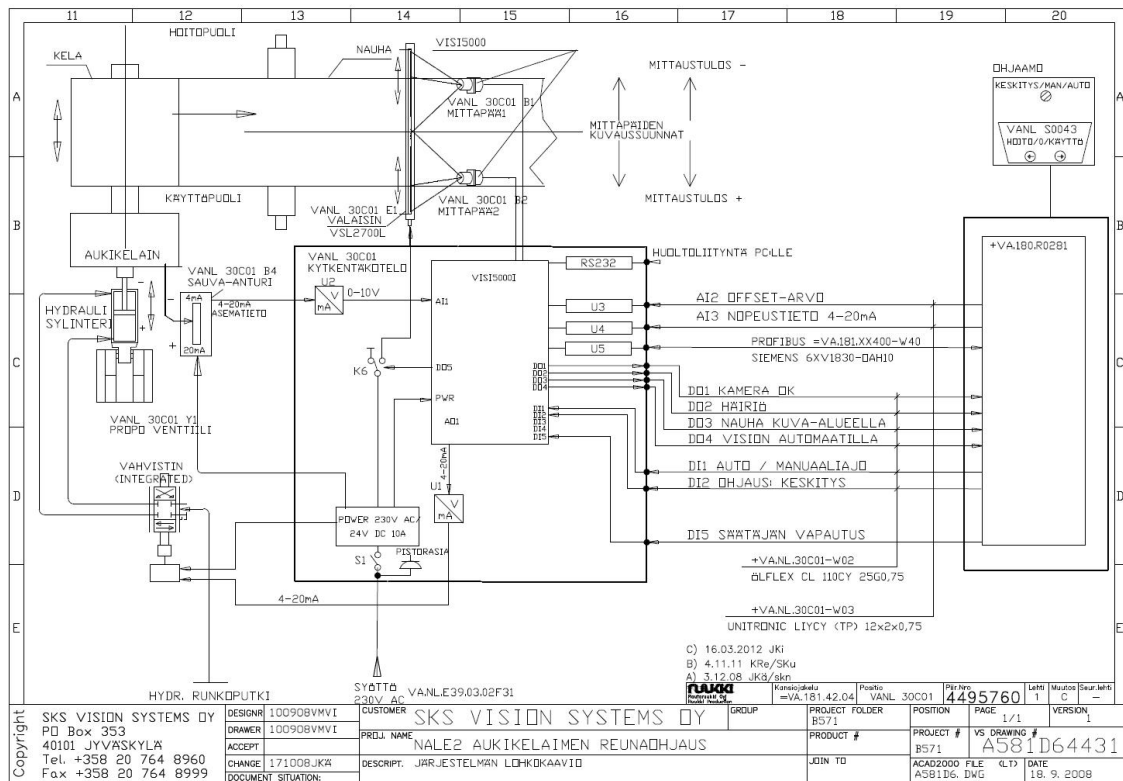
Keskityksen jälkeen prosessoitavan nauhan pää pujotetaan vetorullien väliin. Tuurnan keskitys toimii hydraulikkasynterin ja proportionaaliventtiilin avulla. Järjestelmässä on yksinkertainen painesäätö, jolla pyritään hallitsemaan tuurnan siirtovoimaa.

Nauha pyritään pitämään mahdollisimman tarkasti keskellä linjaa. Aukikelaimen ja vetorullien välille tehdään vetoa, jolla parannetaan nauhan ohjattavuutta ja varmistetaan nauhan pysyminen keskellä linjaa. Ohjattavuutta voidaan parantaa käyttämällä taitteenestorullaa (kuva 2) ajon aikana, sillä se tekee nauhaan yhden taitoksen lisää ja kiristää nauhaa. Tämä suurentaa myös kelan pitokitkaa, kun nauhaan saadaan kohdistettua lisää vetoa.



KUVA 2. Kuvassa 1 on taitteenestorulla ja 2 tuurna (kuva Mika Luukkonen)

Kuvassa 3 on esitelty aukikelaimen ja sen osaprosessin laitteistoa ja liitännöjä Visionille.



KUVA 3. Aukikelaimen laitteisto ja liitännät. (ruutukaappaus ALMA-toiminnanohjausjärjestelmästä)

Nauhan keskittäminen on erittäin tärkeää, sillä vinossa oleva nauha aiheuttaa ongelmia myös linjan seuraaville laitteille. Jos nauha tulee vinossa esimerkiksi reunaleikkurille, reunaleikkaus ei onnistu (muoto kärsii tai reunaromu "karkaa"), josta seurauksena lopputuote ei täytä asiakkaan vaatimuksia ja leikattua materiaalia joudutaan hylkäämään. Pahimmassa tapauksessa vinossa oleva nauha voi törmätä johonkin linjan laitteeseen tai rakenteeseen, josta voi aiheutua vaurioita ja linjan käyntiaste kärsii.

3.2 Vision-reunaohjausjärjestelmän kuvaus

Nauhan keskityssäätöön käytetään Visi5ki-pohjaista mittaus- ja säätöjärjestelmää. Tämän järjestelmän tarkoituksena on pitää nauha keskellä linjaa liikuttamalla tuurnaa.

Reunan paikan mittaus perustuu Visi5ki Twincam-viivakameraan ja vastavaaloon. Kameran mittapäät on sijoitettu nauhan alapuolelle ja valo yläpuolelle. Mittaustuloksena kamera saa nauhan molempien reunojen paikat. Kamera ohjaa analogiaviestillä proportionaaliventtiilin toimintaa. Proportionaaliventtiili ohjaa hydraulisylinteriä, jolla säädetään tuurnan paikkaa. Hydrauliikkasynterinin asennosta saadaan kameralle analogiaviestin mittasauvalta. Lisäksi kamera saa logiikalta analogiaviestinä tiedon linjan nopeudesta ja mahdollisen poikkeutuksen (offset) suuruudesta.

