

Joonas Turtiainen

Soodakattiloiden kunnonvalvonta

Stora Enso Oyj Sunila

Opinnäytetyö
Energiatekniikka

Lokakuu 2016

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Joonas Turtiainen	Insinööri AMK	Lokakuu 2016
Opinnäytetyön nimi		38 sivua 21 liitesivua
Soodakattiloiden kunnonvalvonta		
Toimeksiantaja		
Stora Enso Sunila Oyj		
Ohjaaja		
Lehtori Tuomo Pimiä		
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena luoda tietokantasovellus Exceliin, jolla pystyttäisiin varautumaan paremmin tuleviin huoltoseisokkeihin soodakattiloiden osalta. Tietokantasovelluksessa on keskitytty Stora Enso Sunila Oyj:n sellutehtaalla toimivien kahden soodakattilan putkistojen seinämäpaksuuksiin. Seinämäpaksuuksia on mitattu molemmista kattiloista höyrystimen ja tulistimien osalta. Suoritetut NDT-mittaukset sijoittuvat aikavälille 2005 – 2015, jolloin on saatu koottua riittävän kattava mittaushistoria, josta näkee eri putkistojen seinämäpaksuuden vaihtelun.</p> <p>Työn teoreettisessa osiossa on keskitytty soodakattiloiden rakenteeseen ja palamisprosessiin, sekä on käyty läpi Sunilan sellutehtaalla huoltoseisokeissa yleisimmin käytetyt NDT-mittausmenetelmät. Soodakattiloiden käytön turvallisuudessa on pyritty huomioimaan painelaitelain asettamat määräykset ja kattojärjestönä toimivan Suomen Soodakattilayhdistys ry:n toiminta. Tietokantasovelluksen luominen ja uusien mittaustulosten syöttäminen ohjelmaan on käsitelty osana tätä kokonaisuutta.</p> <p>Koska Sunilan kokoluokan sellutehtaan täysi pysäyttäminen aiheuttaa liikevaihdollisesti katsottuna merkittäviä tulonmenetyksiä, ovat huoltoseisokit syytä pitää mahdollisimman lyhyinä. Exceliin luodun tietokantasovelluksen avulla pyritään helpottamaan huoltoseisokkiin varautumista, jotta jo valmiiksi tiedettäisiin, mitkä kattilan osat vaativat mahdollista uusimista tai tarkempaa tarkastelua. Samalla kyetään vaikuttamaan varastoituihin materiaalmääriin, jolloin pääoman sitominen turhiin varastoihin pienenee. Mikäli nyt luodulla sovelluksella kyetään vaikuttamaan huoltoseisokin aikataulun lyhentymiseen edes tunneilla, voidaan puhua kymmenien tuhansien eurojen säästöistä koko tehtaan käynnistymisen osalta.</p>		
Asiasanat soodakattila, kunnonvalvonta, Excel, NDT-mittaus		

Author (authors)	Degree	Time
Joonas Turtiainen	Bachelor of Engineering	October 2016
Thesis Title		
The Condition Monitoring of Recovery Boilers		38 pages 21 pages of appendices
Commissioned by		
Stora Enso Sunila Oyj		
Supervisor		
Tuomo Pimiä, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>The objective of this thesis was to create a database application into Excel-software which could help preparing for the next maintenance shutdown, concerning the recovery boilers. The basis of the application is the recovery boilers' wall thicknesses development in Stora Enso's pulp mill at Sunila. Wall thicknesses are measured both in the evaporator and the superheater areas. The sampling interval of these measurements is between 2005 – 2015, which ensures the reliability of the gathered data concerning the wall thicknesses' deterioration.</p> <p>The theoretical part of this thesis focused on the structure of the recovery boiler and the combustion process. Also the generally used NDT-measurement methods at the mill of Sunila were thoroughly scrutinized. The safety aspects of using the recovery boilers were taken into consideration and the behavior of the association by the name of Suomen Soodakattilayhdistys ry was observed. The creation of the database application and adding the new results of measurements into an application were also gone through as a part of this ensemble.</p> <p>Because the shutdown of the mill will become financially expensive, the schedule of the maintenance shutdown should have been kept to a minimum. Now, the created Excel-application should simplify the preparing for the shutdown whereupon there are known amount of spare parts and the areas that need allocated inspections. At the same time the application assists to control the stock values whereupon trifling investing in stocks will decrease. If this application can shorten the maintenance shutdown even by hours, the savings that consist of the whole mill's run-up are in tens of thousands of euros.</p>		
Keywords		
recovery boiler, wall thickness , Excel, NDT-measuring		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn rajausta ja tavoitteet.....	6
1.2	Työn toteutus	6
1.3	Toimeksiantaja.....	7
2	SOODAKATTILA	8
2.1	Työn kohteena olleet soodakattilat	8
2.2	Tulipesäprosessit.....	11
2.3	Palamisilman syöttäminen soodakattilaan	12
2.4	Soodakattilan rakenne	13
2.5	Soodakattiloiden käytön turvallisuus.....	15
2.6	Mahdollisia syitä putkien seinämäpaksuuden ohentumiselle	17
3	NDT-TARKASTUS.....	19
3.1	NDT-menetelmän valinta	19
3.2	Käytetyimmät NDT-menetelmät Sunilan sellutehtaalla	21
3.3	Ultraääniluotaus.....	21
3.4	Röntgenkuvaus.....	21
3.5	Tunkeumanestemenetelmä	22
4	TIETOKANNAN LUOMINEN EXCELIIN	23
4.1	Tietokannan luomiseen käytettyjä funktioita	23
4.2	Sovelluksen käyttäminen	24
4.3	Uusien mittaustuloksien lisääminen tietokantasovellukseen.....	28
5	TIETOKANTASOVELLUKSEN AVULLA SAAVUTETUT TULOKSET	31
5.1	SK10:n höyrystin.....	32
5.2	SK10:n tertiääritulistin.....	32
5.3	SK10:n sekundääritulistin	33
5.4	SK10:n primääritulistin	34
5.5	SK11:n höyrystin.....	34
5.6	SK11:n sekundääritulistin	35
5.7	SK11:n tertiääritulistin.....	35

5.8	Pohdintaa	36
6	YHTEENVETO JA TYÖSSÄ SAAVUTETUT TULOKSET	36
	LÄHTEET	37

LIITTEET

Liite 1/12 Soodakattila 10 tertiääritulistimen analysointikuvat

Liite 2 – 7/12 Soodakattila 10 sekundääritulistimen analysointikuvat

Liite 7/12 Soodakattila 10 primääritulistimen analysointikuva

Liite 8 – 11/12 Soodakattila 11 sekundääritulistimen analysointikuvat

Liite 12/12 Soodakattila 11 tertiääritulistimen analysointikuva

Liite 13 – 21/21 Ohje tietokantasovelluksen käyttöön sekä uusien mittaustulosten li-
säämiseksi ohjelmaan

1 JOHDANTO

1.1 Työn rajaus ja tavoitteet

Tässä työssä keskityttiin luomaan Excel-pohjainen tietokanta, jonka avulla Stora Enso Oyj Sunilan tehtaan henkilöstö kykenee seuraamaan soodakattiloiden seinämäpaksuuden kehittymistä. Tietokantaan pyrittiin kokoamaan riittävän kattava mittaushistoria vuosilta 2005–2015, jotta realistisesti voidaan havaita soodakattiloiden seinämäpaksuudessa tapahtuvat muutokset. Tällöin mittaukseen vaikuttavat tekijät, kuten mittausepävarmuus, mittalaitteen kalibrointi, mittauksen suorittavan henkilön ammattimaisuus sekä olosuhteet on saatu karsittua minimiin.

Soodakattiloissa ei keskitytty ainoastaan tulipesän alueella tapahtuviin seinämäpaksuusmuutoksiin, vaan työssä pyrittiin huomioimaan myös tulistimissa tapahtuvaa seinämäpaksuuden kehittymistä.

Tietokantasovellus helpottaa myös tuleviin huoltoseisokkeihin valmistautumista, sillä sitä seuraamalla osataan varautua hankkimaan varastoon riittävä määrä uutta materiaalia, mikäli putkivaihdoille ilmenee tarvetta.

1.2 Työn toteutus

Työn alkuvaiheessa pidimme Sunilassa opinnäytetyöhön liittyvän palaverin, jossa mietimme suuntaviivoja työlle. Sunilan henkilöstön puolelta toiveena oli, että soodakattiloista saataisiin luotua riittävän selkeä Excel-pohjainen sovellus, jonka avulla kyetään seuraamaan kattiloiden seinämäpaksuuden kehittymistä tulipesän sekä tulistimien alueella. Työltä haluttiin erityisesti sitä, että seinämäpaksuuden kehittymisestä olisi saatavilla trendi-näkymä, jossa näkyisi mittalinja- ja putkikohtaisesti putken seinämän oheneminen.

Excel valittiin sovelluksen käyttöliittymäksi sen takia, koska Sunilan tehtaan henkilöstöllä on siitä vahvin käyttökokemus, jolloin uuden ohjelman käyttökoulutukselle ei ilmene tarvetta.

Vaihtoehtoinen menetelmä Excelille olisi ollut luoda käyttöliittymä Microsoft Accessiin, jossa tietojen kokoaminen ja seuranta olisi ollut yhtä helppoa kuin

Excelissäkin. Accessin käyttöä harkitsimme vain hetken, sillä sekä työn tilaajalle että tekijälle ohjelma olisi ollut uusi ja näin ollen vaatinut liikaa panostusta molemmilta osapuolilta.

1.3 Toimeksiantaja

Stora Enso on yksi maailman ja Suomen johtavimpia uusiutuvien ratkaisujen tuottaja bio-, pakkausmateriaaleissa, puutuotteissa sekä paperin valmistuksessa. Heidän markkina-alueensa on maailmanlaajuinen ja asiakaskunta koostuu muun muassa pakkaus- ja rakennusalojen sekä paino-, kustannus- ja paperinmyyntialojen toimijoista. (Stora Enso 2015.)

Heidän tavoitteenaan on korvata uusiutumattomat materiaalit innovaation avulla sekä kehittää täysin uusia tuotteita ja palveluja, jotka perustuvat puun ja muiden uusiutuvien materiaalien käyttöön. He ovat keskittyneet erityisesti biomateriaali-innovaatioihin, kuitupohjaisiin pakkausmateriaaleihin, puuviljelmistä saatavaan selluun sekä kestävän rakentamisen ratkaisuihin. (Stora Enso 2015.)