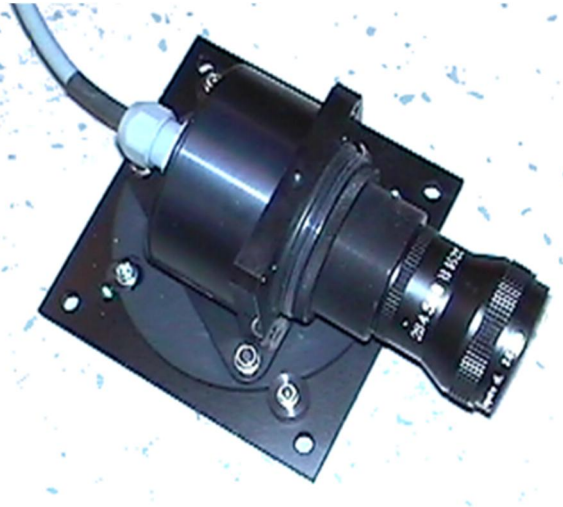
Vision-järjestelmän säätö vaikuttaa ainoastaan tuurnan poikittaisliikkeen nopeuteen mutta ei tuurnan siirtovoimaan. Tässä työssä ei puututa Vision-järjestelmän parametreihin eikä kalibrointiin. Myöskään ohjelmallisia muutoksia Vision-järjestelmään ei voida tehdä, sillä ohjelma ei ole muokattavissa.

Käyttäjillä on mahdollisuus valita ohjauspaneelista keskitysjärjestelmälle kolme eri toimintamoodia. Nämä komennot menevät suoraan keskitysjärjestelmälle kun käyttäjä valitsee toiminnat Keski-asema tai Käsiäjo. Automaatti-tilassa PLC voi vaihtaa keskitysjärjestelmän toimintamoodia ajotilanteen mukaan. Käytännössä linjaa voidaan ajaa niin, että keskitysjärjestelmien ohjauskytkimet ovat jatkuvasti Automaatti-asennossa. (2, s. 7.) Käytännössä tämä ei ole aina mahdollista säädön puutteiden takia, vaan joudutaan käyttämään Käsiäjoa esimerkiksi, kun nauhaa pujotetaan vetorullien väliin. Voimasäädön kehittämisellä pyrittäisiin siihen, että keskitysjärjestelmä voisi olla Automaatti-tilassa kokoajan.

3.2.1 Laitteiston kuvaus

Kameroiden mittapää (kuva 4) ja valot on asennettu omiin suojakoteloihinsa. Järjestelmällä on oma kytkentäkotelonsa, johon on sijoitettu valon ja kameran tehonlähteet, kameran elektroniikka, viestimuuntimet, releet ja profibusmodeemit. Kytkentäkotelo on sijoitettu mahdollisimman lähelle kameroita. (2, s. 6.)

Proportionaaliventtiilit, proportionaaliventtiin ohjauselektronikat ja mittasauvat on sijoitettu ohjaussylintereiden välittömään läheisyyteen.



KUVA 4. Kameran mittapää. (2, s. 6)

3.3 Nykyinen voimasäätö

Alun perin reunaohjauksessa ei ollut voimasäätöä, vaan tuurnaa liikutettiin vakiovoimalla. Nykyinen kohtuullisen yksinkertainen voimasäätö on ollut käytössä n. vuoden. Voimasäätö perustuu nauhan paksuuteen, mutta se ei ota huomioon nauhan muita ominaisuuksia, kuten leveyttä ja lujuutta. Liitteessä 1 on näkyvillä nykyisen voimasäädön sovellus ja sen rakenne.

Nykyinen voimasäätö toimii lineaarisen taulukon mukaan. Taulukossa 1 on esitetty voimasäädössä käytettävä maksimipaine nauhan paksuudella millimetrin tarkkuudella.

TAULUKKO 1. Nykyisen voimasäädön paineensäätö nauhan paksuuden mukaan 2 mm – 16 mm.

Nauhan paksuus (mm)	Maksimipaine (bar)
2	60
3	65,7
4	71,4
5	77,1
6	82,9
7	88,6
8	94,3
9	100
10	105,7
11	111,4
12	117,1
13	122,9
14	128,6
15	134,3
16	140

Hydrauliikkasyylinterin voima voidaan laskea soveltamalla kaavaa 1 (7, s. 99).

$$p = \frac{F}{A}$$

KAAVA 1

p = paine (Pa = N/m^2)

F = voima (N)

A = pinta-ala (männän pinta-ala – männänvarren pinta-ala) (m^2)

Esimerkiksi 2 mm paksulle nauhalle sylinterin maksimivoima voidaan laskea soveltaen kaavaa 1. Järjestelmän ja voimasäädön maksimipaine on tällöin 60 bar, joka muutetaan pascalleiksi.

$$6\,000\,000\text{ Pa} * ((\pi 0,05\text{ m}^2) - (\pi 0,025\text{ m}^2)) = 35\,342,92\text{ N}$$

Tällä laskennalla saadaan taulukko 2, josta nähdään suoraan nauhan vahvuuden mukaan kasvava sylinterin maksimivoima.

TAULUKKO 2. Nykyisen voimasäädön nauhan paksuuden vaikutus sylinterin voimaan 2 mm – 16 mm.

Nauhan paksuus (mm)	Maksimivoima (kN)
2	35,3
3	38,7
4	42,1
5	45,4
6	48,8
7	52,2
8	55,5
9	58,9
10	62,3
11	65,6
12	69,0
13	72,4
14	75,7
15	79,1
16	82,5

4 REUNAOHJAUSJÄRJESTELMÄSSÄ HAVAITUT ONGELMAT

Nykyinen reunaohjausjärjestelmä ei huomioi prosessoitavaa materiaalia. Useassa tilanteessa tuurnan ohjauksessa käytettävä voima, joka kohdistetaan sylinterin kautta tuotteeseen eli kelaan, on liian suuri, josta seuraa virhetoimintoja reunaohjauksessa. Suurimmat ongelmat koskevat lujia ja ohuita suorasammuttuja keloja. Näitä laatuja ovat Ramor, Hardox ja myös Strenx, jotka ovat lujia teräksiä. Ongelmia aiheutuu myös nauhojen alku- ja loppupään huonosta tasomaisuudesta sekä keloissa esiintyvistä periodisista teleskoopeista (kuva 5). Periodinen teleskooppi voi syntyä kelan kelaamisvaiheessa tai nauhan luistamisen seurauksena, jolloin kelan pääty on epätasainen.



KUVA 5. Esimerkki keloissa esiintyvistä periodisista teleskoopeista (kuva Mika Luukkonen)

4.1 Nauhan kääntyminen vetorullastolla

Paksummilla nauhoilla lommahduksen tai luistamisen mahdollisuus on pienempi, mutta vaarana on, että nauha kääntyy kokonaisuudessaan ja menee vinossa vetorullastolta esioikaisukoneelle ja siitä edelleen valssaimelle. Vetorullastossa nauha pysyy paikallaan, mutta liian suuri voima sivuttaissiirrosta saa sen kääntymään. Tämä aiheuttaa valssaimien rikkoutumisia ja naarmuuntumisia.