Tällä hetkellä Stora Ensossa työskentelee maailmanlaajuisesti noin 26 000 henkilöä ja metsäyhtiö on noteerattu muun muassa Helsingin ja Tukholman pörsseissä. Yhtiön liikevaihto vuonna 2015 oli 10,0 miljardia euroa ja operatiivisen liiketuloksen osuus tästä oli 915 miljoonaa euroa. (Stora Enso 2015.)

Stora Enso pyrkii aktiivisesti hyödyntämään ja kehittämään uusiutuvien materiaalien asiantuntemusta, kyetäkseen täyttämään asiakkaittensa tarpeet ja ratkaistakseen monia tämänhetkisiä maailmanlaajuisesti raaka-aineisiin liittyviä haasteita. Heidän tuotteensa ovat ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja monille uusiutumattomista materiaaleista valmistetuille tuotteille, jolloin myös hiilijalanjälki on pienempi. (Stora Enso 2015.)

2 SOODAKATTILA

Sellunvalmistus Suomessa tapahtuu lähes yksinomaan sulfaattimenetelmällä, jonka keittoprosessissa syntyvän mustalipeän polttamiseen ja keittokemikaalien talteenottoon sekä regeneroimiseen suunniteltua kattilaa kutsutaan soodakattilaksi. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 163.)

Soodakattilaan syötettävää lipeää kutsutaan vahvalipeäksi, joka saadaan haihdutinsarjoilta, jossa mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on saatu nostettua haihdutinratkaisusta riippuen noin 60 – 80 %:iin. Se sisältää keittoprosessin aikana puusta liuenneen orgaanisen aineksen, joka vastaa arviolta noin puolta tehtaalle tulevan puun määrästä. Palavan aineksen lisäksi mustalipeä sisältää keittoprosessissa käytettyjä kemikaaleja, jotka pyritään ottamaan talteen ja regeneroimaan aktiiviseen muotoon uudelleen käyttöä varten. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 163–164.)

Soodakattilan päätehtävät sellutehtaalla:

- energian talteenotto mustalipeästä
- keittokemikaalien talteenotto ja regeneroiminen.

Nämä toimenpiteet edellyttävät, että mustalipeässä oleva orgaaninen (palava) aines ja epäorgaaninen (palamaton & keittokemikaalit sisältävä) aines on eroteltava toisistaan. Tämä tapahtuu siten, että orgaaninen aines poltetaan soodakattilassa, jolloin epäorgaaninen aines sitoutuu tuhkaan. Pedin lämpötilan ollessa riittävän korkea, tuhka poistuu kattilasta sulana sularännejä pitkin. Soodakattilat vaativatkin erikoisratkaisuja, joita muissa kattilatyypeissä ei ole. Tämä johtuu polttoaineen laadusta, kemikaalien talteenotosta sekä halutuista kemiallisista reaktioista. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 164.)

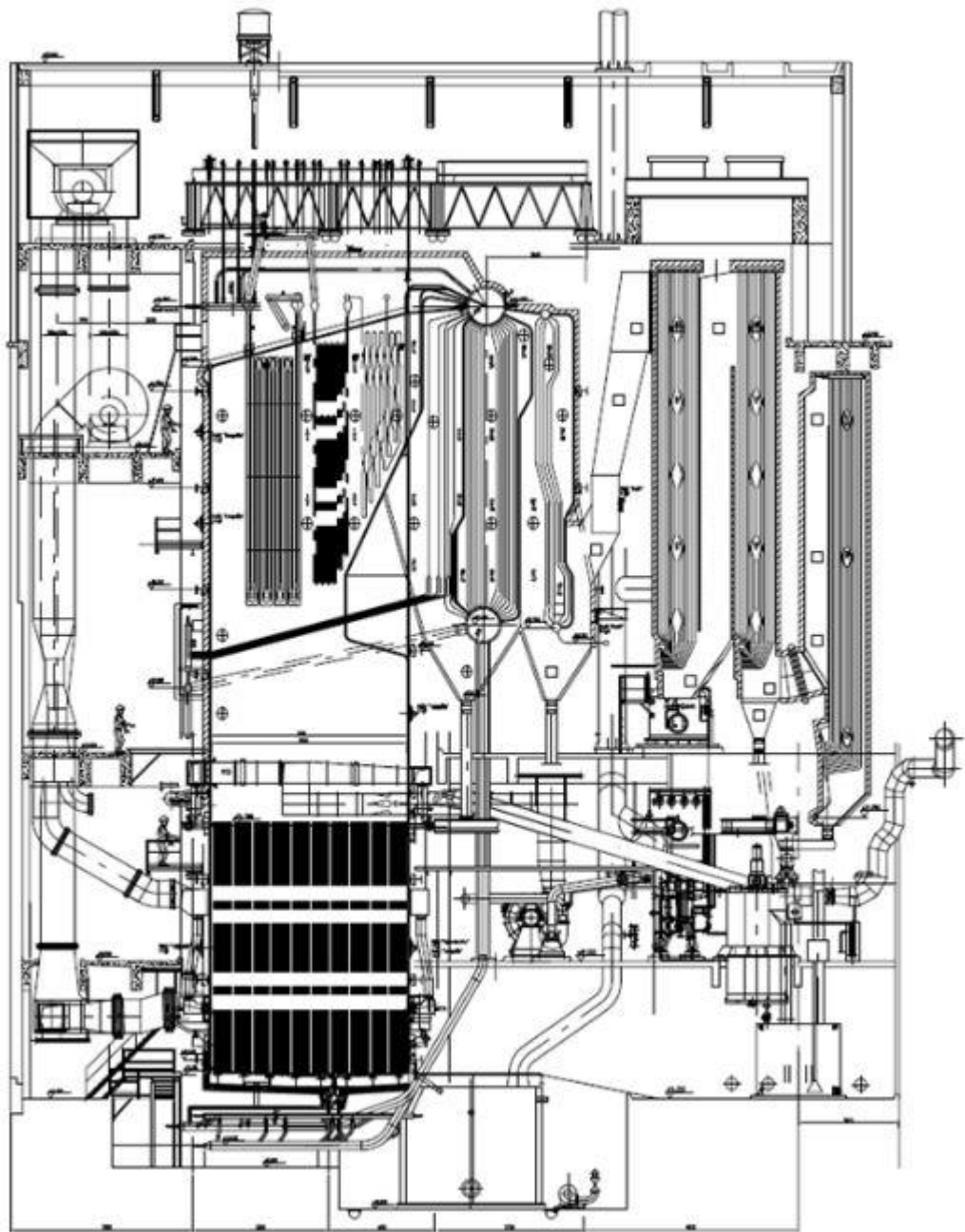
2.1 Työn kohteena olleet soodakattilat

Sunilan sellutehtaan voimalaitoksella on käytössä kaksi soodakattilaa SK10 & SK11 ja lisäksi apukattilana toimiva KK2, jossa poltetaan kuorimolla syntyvä

kuorijäte ja biologisella vedenpuhdistamolla syntyvä liete. Pääasiallisena kattiloiden tukipolttoaineena on maakaasu, mutta SK10:llä käytetään tukipolttoaineena kevyttä polttoöljyä.

SK10 ominaistiedot:

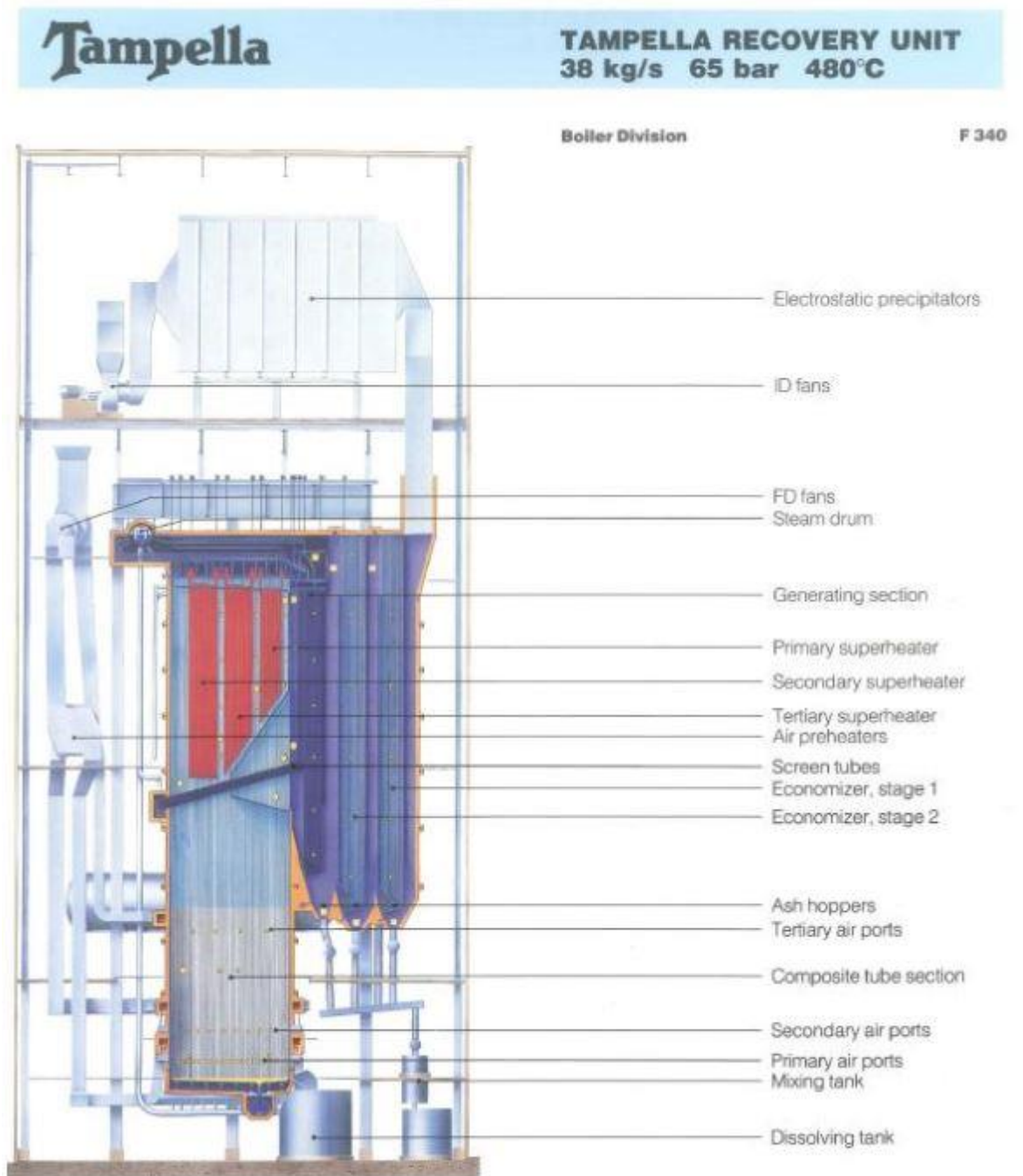
- rakennettu vuonna 1966
- rakenteeltaan kaksoislieriökattila
- teho 840 tonnia kuiva-ainetta/päivä
- käyttöpaine 7,95 MPa ja – lämpötila 480 °C



Kuva 1. Soodakattila SK10:n poikkipiirros. (Stora Enso Sunila piirustusarkisto 2016)

SK11 ominaistiedot:

- rakennettu vuonna 1988, valmistajana Tampella
- rakenteeltaan yksilieriökattila
- teho 1150 tonnia kuiva-ainetta/päivä
- käyttöpaine 8,5 MPa ja – lämpötila 480 °C



Kuva 2. Soodakattila SK11 poikkipiirros. (Stora Enso Sunila piirustusarkisto 2016)

2.2 Tulipesäprosessit

Soodakattiloiden tulipesät mitoitetaan huomattavasti suuremmiksi kuin esimerkiksi hiilipölykattiloiden tulipesät. Syynä tähän on käytettävän polttoaineen, mustalipeän, ominaisuudet. Mustalipeän sisältämä vesi, sekä poltossa syntyvän tuhkan ominaisuudet ja myöskin tulipesän alaosaan syntyvän pelkistävien olosuhteiden aikaansaamiseksi on tulipesä mitoitettava riittävän suureksi. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 529.)

Tavallisin mustalipeän ruiskutuskorkeus tulipesään on noin 5 – 6 metriä. Lipeä pyritään hajottamaan pisaroiksi lusikkasuuttimia apuna käyttäen. Lipeän tyyppilinen pisarakoko on muutamia millimetrejä, joka tarkoittaa sitä, että pisarat jäävät melko suuriksi. Suuren pisarakoon tarkoitus on, että pisarat putoaisivat tulipesän pohjalle ja kuivuisivat matkalla. Lipeäpisaran varsinaisen palamisen halutaan tapahtuvan pohjan läheisyydessä, tarkemmin sanottuna pohjalle muodostuvan keon pinnalla. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 530.)

Mustalipeän ruiskuttamisessa pyritään välttämään tulipesän yläosaan karkaavien pisaroiden määrää, jota kutsutaan carry-overiksi. Tämän ilmiön ehkäiseminen tapahtuu välttämällä liian pienen pisarakoon syntymistä lusikkasuuttimilla. Tulipesän pohjalle on saatava riittävästi palamatonta lipeäkoksia, jotta saavutettaisiin pelkistävät olosuhteet. Olosuhteet saavutetaan ainoastaan riittävän suurta pisarakokoa käyttämällä, jolloin rajaavaksi tekijäksi pisarakoolle voidaan määrätä tulipesän pohjalla olevan keon kasvaminen liian korkeaksi. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 530.)

Pelkistävien olosuhteiden luominen vaatii myös, että kattilan pohjalle syötetään primääri-ilmaa riittävästi, jolloin keon lämpötila pysyy halutuissa rajoissa, noin 1000 – 1100 °C:ssa. Tällöin saadaan hiili palamaan keossa epätäydellisesti ja muodostuu hiilimonoksidia. Primääri-ilmamäärän ollessa liian pieni, myös keon lämpötila pysyy liian alhaisena. Jos ilmamäärä on taas liian suuri, johtaa se natriumsulfaatin huonoon reduktioon. Pelkistysvyöhykkeessä natriumsulfaatti pyritään saamaan pelkistettyä mahdollisimman täydellisesti natriumsulfidiksi. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 72.)

2.3 Palamisilman syöttäminen soodakattilaan

Puhuttaessa konventionaalisesta ilmajärjestelmästä, tarkoitetaan sellaista palamisilman syöttämistä kattilaan, joka tulee kolmelta eri tasolta. Kyseessä ovat primääri-, sekundääri- ja tertiääri-ilmatasot. Primääri-ilmaa, jonka osuus kokonaispalamisilmasta on noin 30 – 40 %, syötetään kattilaan jokaiselta neljältä seinämältä, aivan tulipesän pohjan tuntumasta. Primääri-ilman tarkoituksena on varmistaa kattilan pohjalle putoavien lipeäpisaroiden koksijäännösten palaminen, jolloin kyetään hallitsemaan keon palamisolosuhteita ja varmistamaan rikin pelkistymistä sulfidiksi. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 532.)

Sekundääri-ilma syötetään kattilaan joitakin metrejä primääri-ilmatason yläpuolelta. Sekundääri-ilman osuus kokonaispalamisilmasta on tyypillisesti noin 40 – 50 %. Suuremmissa kattiloissa sekundääri-ilma toimii samalla tavalla primääri-ilman kanssa, vaikuttaen keon palamisolosuhteisiin. Myöskin osa sekundääri-ilmasta osallistuu tertiääri-ilman tavoin polttamaan palavia kaasuja, joita syntyy keon pinnalla sekä pyrolysoituissa pisaroissa. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 532 – 533.)

Tertiääri-ilmataso sijaitsee lipeäsuuttimien yläpuolella ja on näin ollen korkein ilmataso. Tertiääri-ilman osuus kokonaispalamisilmasta on noin 10 – 30 % ilmajaosta riippuen. Sekundääri-ilman tavoin tertiääri-ilma osallistuu palavien kaasujen polttamiseen kattilassa, sekä pyrkii varmistamaan lipeän loppuun palamisen ilman, että lipeäpisarat karkaavat tulipesän yläosiin. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 532 – 533.)

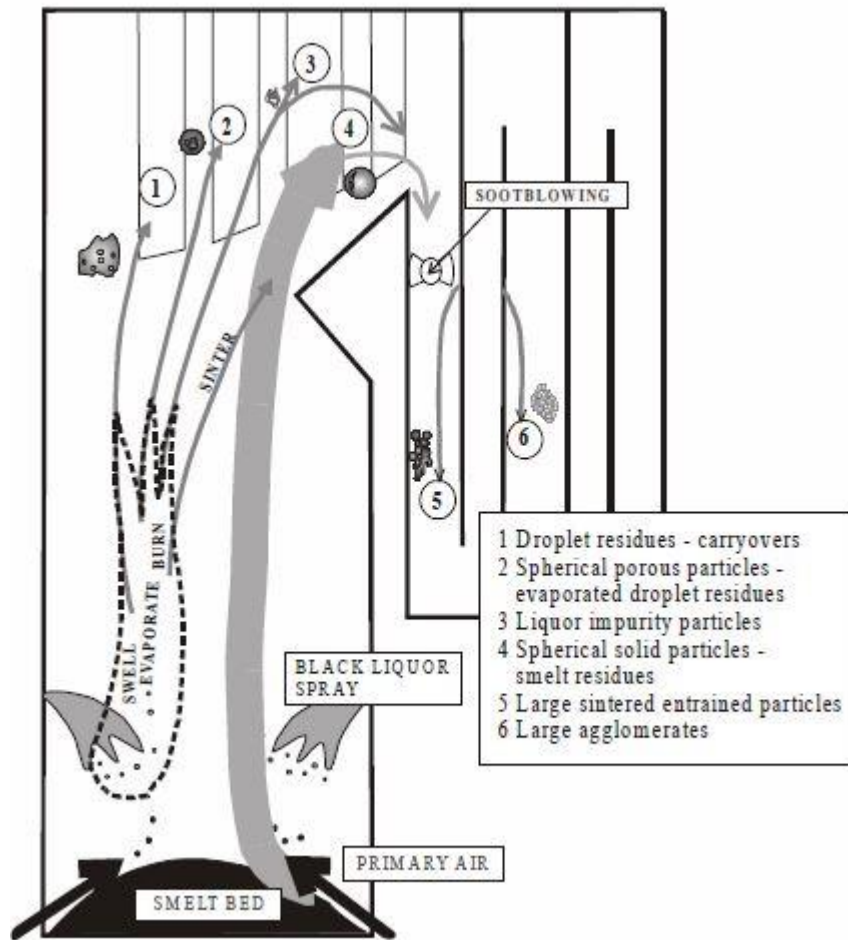
Polton ja ilmajaon onnistumista voidaan tarkastella kahdella tavalla. Näitä indikoivat savukaasujen O_2 (happi)- ja CO (hiilimonoksidi)-pitoisuudet. Hyvä palaminen ja ilmajako on saavutettu silloin, kun CO-taso pysyy riittävän alhaalla mahdollisimman pienellä happiylimäärällä. Toinen soodakattiloiden palamisen onnistumista kuvaava mittari on lipeäpisaroiden pysyminen kattilan alaosassa. Mitä vähemmän lipeäpisaroita kulkeutuu kattilan yläosiin ja sitä kautta savukaasukanavaan, sitä parempi palaminen on kyseessä. Carry-over-hiukkaset tarttuvat erityisen helposti tulistinputkiin, aiheuttaen vaikeasti nuohottavia suolakerrostumia, jotka estävät lämmönsiirtymistä ja aiheuttavat etenkin korroosiota. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 533.)

2.4 Soodakattilan rakenne

Soodakattilat ovat luonnonkiertokattiloita, sillä tuorehöyryn ominaisarvot ovat tyypillisesti paineen osalta 85 baaria ja lämpötila 480 °C. Tätä korkeampia paineita ei yleisesti korroosiovaaran takia käytetä. Tärkein mitoitustilasto soodakattilalle on kattilan prosessoiman kuivan mustalipeän määrä vuorokautta kohti (tka/vrk). (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 74.)

Soodakattiloissa on normaalisti pystyputkiset ekonomaiserit (syöttöveden esilämmittimet), joita kattilakohtaisesti on usein kaksi kappaletta. Ekonomaiserit koostuvat kokoojaputkien väliin sijoitetuista putkinipuista, joihin vesi tuodaan viileimmässä savukaasuvyöhykkeessä sijaitsevan ekonomaiserin alaosaan, josta vesi virtaa savukaasuihin nähden vastavirtaan esilämmittimen yläosaan. Lämmennyt syöttövesi johdetaan seuraavan ekonomaiserin alaosaan ja niin edelleen. Ekonomaiserit ovat yleisesti sijoitettu siten, että savukaasuvirtaus kulkeutuu niiden pinnalla ylhäältä alaspäin. Kahden vierekkäisen ekonomaiserin väliin jää niin kutsuttu tyhjä veto, jossa savukaasut kulkevat ylöspäin. Tämä rakenteellinen ratkaisu auttaa lämpöpintoja pysymään paremmin puhtaina, jottei lentotuhka tartu ja tuki putkinippujen välejä. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 74.)