4.2 Nauhan luistaminen

Yksi suurimmista ongelmista on nauhan luistaminen. Luistamista tapahtuu, kun tuurnan sivuttaissiirtovoima ylittää ajettavan nauhan pitokitkan. Tämä johtaa ohjattavuuden huonontumiseen ja materiaalin naarmuuntumiseen, kun nauha pääsee liikkumaan kierrosten välissä. Naarmuuntuneita nauhoja ei toimiteta asiakkaille, joten luistaminen voi aiheuttaa suuria menetyksiä tuotannossa.

Suorasammutetuissa keloissa voi olla vettä kelan kierrosten välissä (kuva 6), mikä osaltaan vaikuttaa kitkaan ja tätä kautta kelan ohjattavuuteen sekä luistamisen riskiin. Kitkaan voivat vaikuttaa myös muut kelalle tehdyt käsittelyt, esimerkiksi peittäus.



KUVA 6. Vettä nauhan päällä (ruutukaappaus NETAVIS-videotallentimelta)

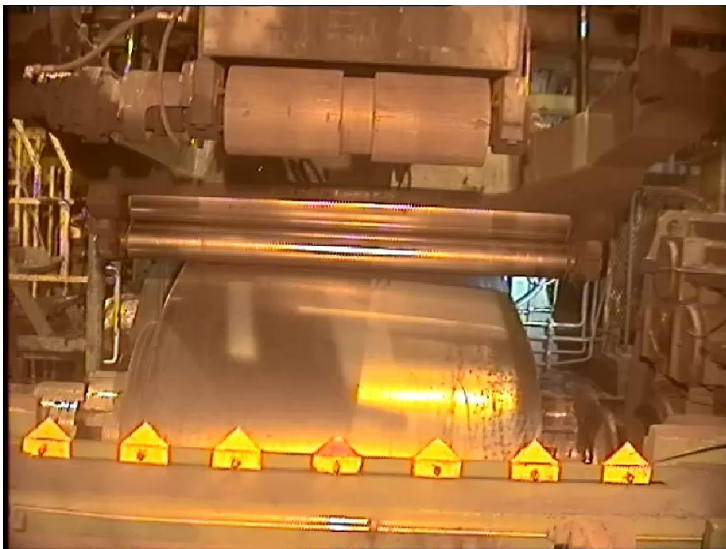
4.3 Nauhan lommahdus

Lommahdus tapahtuu, kun aukikelaimen sivuttaissiirtovoima ylittää nauhan lommahdusvoiman ja nauhassa tapahtuu elastinen muodonmuutos. Nauhan myötölujuus, paksuus sekä leveys vaikuttavat lommahduksen mahdollisuuteen.

Teräksen myötölujuudella ymmärretään sitä jännitystä, jolla koesauvassa staattisessa vetokokeessa alkaa tapahtua merkittävää plastista muodonmuutosta. (4)

Lommahduksen riski kasvaa, kun tuurnaa siirretään keskiasemasta kohti reunaan. Luistamisen yhteydessä nauhan lommahduksen mahdollisuus korostuu, kun tuurna siirtää kelaa liikaa reunaan kohti ja nauha alkaa vääntymään ja kallistelemaan. Vision-järjestelmän kamera tulkitsee tällöin nauhan aseman väärin, koska nauhan lommahtaessa kameranlta Visionille lähettämä nauhan leveyden mittaustulos on väärä. Väärä leveyden mittaustulos korostaa ongelmaa entistään, kun järjestelmä pyrkii siirtämään tuurnaa väärään suuntaan. Nauhan lommahtaessa menetetään tuotantoa ja tuotantoaikaa huomattavan paljon.

Kuvassa 7 näkyy jo alkavaa lommahdusta, kun tuurna siirtää kelaa reunaan ja nauha alkaa vääntymään. Tässä tilanteessa kumminkin ylätukirullat pelastivat nauhan lommahtamisen.



KUVA 7. Nauhan lommahdus (ruutukaappaus NETAVIS-videotallentimelta)

4.4 Operaattoreiden kertomia ongelmia

Operaattoreiden toiminta voi myös aiheuttaa osan ongelmista. Kun kela tuodaan tuurnalle, kela ei keskitetä kunnolla ja kela on alusta alkaen väärässä kohdassa. Vision-järjestelmä joutuu siis heti ajon alusta alkaen korjaamaan nauhan asemaa ja näin tapahtuu tarpeetonta tuurnan liikuttelua.

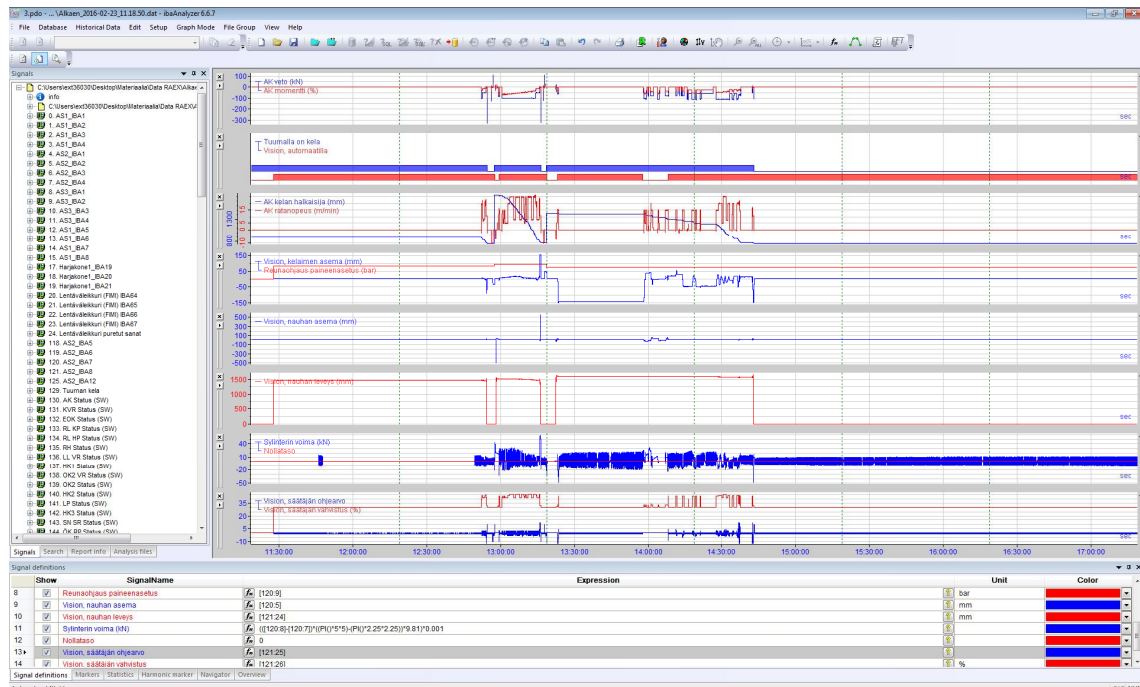
Taitteenestorullan käyttö voi vähentää reunaohjauksesta aiheutuvia ongelmia, mutta kaikki käyttäjät eivät sitä käytä joko ollenkaan tai tarpeeksi. Materiaalin naarmuuntuminen rajoittaa taitteenestorullan käyttöä. Myös Vision-järjestelmän kameroiden ja valonlähteen pölyntyminen aiheuttavat jonkin verran ongelmia. Epäiltiin myös, että kelanaukaisuasemalla kelan halkaisijaa mittaava anturi voi olla epäkunnossa tai sitä ei ole kalibroitu, jolloin kela osuu tuurnaan kun se tuodaan kelavaunulla aukikelaimelle.

5 ONGELMIEN TARKASTELU

Aukikelaimella esiintyviä ongelmia tarkasteltiin pitkälti analysoimalla dataa ja videoita erinäisillä ohjelmilla. Pääasialliset työkalut olivat IbaAnalyzer-datananalysointiohjelmisto ja NETAVIS-videotallenninohjelmisto. ALMAa käytettiin mm. laitteiden piirustuksien ja piirikaavioiden etsimiseen ja analysointiin. Näiden analyysien rinnalle otettiin myös laskennallinen analysointi, eli kitkavoimien ja lommahdusvoimien laskut.

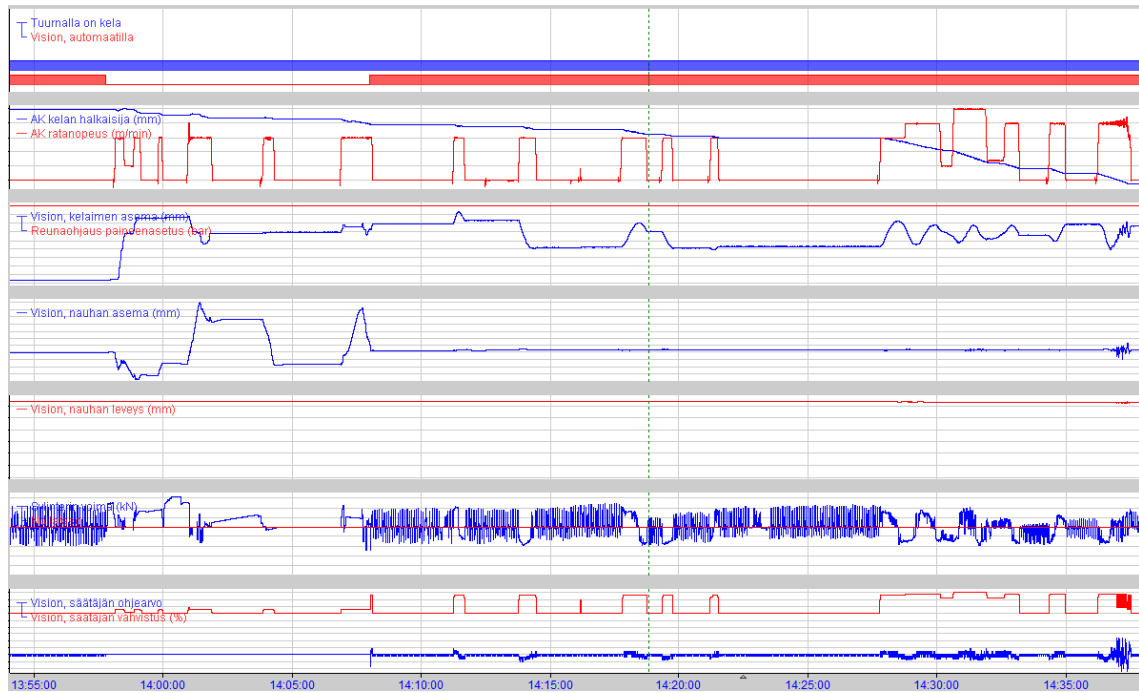
5.1 IbaAnalyzer

IbaAnalyzerillä voidaan tutkia ja analysoida prosessista saatavaa dataa ja signaaleja. Ohjelmalla voi myös tehdä omia signaaleja ja kaavoja analysoinnin tukemiseksi. Se myös tallentaa datan kovalevylle, jolloin myös vanhemman datan analysointi onnistuu. Aukikelaimelta saatavia signaaleja oli tarpeeksi ongelmien analysointia varten, joskin analyysiin lisättiin suoraan sylinterin siirtovoimaa kuvaava signaali (kuva 8).



KUVA 8. IbaAnalyzerin signaaleja (ruutukaappaus IbaAnalyzer-ohjelmasta).