Soodakattiloissa käytetään yleisesti höyrylämmitteisiä ilman esilämmittäjiä savukaasulämmitteisten sijaan, joilla polttoilma lämmitetään haluttuun noin 150 °C:n lämpötilaan. Polttoilman syöttämiseen on viime aikoina pyritty kiinnittämään huomiota, sillä huono ilmajako aiheuttaa tulipesässä mustalipeän karkaamista tulistinosiin. Suuntaamalla ilmasuihkut vastakkaisilta seiniltä toisensa lomaan, saadaan merkittävästi vähennettyä mustalipeän kulkeutumista tulipesästä tulistimille, eli ehkäistystä carry-overia. Perinteinen tapa on ollut suunnata ilmasuihkut toisiaan vasten, jolloin ilmavirtojen kohdatessa tulipesän keskellä on syntynyt voimakas ylöspäin suuntautuva ja lipeäpisaroita kuljettava ilmavirtaus. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 74.)



Kuva 3. Carry-over-ilmiö. (Mikkanen 2000, 57)

Verhoputkien olemassa olo on tyypillinen kattilarakenne soodakattiloissa. Ne toimivat osana soodakattilan höyrystinputkistoa ja suojaavat tulistinosia tulipesän säteilyltä, sekä alentavat savukaasujen lämpötilaa ennen kuin ne kohtavat tulistimet. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 74.)

On myös tyypillistä, että osa höyrystinputkista on sijoitettu tulistimien jälkeen. Aiemmissa soodakattiloissa niin kutsuttu konvektiohöyrystin sijoitettiin kahden lieriön väliin, jossa vesi pääsi kiertämään luonnonkierrolla. Nykyisin soodakattiloissa, kuten kaikissa luonnonkiertokattiloissa on vain yksi lieriö ja konvektiohöyrystimistä on luovuttu. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 74.)

Soodakattiloiden tulipesän seinämäputkia pyritään suojaamaan erilaisin keinoin, sillä ne ovat alttiina sulan aiheuttamalle korroosiolle. Yleisin keino on ollut hitsata tapit tulipesän pohjaan, sekä primääri-ilmasuuttimien alapuoliselle seinäosuudelle. Tappien tarkoituksena on ollut muodostaa putkiston pintaan

jähmeä ja paksu sulakerros, joka hidastaa tehokkaasti korroosiota. Sulakerroksen lisäksi, tapituksen varaan on voitu myös kiinnittää keraamista massaa, jolla on samanlainen korroosiota ehkäisevä vaikutus. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 74.)

Seinämäosuuksilla primääri-ilmasuuttimien tasolta sekundääri-ilmasuuttimien tasolle asti käytetään niin kutsuttua compound-putkea. Compound-putki on normaalia kattilaputkea, johon on valmistusvaiheessa metallurgisella sidoksella kiinnitetty suojaava kerros ruostumatonta austeniittista terästä. Austeniittinen teräs kestää tulipesäolosuhteita huomattavasti paremmin kuin normaali kattilateräs, eikä näin ollen syövy yhtä helposti. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 74.)

Veden pääsemistä soodakattilan tulipesään tulee ehdottomasti välttää. Veden päästessä kontaktiin kemikaalisulan kanssa voi seurata sulavesiräjähdyks, jonka paineaalto rikkoo herkästi kattilarakenteet. Tämän ehkäisemiseksi soodakattiloihin on rakennettu pikatyhjennysjärjestelmä, jolla kattilan saa tyhjentämään vedestä miltei kokonaan. Kaikkea vettä ei kattilasta saa kuitenkaan tyhjentää, sillä muutoin hehkuva sulakeko tuhoaa tulipesän alaosan putkistot. Tämän vuoksi pikatyhjennys on rajattu määräkorkeuteen asti. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 74 – 75.)

Soodakattiloita on myös nuohottava taukoamatta tulistetulla höyryllä, sillä lipeänpoltossa syntyvä tuhka kerrostuu nopeasti ahtaisiin paikkoihin, aiheuttaen kattilan tukkeutumista ja lämmönsiirron heikentymistä. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 75.)

2.5 Soodakattiloiden käytön turvallisuus

Soodakattiloista vastaavan henkilön tulee varmistua siitä, että kattiloiden käyttö on turvallista. Tietokantasovelluksella saavutetut tulokset osoittivat, että molempien kattiloiden sekundääritulistimissa on elementtejä, joiden seinämäpaksuus on alle putkelle asetetun laskennallisen minimiarvon. Painelaitelaissa sanotaan, että painelaitetta on kyettävä käyttämään turvallisesti ja varmistuttava siitä, ettei laitteen käyttäminen pääse aiheuttamaan henkilö- tai omaisuusvahinkoja. Laki velvoittaa myös, että rekisteröitävän painelaitteen valvojaksi nimetyllä henkilöllä on oltava riittävä pätevyys ja asiantuntemus kyseisen

laitteen käytöstä ja kunnossapitoon liittyvistä asioista. (Painelaitelaki 27.8.1999/869 10 §. 3.)

Viimeisimmän huoltoseisokin tarkastusraportit osoittavat, että tulistinputkia, joiden seinämäpaksuus ei ollut enää hyväksyttävällä tasolla, on vaihdettu. Näin ollen asiaan on puututtu painelaitelain edellyttämällä tavalla.

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Suomessa toimii myös kattojärjestö nimeltään Suomen Soodakattilayhdistys ry, joka pyrkii edistämään soodakattiloiden taloudellista ja ympäristöystävällistä käyttöä, sekä kattiloiden käytön turvallisuutta. Yhdistys ei toimi valvontaviranomaisena, vaan heidän foorumeidensa kautta on tarkoitus jakaa tietoa esiin tulleista kattilavaurioista ja vaaratilanteista. He pyrkivät myös julkaisemaan soodakattila-alaa koskevia kansainvälisiä julkaisuja, joita voivat olla esimerkiksi muiden maiden määräykset ja säädökset kattiloiden osalta. (Suomen Soodakattilayhdistys ry. 2016.)

Painelaitelaki

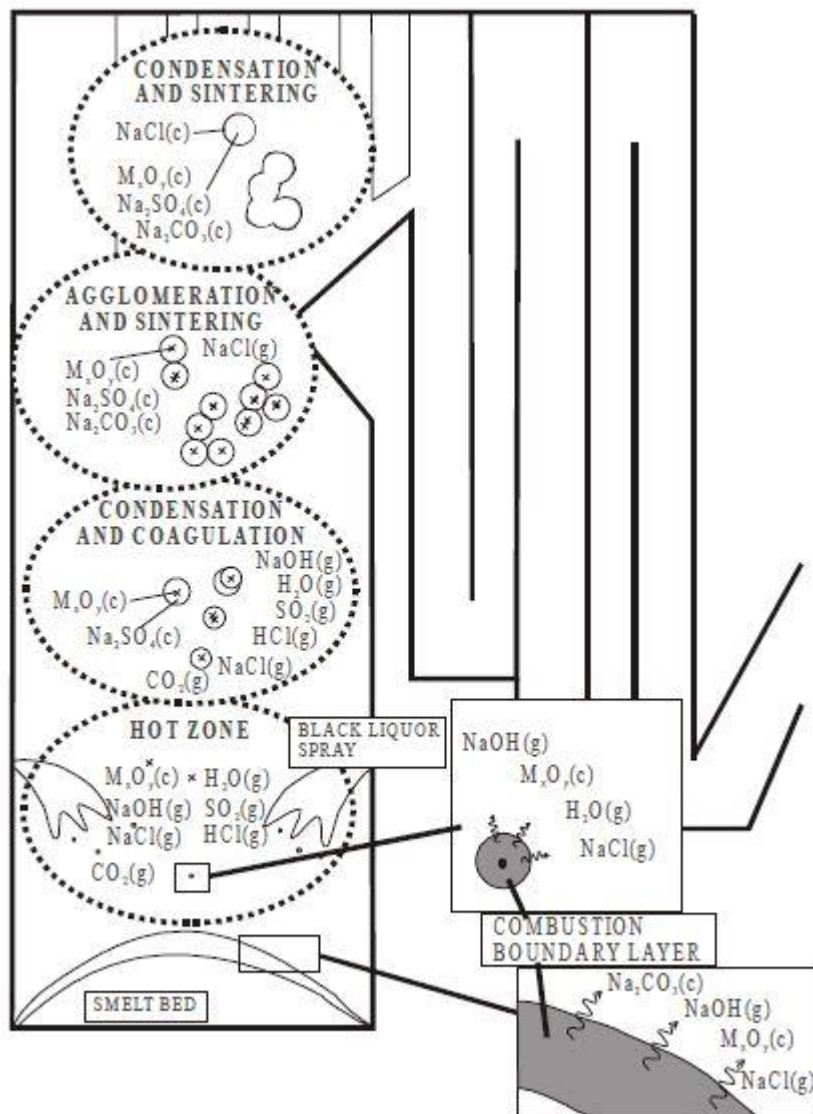
Laissa määritellään painelaitteeksi säiliöt, putkistot ja sellaiset tekniset kokonaisuudet, joissa jo on, tai on mahdollisuus kehittyä ylipainetta. (Painelaitelaki 21.11.2008/731 2 §.1.)

Painelaitteen haltijan, tässä tapauksessa Stora Enso Oyj Sunilan on huolehdittava siitä, että painelaitteet tarkastetaan ja niitä valvotaan säädösten edellyttämällä tavalla. On varauduttava vaaratilanteisiin ja varmistuttava siitä, että painelaitteita on turvallista käyttää. (Painelaitelaki 27.8.1999/869 10 §. 2.)

Painelaitteiden, jotka ennen tämän lain voimaantuloa ovat hyväksytyiksi otettu, käyttöä voidaan jatkaa, vaikka ne eivät täyttäisi lain vaatimia säädöksiä. Valvontaviranomaisella on kuitenkin oikeus määrätä tällaisten painelaitteiden käytölle rajoituksia, mikäli ne katsotaan henkilö- tai omaisuusvahinkojen estämisen kannalta tarpeellisiksi. (Painelaitelaki 27.8.1999/869 29 §.)

2.6 Mahdollisia syitä putkien seinämäpaksuuden ohentumiselle

Soodakattilatekniikassa isoimmat ongelmat liittyvät savukaasukanavassa sijaitsevien lämmönvaihtopintojen korroosio- ja likaantumisiilmiöihin. Nämä ilmiöt luovat reunaehdot monessa suhteessa kattiloiden suunnitteluun ja mitoittamiseen. Tärkeimmät korroosio-ilmiöt liittyvät kattiloiden tulipesän alueelle, sillä tulipesässä tapahtuva korroosio mahdollistaa veden pääsyn kontaktiin kemikaalisulan kanssa, jonka seurauksena on sulavesiräjähdyks. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 549.)



Kuva 4. Tiivistyneen pölyn muodostuminen tulipesän alueella. (Mikkanen 2000, 56)

Vaikka kyseiset korroosio-ongelmat ovat olleet vanhoissa soodakattiloissa, joissa ei compound-putkia ole käytetty tulipesän alemmalla osuudella, niin compound-putkiinkin liittyy korroosio-ongelmia. Nämä ongelmat esiintyvät usein ilma-aukkojen välittömässä läheisyydessä olevissa seinäputkissa, joihin tulipesästä diffundoitunut natriumhydroksidihöyry tiivistyy. Natriumhydroksidikerrostuma alkaa sulaa jo varsin alhaisissa lämpötiloissa, liuottaen austeniittisen pinnoitteen kromoksidikerrostumia. Myös tulipesän pohjan compound-putkissa on havaittu tapahtuvan säröilyä, joka on yksi jännityskorroosion muodoista. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 549.)

Savukaasujen mukana kulkeutuva pöly koostuu kahdesta täysin erilaisesta jakeesta. Nämä jakeet ovat karanneiden lipeäpisaroiden jäännöksiä, carry-over-hiukkasia, sekä tulipesästä höyrystynyttä ja myöhemmin takaisin tiivistynyttä materiaalia. Carry-over-pöly kuvassa 3, on huomattavasti karkeampaa ja sen koostumus on lähellä kemikaalisulan koostumusta. Tiivistynyt pöly, kuva 4, on taas koostumukseltaan hienojakeista ja eroaa carry-over-pölystä selkeästi. Näiden kahden pölyjakeen seokset saavat aikaan kerrostumia niin tulistinpinnoina kuin savukaasukanavan loppupäässäkin aiheuttaen kattilan tukkeutumista.

Pölyn sulamiskäyttäytyminen on yhteydessä pölyn tarttumiseen tulistinpintoihin muodostaen kovan ja vaikeasti irrotettavan kerroksen. Ratkaisevasti pölyn sulamiskäyttäytymiseen vaikuttavat kaliumin ja kloorin läsnäolo. Mikäli kloorin ja kaliumin pitoisuudet pölyssä olisivat noin 1 – 2 %:n luokkaa, olisi tarttumislämpötila tällöin riittävän korkea, noin 700 °C, jolloin pöly ei aiheuttaisi kerrostumisongelmia tulistinvyöhykkeen jälkeen ja kattilan loppuosa kyettäisiin pitämään tehokkaasti puhtaana. Usein prosessissa kloori- ja kaliumtasot ovat jo niin korkealla, että pölyn tarttumislämpötila on laskenut alle 600 °C:een. Tästä alhaisemmaksi muuttuva pölyn sulamisalue aiheuttaa usein voimakkaita korroosiomekanismeja tulistinalueen kuumimmissa putkissa. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 549 – 553.)

Soodakattilalle ihanteellisin palamisprosessi olisi ilmiönä sellainen, jossa mustalipeän sisältämät rikki- ja natriumyhdisteet sulautuisivat täydellisesti tulipesän pohjalla olevaan kekoon ja kemikaalisulaan, natriumsulfidin (Na_2S) ja -karbonaatin (Na_2CO_3) muodossa. Todellisuudessa prosessi on huomattavasti

mutkikkaampi ja olennainen osa rikistä sekä natriumista kulkeutuu savukaasujen mukana savukaasukanavaan natriumsulfaattipölynä ja rikki-pitoisina kaasuina. Nämä savukaasuissa esiintyvät yhdisteet ovat suurelta osin syyllisiä soodakattilan savukaasupuolen ongelmiin, aiheuttaen lämpöpintojen likaantumista ja korroosiota. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 540 – 541.)

3 NDT-TARKASTUS

NDT-tarkastus (Non-Destructive Testing), eli ainetta rikkomaton testaus, auttaa lisäämään luotettavuutta ja turvallisuutta eri prosesseissa. NDT-tarkastukset soveltuvat käytettäväksi materiaalien eheyden määrittelyyn, laadunvarmistukseen asennuksissa ja valmistuksessa sekä esimerkiksi tuotekehityksen tueksi. (Inspecta 2016.)

Jotta laitokselle ja laitteelle asetetut turvallisuus-, laatu- ja muut vaatimukset täyttyvät, on niille ennen käyttöönottoa suoritettava NDT-tarkastus soveltuvalla menetelmällä. Esimerkkinä voi pitää hitsisauman laadun tarkistamista röntgenkuvauksella tai ultraäänitarkastuksella. Näin ollen NDT-tarkastus on myös tärkeä osa kunnonvalvontaa ja vuosihoitoseisokkia. (Inspecta 2016.)

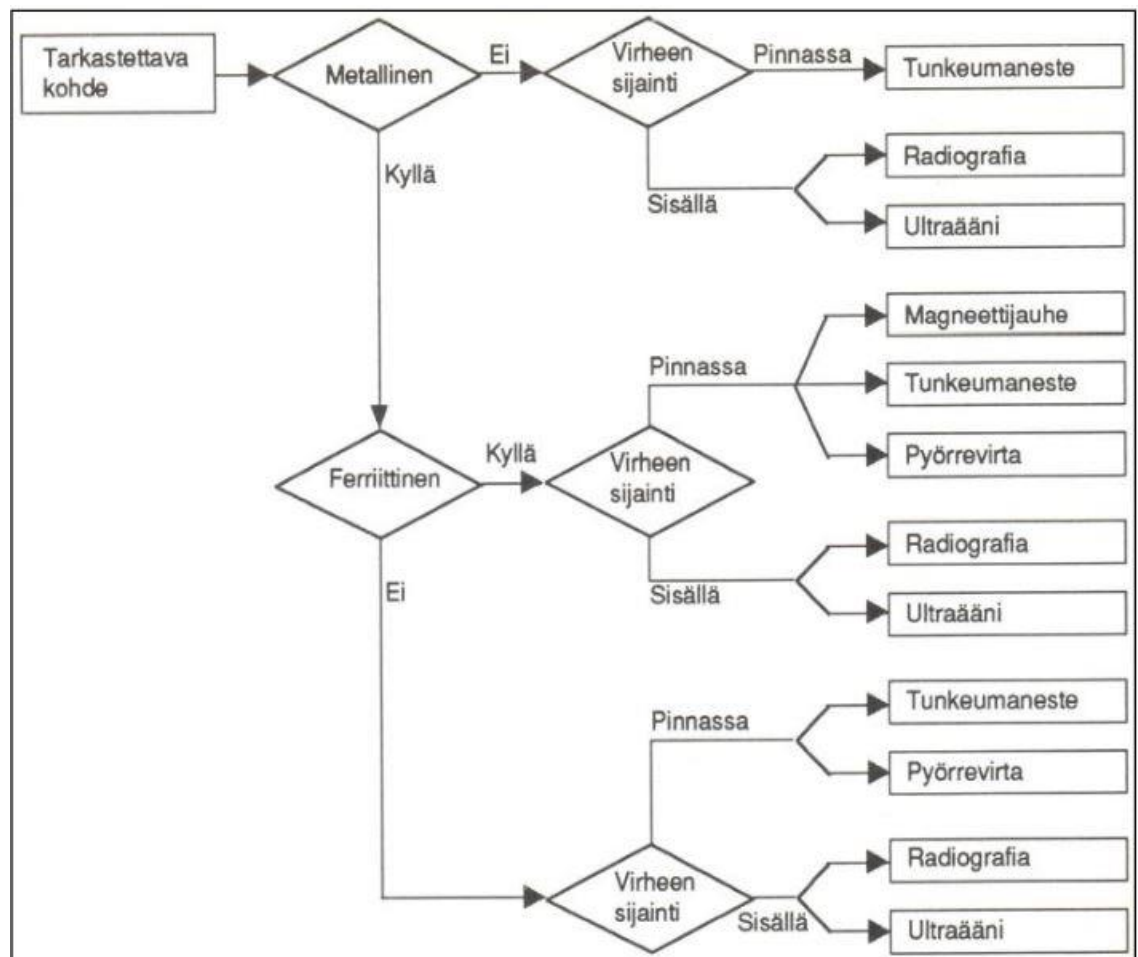
3.1 NDT-menetelmän valinta

Valittaessa käytettävää NDT-tarkastusmenetelmää, on tunnettava eri menetelmien heikkoudet ja vahvuudet. Tämän lisäksi on tiedettävä, millaiselle rasitukselle tutkittava kohde on joutunut ja millainen vaurioitumismekanismi siihen liittyy. On siis ymmärrettävä, millaista vikaa pyritään kartoittamaan. (Järviö, Piispa, Parantainen & Åström 2007, 253.)

Pinnan tarkastusmenetelmien heikkoutena voidaan pitää sitä, että tarkastelu-laajuus käsittää ainoastaan kappaleen pintaan asti ulottuvat tai pinnan välittömässä läheisyydessä esiintyvät viat. Tällöin tarkasteltavan kappaleen mahdollisesti sisään jäävät viat eivät tule ilmi. (Järviö, Piispa, Parantainen & Åström 2007, 253.)

Kun epäillään tarkasteltavan kappaleen sisältävän sisäisiä vikoja, tällöin tulee käyttää volymetrisiä, eli aineen sisäisiin vikoihin käytettäviä tarkastusmenetelmiä. Paras lopputulos saadaan, mikäli voidaan käyttää useampaa testausmenetelmää. Tällöin sekä pintaan asti ulottuvat että kappaleen sisäiset viat tulevat ilmi. (Järviö, Piispa, Parantainen & Åström 2007, 253.)

Myös tutkittavan kappaleen materiaali vaikuttaa valittuun tarkastusmenetelmään. Mikäli tiedetään tarkasteltavan kappaleen olevan metallia ja osataan sanoa, onko kyseessä ferromagneettinen metalli vai ei, voidaan tarkastelumenetelmän valintaan käyttää kuvan 5. mukaista taulukkoa. (Anttila 2013, 29.)