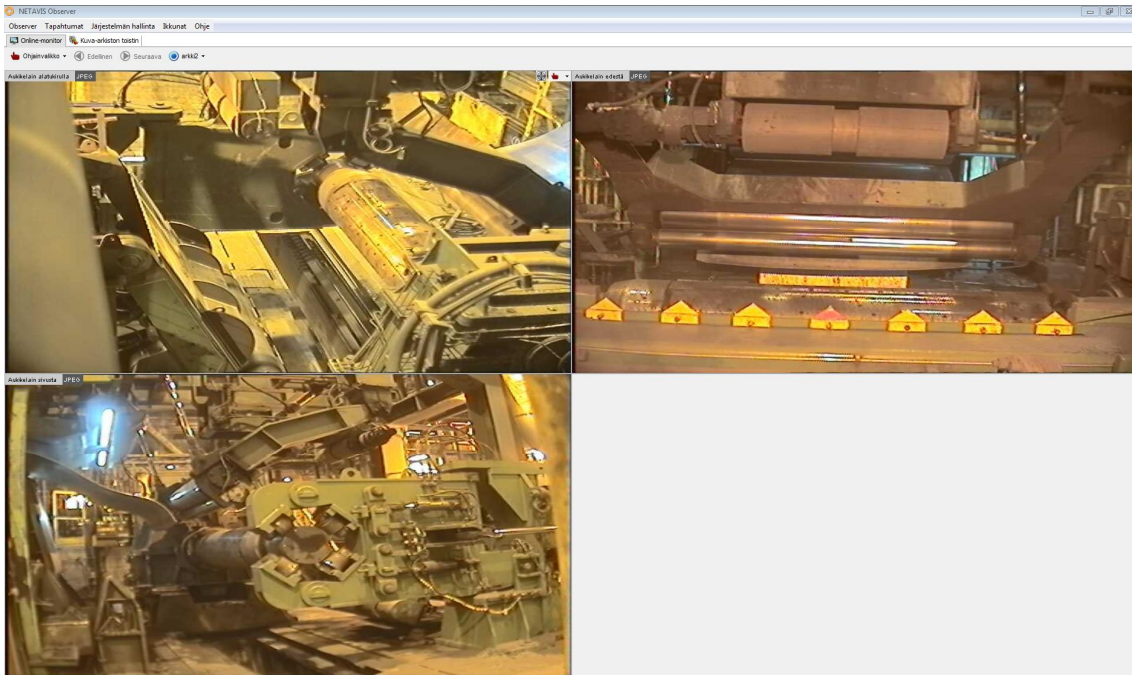
IbaAnalyzerillä pystyttiin tarkastelemaan signaaleja ajon aikana ja vertailemaan normaalitilanteita poikkeaviin tilanteisiin. Sillä pystyi myös tarkastelemaan eri muuttujien vaikutusta toisiinsa, esimerkiksi kuinka nauhan leveyden vaihtelu vaikuttaa voimasäätöön ja kuinka nauhan asema muuttuu ajon aikana. Kuvassa 9 on esimerkki hyvin levottomasta ajosta. Siinä aukikelaimen asema muuttuu hyvin paljon suhteessa keskiasemaan. Tämä näkyy ohjelmassa signaalina "Vision, kelaimen asema (mm)". Ajossa oleva kela oli myötölujuudeltaan luja ja ohut sekä suorasammutettu eli yksi ongelmakelojen kategoriaan kuuluvista.



KUVA 9. Esimerkki hankalasta ajosta, jossa paljon levottomuutta (kuvakaappaus IbaAnalyzer-ohjelmasta).

5.2 NETAVIS Observer

NETAVIS Observer on videontallennusohjelma, jolla pystyy katsomaan sekä reaaliaikaista videokuvaa että vanhempaa tallennettua videokuvaa. Tarkasteluun voi ottaa maksimissaan neljä kameraa kerrallaan. Tarvittavat kamerat aukikelaimen (kuva 10) ongelmien tarkasteluun on olemassa.



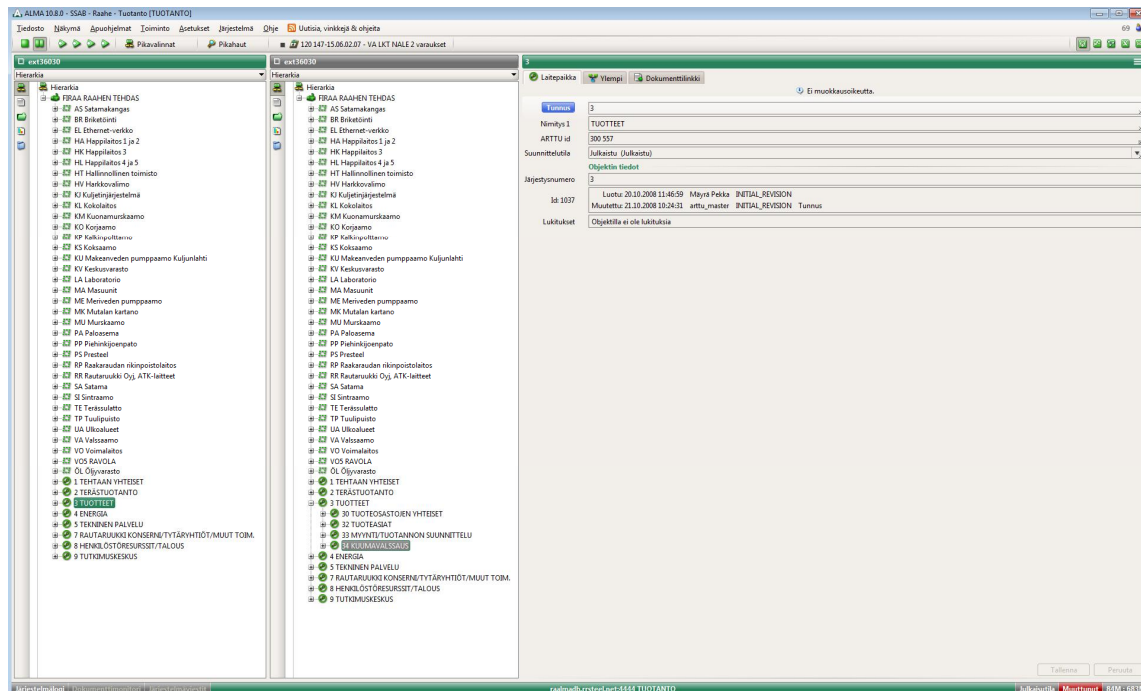
KUVA 10. NETAVIS-ohjelman näkymä, kuvassa aukikelain päältä ja kummaltakin sivulta (kuvakaappaus NETAVIS-videotallentimelta).

NETAVIS-ohjelmalla pystyi analysoimaan hyvin esimerkiksi nauhan luistamisia ja tuurnan reunaan ajoja. Se toimikin hyvänä tukiohjelmmana IbaAnalyzerille, kun haluttiin tarkastella jotain poikkeavaa tapahtumaa ajon aikana tai huomattiin merkittäviä muutoksia signaaleissa.

5.3 ALMA

ALMA tarjoaa projektienhallintaan erinomaiset ratkaisut. Sillä voidaan hoitaa keskitetysti projektien tiedon- ja dokumentaationhallinta projektin esisuunnittelu- vaiheesta lähtien sen luovutukseen ja ylläpitovaiheeseen asti. Järjestelmää voidaan hyödyntää myös projektin jälkeen (teknisen dokumentoinninhallinta-, kunnossapito-, suunnittelujärjestelmä), jolloin projektissa syntyneitä tietoja ei tarvitse siirtää sen jälkeen erillisiin järjestelmiin. (5)

ALMAsta katsottiin muutamia laitteisiin liittyviä asioita ja prosessikaavioita sekä laitteiden liitäntöjä ja sijoittelua. Kuvassa 11 on ALMAN yleisnäkymä.