Kuva 5. NDT-menetelmän valinta. (Martikainen & Niemi 1993, 28)

3.2 Käytetyimmät NDT-menetelmät Sunilan sellutehtaalla

Stora Enso Oyj Sunilan tehtaalla on käytetty monipuolisesti ultraääni-, röntgen- sekä tunkeumanestemenetelmää vuosihuoltoseisokkien yhteydessä. Hyvin monessa tapauksessa he ovat käyttäneet vähintään kahta menetelmää varmistuakseen esimerkiksi hitsisaumojen laadusta. (Stora Enso, mittauspöytäkirjat 2005 – 2015.)

3.3 Ultraääniluotaus

Ultraääniluotaus on NDT-mittausmenetelmä, joka perustuu ultraääniheijastumiin tutkittavasta materiaalista. Nämä heijastumat kuvaavat epäjatkuvuuskoh-
tia, kuten rajapintoja, huokosia ja halkeamia. Ultraäänimittaus soveltuu ai-
nepaksuuden mittaamiseen sekä havaitsemaan tutkittavan aineen valmistus-
ja materiaalivikoja. Tämä menetelmä soveltuu ainepaksuuden mittaamiseen
0,01 mm:n tarkkuudella, mittausalueen ollessa 1 – 200 mm. Pistemäisiä kor-
roosioaurioita ultraääniluotauksella ei kuitenkaan kyetä havaitsemaan. (Mik-
konen 2009, 450.)

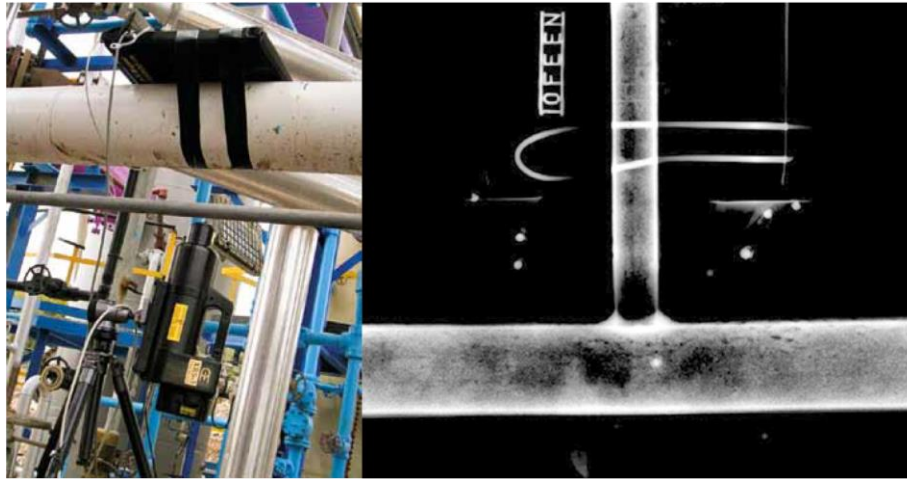
Ultraääniluotaimia on kahta tyyppiä; normaali- ja kulmaluotaimia. Kerrostumia
pystytään parhaiten havaitsemaan normaaliluotaimella, kun taas halkeamat
löytyvät kulmaluotaimella, jolla tutkitaan esimerkiksi hitsisaumoja. (Mikkonen
2009, 450.)

Ultraääniluotaimen toimintaperiaate on seuraava. Anturista lähetetään lyhyt
ultraäänitaajuuspulssi materiaaliin, joka etenee mekaanisena värähtelynä ai-
neessa ja heijastuu sieltä takaisin. Anturi toimii siis mikrofoniin tavoin. Tutkitta-
van materiaalin ja anturin välissä tulee käyttää geeliä, joka toimii värähtely-
pulssin välittäjäaineena. (Mikkonen 2009, 450.)

3.4 Röntgenkuvaus

Röntgenkuvaus on yksi radiografia-menetelmistä. Sen toiminta perustuu voi-
makkaaseen gamma- ja röntgensäteilyyn, joka läpäisee kaiken kiinteän mate-
riaalin, kuten betonin, teräksen puun ja niin edelleen. Tutkittavana olevaan

kappaleeseen kohdistetaan säteilyä, jonka voimakkuutta mitataan vastapuolelle asetetun herkän filmin avulla tai suoraan sähköisesti. Filmille piirtyvät tummat sävyerot ilmaisevat kappaleen läpimenneen säteilyn määrän. Tämän menetelmän avulla kyetään havaitsemaan materiaalin mahdollisesti sisältämät huokokset, sekä muut epäjatkuvuuskohdat. (Mikkonen 2009, 448.)



Kuva 6. Röntgenkuvausta teollisuudessa. (Promaint 2013)

Kyseistä mittausmenetelmää käytetään usein suhteellisena, joka tarkoittaa eri kohdista otettujen kuvien sävyerojen ja sisällön vertaamista keskenään. Röntgenkuvausta käytetään perinteisesti vaativien hitsisaumojen tarkastukseen. Mikäli käytettävissä on niin kutsuttu stereoradiografia-menetelmä, kyetään havaitsemaan myös kappaleen mahdollisesti sisältämät kolmiulotteiset viat kuten huokokset ja sulkeumat, sekä hitsien juuriviat. (Mikkonen 2009, 448.)

3.5 Tunkeumanestemenetelmä

Tunkeumanestemenetelmä soveltuu erinomaisesti sellaisten vikojen havainnointiin, jossa vauriot ulottuvat tutkittavan kappaleen pintaan asti. Näitä ovat esimerkiksi säröt ja huokokset. Menetelmä toimii siten, että tutkittavan kappaleen pinnalle levitetään värillistä tai fluoresoivaa nestettä, joka hakeutuu vauriokohtiin. Aineen annetaan vaikuttaa hetken aikaa, jonka jälkeen ylimääräinen

neste pyyhitään pois pinnalta ja tilalle levitetään kehitekerros. Kehitekerros absorboi halkeamiin jääneen väriaineen ja näin ollen ilmaisee vaurioiden sijainnin. (Mikkonen 2009, 452.)

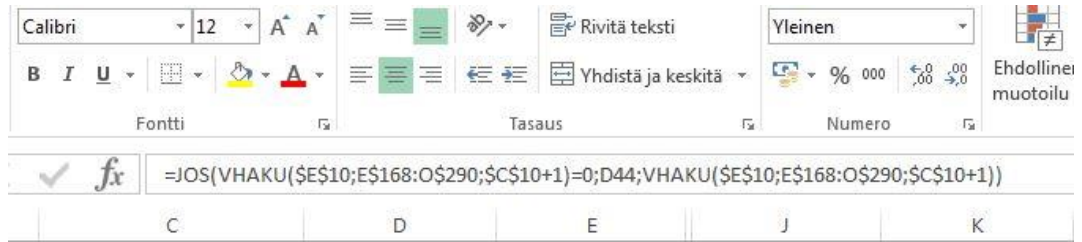
Menetelmä mahdollistaa leveydeltään jopa 0,1 µm:n halkeamien havaitsemisen. Tarkasteltava pinta tulee olla puhdistettu ja lämpötilan noin 20 °C. Värillisä ja fluoresoivia nesteitä on olemassa matalammille ja todella korkeille lämpötiloille, mutta menetelmä ei sovi huokoisille materiaaleille. (Mikkonen 2009, 452.)

4 TIETOKANNAN LUOMINEN EXCELIIN

Tavoitteena oli saada luotua yksinkertainen ja toimiva tietokantasovellus, josta näkisi helposti esimerkiksi yksittäisen kattilan seinämäputken ohenemisen. Tämä tarkoitti sitä, että vuosilta 2005 – 2015 suoritettut NDT-mittaukset ja niiden pöytäkirjat tuli saada järkeväksi kokonaisuudeksi tietokantaan, josta näkisi visuaalisesti tulistin- ja seinämäputkien oheneman ilman, että se veisi älyttömästi aikaa. Näkymän tuli olla trendimuodossa, joka on helposti luettavissa sekä tulostettavissa myöhemmää raportointia varten. Sovelluksen varsinainen käyttöohje löytyy opinnäytetyön lopusta, liitteet 13 – 21/21 sivuilta, jotta lopullisen käyttäjän ei tarvitse lukea koko opinnäytetyötä, kyetäkseen käyttämään ohjelmaa.

4.1 Tietokannan luomiseen käytettyjä funktioita

Tietokanta koostuu muutamista funktioista, jotka ovat kokeneelle Excelin käyttäjälle yksinkertaisia käyttää. Pääasiassa trendinäkymien luomiseen on tarvittu kahta eri funktiota, jotka ovat VHAKU- ja JOS-funktiot. Tietokantasovelluksessa nämä kaksi funktiota on jouduttu ajoittain yhdistämään, jotta välttyttäisiin 0-arvoilta trendinäkymässä. Joinain vuosina mittauspöytäkirjoissa esiintyi 0-arvoja, jolloin mittaus oli epäonnistunut, mutta se ei saanut näkyä trendinäkymässä.



Kuva 7. JOS- ja VHAKU-funktiot yhdistettyinä.

Navigoinnin helpottamiseksi valintaikkunoiden välillä luotiin painikkeet, joka tapahtui nauhoittamalla makroja. Makro on toiminto tai toimintasarja, jolla pysyy automatisoimaan usein toistuvia tehtäviä tai komentosarjoja. Tässä tapauksessa se tarkoitti taulukoiden välillä siirtymistä ja sen nopeuttamista valintapainikkein. (Microsoft office support 2016.)