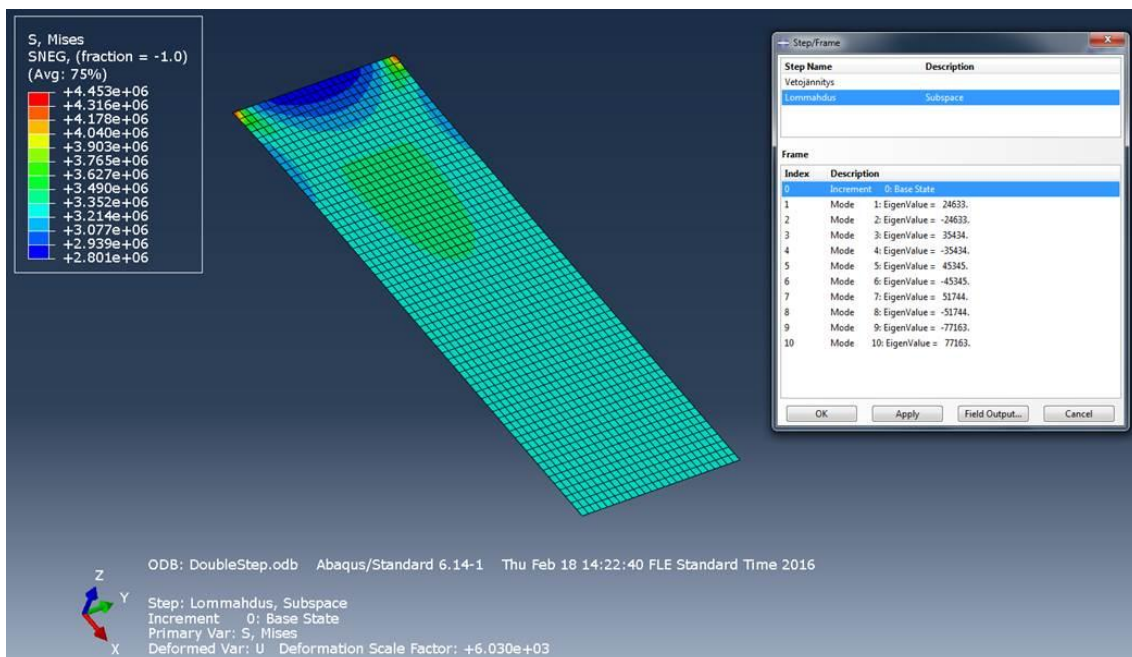
KUVA 11. ALMAN yleisnäkymä (ruutukaappaus ALMA-toiminnanohjausjärjestelmästä)

5.4 Laskut

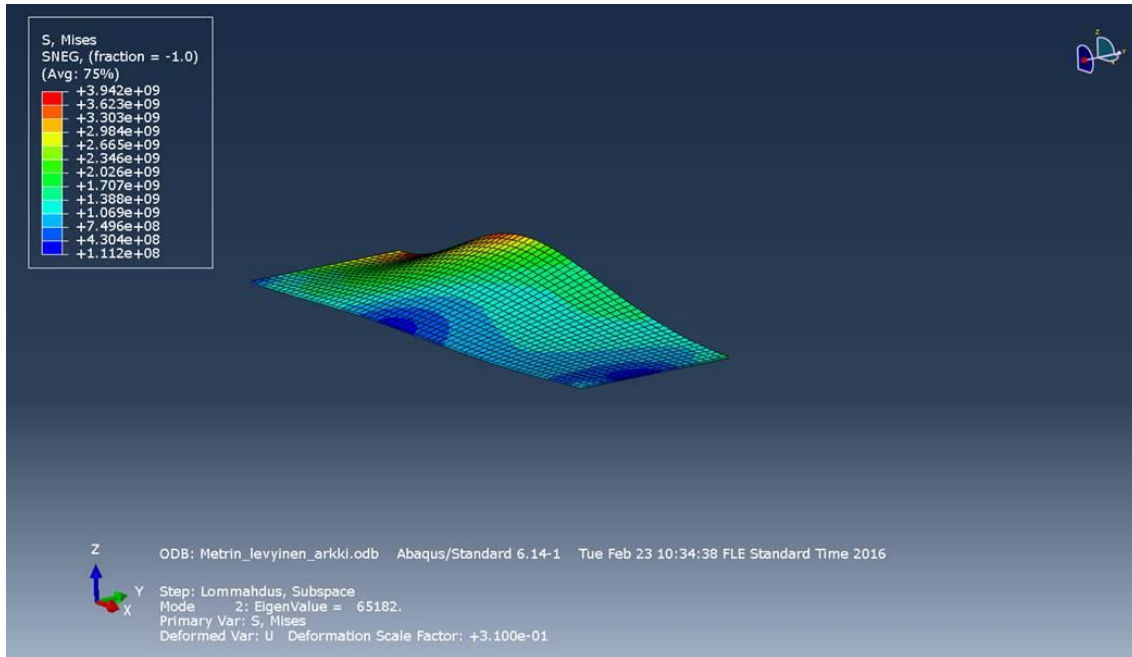
Ongelman laskennallisessa näkökulmassa keskityttiin kahteen pääteemaan: lommahdusvoima ja kitkavoima. Nämä kaksi asiaa ovat vahvasti kytköksissä toisiinsa: kun kitkavoima nauhan ja kelan välillä ylittyy ja nauha alkaa luistamaan, lommahduksen vaara kasvaa radikaalisti, kun voimasäätö alkaa säätää tuurnaa liikaa reunaa kohti.

5.4.1 Lommahdusvoima

Lommahdusvoiman laskuille on oma Excel-taulukko, jolla laskeminen tapauskohtaisesti sujui nopeasti. Lommahdusvoiman kaavat on johdettu FEM-mallinnuksen kautta. Samat kaavat eivät toimi muissa prosesseissa, sillä mallinnus on tehty juuri tätä prosessia varten ja nauhan etäisyys ja tuenta on määritetty juurikin tätä prosessia varten (kuva 12). Analyysi nyt toteutettu niin, että nauhassa vallitsee 8–10 MPa:n vetojännitys. Sama veto säilyy, kun lommahdusvoima alkaa vaikuttamaan, jota havainnollistetaan kuvalla 13.



KUVA 12. Analyysin lähtökohta (ruutukaappaus ABAQUS 6.14-ohjelmasta).



KUVA 13. Lommahduksen mallintaminen (ruutukaappaus ABAQUS 6.14 -ohjelmasta).

Lommahdusvoima voidaan laskea kaavoilla 2, 3 ja 4. Liitteessä 3 on esitetty molempien kaavojen mallinnus Excelissä. Kaavat on poistettu tilaajan pyynnöstä.

5.4.2 Kitkavoima

Kitkavoiman laskentaan kehitettiin yksinkertaistettu malli soveltamalla kaavaa 5 (6, s. 45). Kaavat on poistettu tilaajan pyynnöstä.

Poistettu tilaajan pyynnöstä

Käärintäkulma voidaan laskea soveltamalla kaavaa 7 (7 s. 93). Käärintäkulmaa havainnollistetaan kuvalla 14. Kuvat ja kaavat on poistettu tilaajan pyynnöstä.

Poistettu tilaajan pyynnöstä

Poistettu tilaajan pyynnöstä

Poistettu tilaajan pyynnöstä

Kitkavoiman laskuissa käytettiin Excel-taulukkolaskentaa, joka on esitelty kuvassa 16 ja 17. Taulukkoon voitiin määrittää kelan ominaisuudet, kuten paksuus, lujuus, leveys sekä se, onko kela suorasammutettu vai kuuma. Tämä helpotti kelojen analysointia ajon aikana tapauskohtaisesti. Kuvat ja kaavat on poistettu tilaajan pyynnöstä.

Poistettu tilaajan pyynnöstä

6 TULOSTEN TARKASTELU

Laskujen perusteella tehtiin mallinnukset, joita voidaan käyttää voimasäädön perustana. Kitkalaskujen pohjalta tehty analyysi osoittautui toimivaksi, joskin aivan äärimmäisissä tapauksissa laskut eivät pidä paikkaansa. Nämä tapaukset ovat paksuja ja lujia keloja, joiden kohdalla vetotaulukosta asetusarvoksi otettu veto ei toteudu. Lommahduslaskut osoittautuivat myös toimiviksi ja tukevat havaintoja.

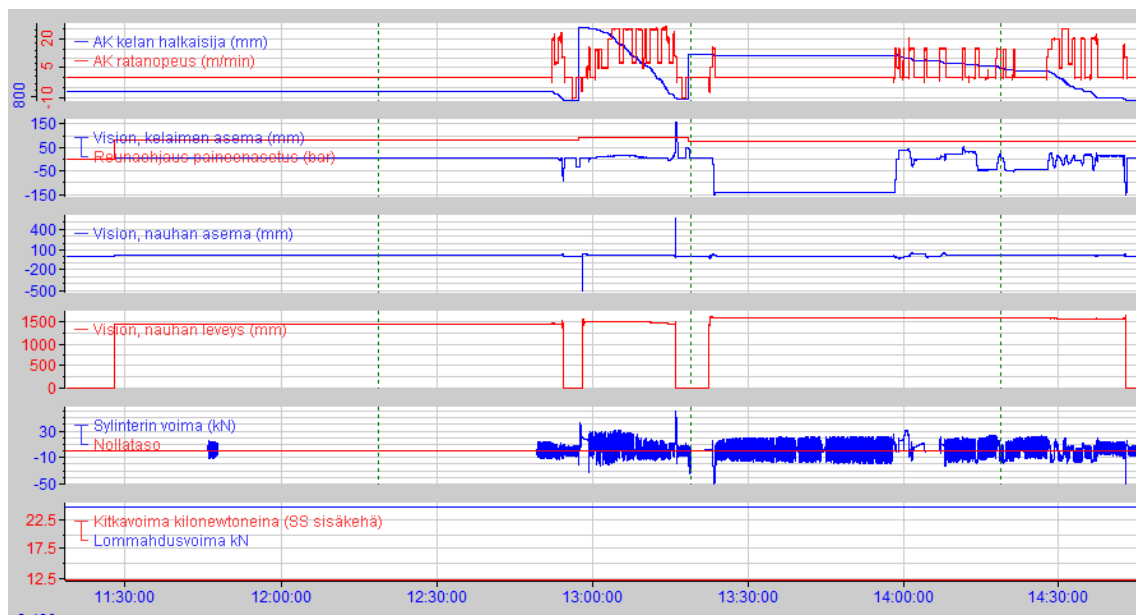
6.1 Kitkavoimien mallinnus

Kuvat ja kaavat on poistettu tilaajan pyynnöstä.

Näiden kaavojen pohjalta laskettiin Excelissä kitkavoimia. Kaavojen pohjalta tehtiin IbaAnalyzerille analyysi (kuva18), jolla voidaan seurata kitkavoimaa ajon aikana. Kitkalaskuissa vetoarvoksi otettiin suorasammutetun kelan sisäkehän vetoarvo (kaava 19), sillä tällöin kitkavoima on pienimmillään ja luistamisen vaara on suurin. Tämä myös tukee haluttua ajattelutapaa, jossa tuurnan voimaa haluttaisiin säätää reilusti alle minimikitkavoiman. Kitkavoima ei näin ollen kuvan 18 tarkastelussa muutu ajon aikana, sillä se on kyseisen kelan minimikitkavoima.

6.2 Lommahduksen mallinnus

Lommahdusvoimasta tehtiin analyysi IbaAnalyzerille lommahdusvoimalaskentojen perusteella. Kuvassa 18 on esitetty lommahdusvoima yhdessä kitkavoiman kanssa. Lommahdusvoiman analyysiin ei vaikuta mikään tekijä ajon aikana, joten se pysyy stabiilina.



KUVA 18. Kitka- ja lommahdusvoimien analyysi IbaAnalyzerissä (ruutukaappaus IbaAnalyzer ohjelmasta).