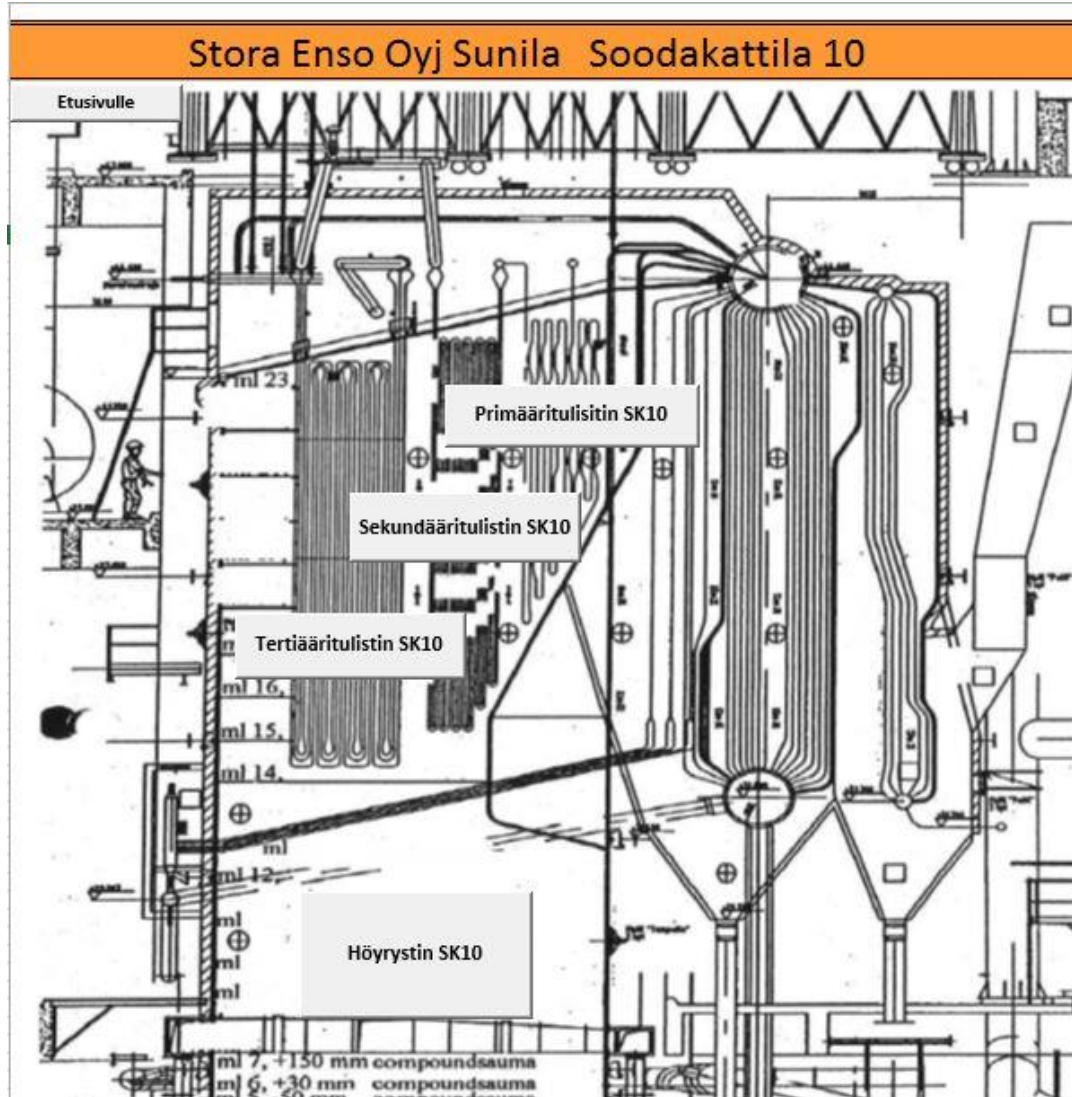
4.2 Sovelluksen käyttäminen

Etusivulta alkaen, tietokantasovellus on rakennettu niin, että makroilla luodut painikkeet ohjaavat halutulle sivulle sekä takaisin. Paluupainikkeet on nimetty, joko "edellinen" tai "etusivulle", riippuen siitä, millä taulukkosivulla kulloinkin operoidaan. Kyseisten painikkeiden sijainti on asetettu sivun vasempaan yläkulmaan, jolla on pyritty mukailemaan internet-selaimen näkymää.



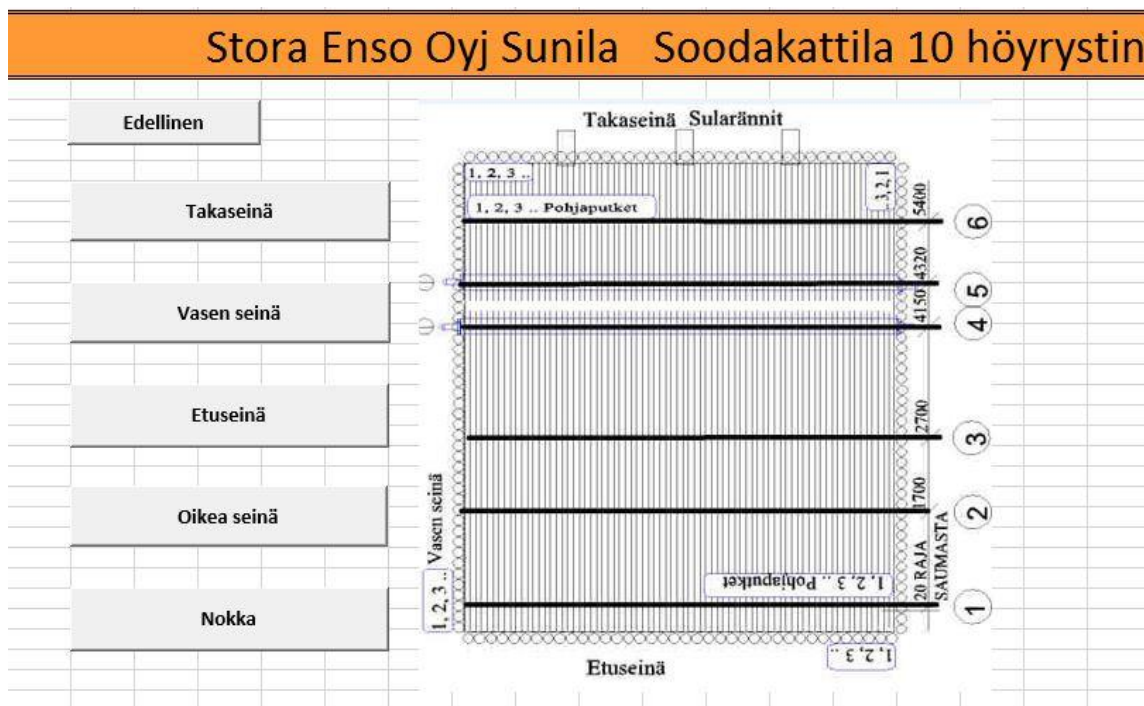
Kuva 8. Etusivun näkymä, jossa makroilla luodut valintapainikkeet molemmille soodakattiloille.

Kun halutaan tarkastella jompaakumpaa kattilaa, klikataan kyseisen kattilan painiketta. Tämän jälkeen avautuu taulukkosivu, jossa on kattilan poikkipirroskuva ja johon on eritelty kyseisen soodakattilan osat. Kuvasta on helposti nähtävissä kattilan rakenne, sekä tarkasteltujen kohteiden sijainti.



Kuva 9. Soodakattila 10 poikkipirroskuva, jossa on sijoitettuna tarkastellut rakenneosat oikeilla paikoillaan, sekä paluupainike etusivulle.

Kun painetaan Soodakattila 10 -painiketta, avautuu kuvan 9 kaltainen näkymä. Taulukkonäkymästä on mahdollista valita tarkastelukohteeseen jokin soodakattilan kolmesta tulistimesta tai vaihtoehtoisesti höyrystinosa. Painiketta klikkaamalla avautuu jälleen uusi näkymä, johon on eritelty kyseiseltä osalta suoritettujen mittausten kohteet. Esimerkiksi höyrystinosaalla tämä tarkoittaa neljää eri seinämää ja lisäksi nokkaa, jolla mittauksia oli suoritettu harvemmin.

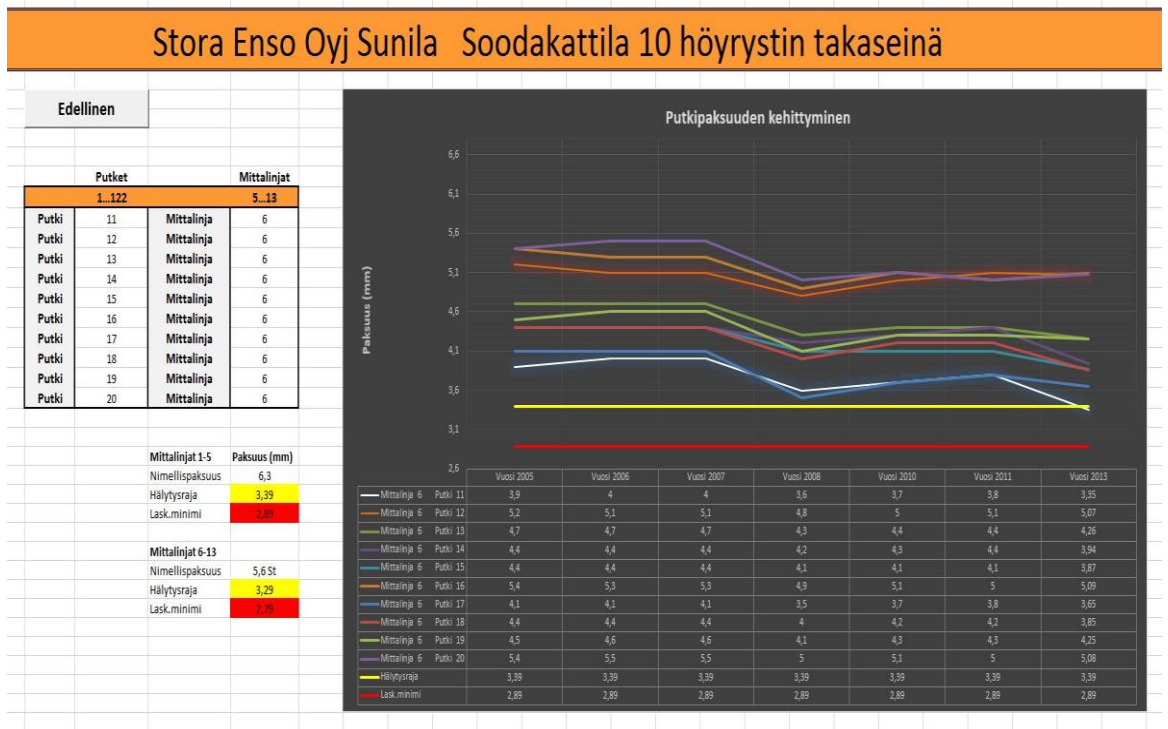


Kuva 10. Soodakattila 10 höyrystimeltä tarkastellut osiot ja lisäksi havainnekuva seinien sijainnista.