6.3 Voimasäädön kehittäminen mallien pohjalta

Poistettu tilaajan pyynnöstä

7 YHTEENVETO

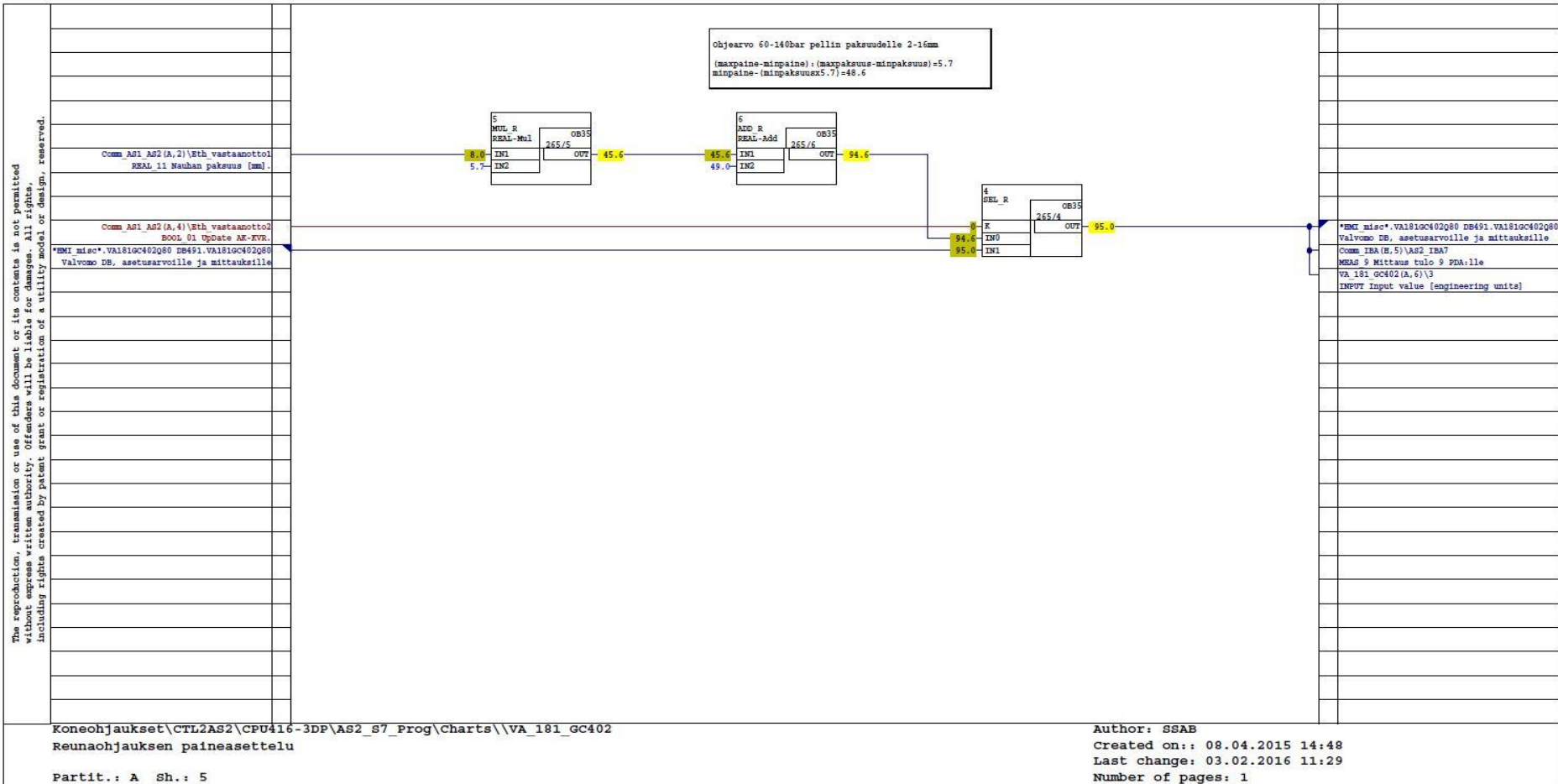
Työn päätarkoituksena oli tutkia aukikelaimen voimasäädön ongelmia ja sen kehittämistä Nauhalevyleikkauslinjalla 2. Erityisesti ongelmatilanteita aiheuttavat myötölujuudeltaan lujat ja ohuet suorasammutetut kelat. Pääpaino tarkastelussa olikin juuri näissä ongelmakeloissa. Analysoitaessa verrattiin käyttäytymistä ajon aikana suhteessa paksumpiin ja myötölujuudeltaan pienempiin keloihin, joissa ei ongelmia ilmentynyt. Ongelmista otettiin käsittelyyn kaksi pääteemaa: nauhan lommahdus ja luistaminen kierrosten välissä. Ongelmia lähestyttiin laskennallisesta näkökulmasta. Laskennat tukivat analyysyjä hyvin ja niiden pohjalta voidaan kehittää voimasäätöä toimivammaksi.

Tutkimuksen tulokset osoittavat sen, että tuurnan siirtovoima on tällä hetkellä liian suuri ja se aiheuttaa nauhan luistamista ja lommahtamista. Voidaan siis päätellä, että nauhan ohjattavuus säilyisi hyvänä ja jopa paranisi voiman pienentämisen johdosta. Kitkavoimien tutkimista vaikeutti hieman kitkakertoimen määrittäminen, sillä jotkut kelat ovat märkiä ja jotkut kuivia. Tavoitteeseen päästiin, eli saatiin kehitettyä malli jota voidaan käyttää voimasäädön kehitykseen. Tuloksien luotettavuus on hyvä, mutta aivan äärimmäisissä tapauksissa kitka- ja lommahduslaskut eivät enää pidä paikkaansa. Näitä tapauksia ovat todella paksut ja myötölujuudeltaan lujat kelat, mutta voimasäädön malli toimii suurimmalle osalle prosessoitavaa materiaalia.

Alkuperäisistä tavoitteista poiketen uuden voimasäädön testaaminen jää tulevaisuuteen. Kehitettyä voimasäädön mallia tullaan käyttämään myös nauha-valssaamon muilla linjoilla, sillä tuloksia pidetään luotettavina. Työ oli todella haastava mutta erittäin mielenkiintoinen.

LÄHTEET

1. SSAB. Leikatut kelatuotteet. 2016. Saatavissa: http://intra.rrsteel.net/sites/raahecollaboration/tehtaan_yhteiset/raahe_esitte-ly/Osastojen%20esittelyaineisto/Peittaus%20ja%20Leikatut%20kelatuotteet.pptx. Hakupäivä 30.3.2016.
2. Rautaruukki Oyj Raabe, Kuumavalssaamo NALE2, Aukikelaimen reunanohjaus, Toimintakuvaus. 2016. SKS Vision Systems.
3. SSAB Europe. SSAB. Saatavissa: <http://www.ssab.fi/SSAB-konserni/Tietoja-SSABsta/Liiketoiminta/SSAB-Europe>. Hakupäivä 30.3.2016.
4. Teräsopas. Staattiset lujuus- ja sitkeysominaisuudet. Myötölujuus. Saatavissa: <http://www.elisanet.fi/harri.nevalainen/tietoisk/staattiset/sot.htm>. Hakupäivä 20.4.2016.
5. ALMA. Ratkaisuja elinkaaren eri vaiheisiin. Saatavissa: <http://www.alma.fi/ratkaisut/projektit-ja-projektienhallinta-0>. Hakupäivä 13.4.2016.
6. Conveyor Belt System Desing Service Manual. 2008. Continental.
7. Tekniikan kaavasto. 2005. Tampere: Tammertekniikka Oy.



Poistettu tilaajan pyynnöstä

Poistettu tilaajan pyynnöstä

Poistettu tilaajan pyynnöstä