Höyrystinosa koostuu neljästä seinäelementistä, johon mukaan kuuluvaksi voidaan lisäksi laskea nokka. Kussakin seinäelementissä on 122 höyrystinputkea ja sovelluksen avulla on mahdollista tarkastella yksittäisen putken seinämäpaksuuden kulumaa Excel-taulukomuodossa olevan mittaushistorian ajalta 2005 – 2015.

Valitun seinäelementin jälkeen avautuu trendinäkymä, jonka vasemmassa laidassa sijaitsee valintataulukko halutulle/halutuille putkille, sekä mittalinjalle/mittalinjoille. Valintataulukko on merkattu valittavissa olevat putket sekä mittalinjat. Näitä kahta tekijää vaihtamalla vaihtuu myös trendinäkymässä piirtyvät trendit. Valintataulukko on rakennettu siten, että samanaikaisesti on valittavissa 10 eri putkea, jolloin 122 putken seinäelementti jakautuu karkeasti leveyssuunnassa 1/12-osaan ja nopeuttaa tällöin koko seinäelementin tarkastelua.

Sovelluksella on mahdollista valita tarkasteltavaksi myös yksittäinen putki, jolloin valintaikkunan "Putket"-kohtaan tulee laittaa jokaisen kymmenen valintaruudun kohdalle sama putkinumero. Tällöin trendinäkymästä häviää yhdeksän muuta näkyvää trendiä ja yksittäisen putken tarkastelu helpottuu.



Kuva 11. Soodakattila 10 höyrystin takaseinän trendinäköymä, jossa näkyy olennaisimmat tiedot. Putki- ja mittalinjavalikko on kuvan vasemmassa laidassa, samoin kuin hälytysrajat ja laskennallinen minimimitta putkipaksuudelle.

Kuvan 11 trendinäköymässä on nähtävillä kymmenen eri putken seinämäpaksuuden kehittyminen, jotka ovat mitattu samalta mittalinjalta. Trendeissä näkyvä ajoittainen ”paksuuntuminen” johtuu mittausepävarmuudesta, joka perustuu mittauksen suorittaneen henkilön pätevyyteen, mittalaitteistoon, mittalaitteiston kalibroimiseen sekä valinneisiin mittausolosuhteisiin. Pääsääntöinen trendin kulkusuunta on kuitenkin alaspäin, joka kertoo putkipaksuuden ohentumisesta.

Trendinäköymään on sijoitettu hälytysrajan ja laskennallisen minimin alue, joka on kirkkaan punaisen ja keltaisen viivan väliin jäävä alue. Mikäli putkitrendi saapuu kyseisten suorien viivojen rajaamalle alueelle, tulisi kattiloiden kunnosta ja niiden käyttöturvallisuudesta vastaavan henkilön ryhtyä suunnittelemaan putken/putkien vaihtoa. Kuvassa 11. näkyvä valkoinen putkitrendi on juuri leikannut hälytysrajan viivan, ja näin ollen putken tulevaa paksuuden kehittymistä on syytä tarkkailla huolellisemmin.

Harvoin yksittäisen putken seinämäpaksuus alkaa ohentua. Tällöin tulee tarkastella huolella myös havaitun putkioheneman viereiset putket. Yleensä niis-

täkin löytyy muita putkia suurempaa ohentumista ja tähän voi syynä olla esimerkiksi soodakattilan ajossa tapahtuva vinokuorma, joka rasittaa tiettyä seinämäaluetta enemmän kuin toista.

4.3 Uusien mittaustuloksien lisääminen tietokantasovellukseen

Helpoin tapa lisätä uusia mittaustuloksia tietokantaan on copy-paste-menetely. Tällöin valitaan jo aiemmin luotu taulukkopohja halutusta kohteesta ja kopioidaan se. Kopioitu taulukko liitetään sille paikalle, mihin sen halutaan jäädvän. Tämän jälkeen on hyvä tyhjentää kopioitu taulukko vanhoista mittaustuloksista ja siirtyä uusien mittaustulosten taulukkoon, jotka ovat erillisellä Excel-tiedostolla.

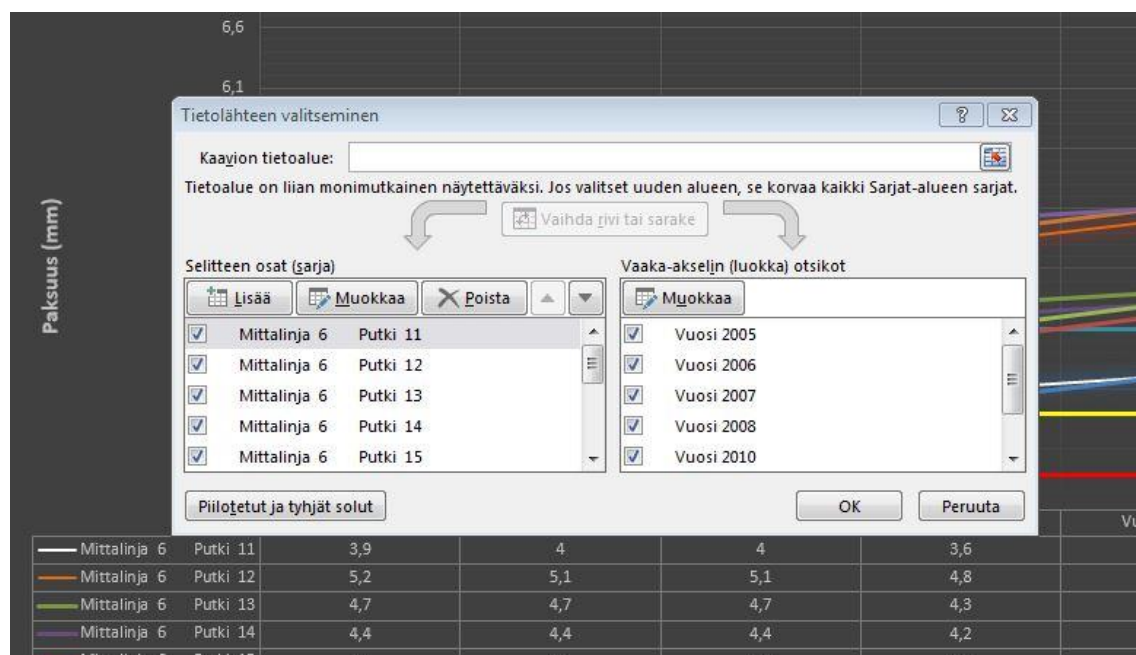
Vuosi 2005			Mittalinjat														
	Paksuus (mm)		Putket	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
Mittalinja 6	Putki 11	3,9	1	6,6	4,9	5	5,4	5,6	5,7	5,7	5,7						
Mittalinja 6	Putki 12	5,2	2	6,2	5,1	5,2	5,4	5,7	5,5	5,6	5,6						
Mittalinja 6	Putki 13	4,7	3	6,3	4,9	5	5,5	5,5	5,5	5,8	5,6						
Mittalinja 6	Putki 14	4,4	4	6,4	5,4	5,4	5,7	6	6,2	6,5	6,3						
Mittalinja 6	Putki 15	4,4	5	6,3	4,3	4,7	5,3	5,3	5,9	6,3	5,9						
Mittalinja 6	Putki 16	5,4	6	6,4	4,6	4,6	5	5,4	5,5	6	5,7						
Mittalinja 6	Putki 17	4,1	7	6,2	4,7	4,6	5,2	5,5	6	5,7	5,6						
Mittalinja 6	Putki 18	4,4	8	6,2	5,5	5,4	5,8	6,2	6,4	6,5	6,5						
Mittalinja 6	Putki 19	4,5	9	6,3	4,2	4,3	4,5	5	5,5	5,7	5,8						
Mittalinja 6	Putki 20	5,4	10	6,2	4,1	4,2	4,7	5		5,7	5,8						
			11	6,3	3,9	4,1	4,6	5		5	5,8						
			12	6,3	5,2	5,7	5,7	6	6,3	6,3	6,2						
			13	6,2	4,7	4,6	4,7	5,4	6	6	5,7						
	Mittalinjat 1-5	Paksuus (mm)	14	6,3	4,4	4,5	5	5,2	5,9	5,6	5,7						
	Nimellispaksuus	6,3	15	6,3	4,4	4,5	5,7	5,1	5,7	5,7	5,8						
	Hälytysraja	3,39	16	6,6	5,4	5,4	5,8	5,9	6	6,3	6,4						
	Lask.minimi	2,89	17	6,4	4,1	4,3	5	5,1	5,5	5,6	6						
			18	6,3	4,4	4,4	5	5,2	5,6	5,8	5,9						
	Mittalinjat 6-13		19	6,4	4,5	4,8	5,1	5,1	5,4	5,4	5,5						
	Nimellispaksuus	5,6 St	20	6,2	5,4	5,4	5,8	6	6	6,1	6						
	Hälytysraja	3,29	21	6,4	4,6	4,6	5	5,2	5,9	6	5,8						
	Lask.minimi	2,79	22	6,5	4,4	4,4	5	5,1	5,5	5,6	5,6						
			23	6,3	5,6	5,8	5,9	5,3	5,3	5,5	5,5						
			24	6,4	5,3	5,7	5,8	6	6,4	6,4	6,2						
			25	6,4	5,5	5,5	5,7	5,2	5,6	5,7	5,9						
			26	6,4	5,3	5,4	5,8	5,4	5,5	5,5	5,3						
			27	6,4	4,7	4,9	5	5,4	5,4	5,5	5,5						
			28	6,4	5	4,9	5,6	5,9	6	6,1	6,2						
			29	6,4	4,5	4,7	5,2	5,3	5,7	5,7	5,9						
			30	6,4	4,6	4,7	5,5	5,4	5,5	5,5	5,7						
			31	6,3	5,1	5,4	5,8	5,7	5,4	5,1	5,4						
			32	6,3	5,4	5,2	5,7	6,2	6,1	6,3	6,1						
			33	6,1	4,6	4,6	5	5,1	5,5	6	5,9						
			34	6,5	4,7	4,7	5	5	5,1	5,5	5,5						
			35	6,1	4,4	4,6	5	5,3	5,4	5,5	5,5						
			36	6,4	5,5	5,9	5,8	6,4	6	6,3	6,4						
			37	6,4	4,8	4,9	5,2	5,2	5,5	5,6	5,5						
			38	6,4	4,6	4,6	4,9	5,1	5,7	5,6	5,7						
			39	6,3	4,8	4,7	5,3	5,5	5,5	5,8	5,6						
			40	6,1	5,7	5,6	5,5	6,2	6,1	6,1	6,1						
			41	6,2	4,9	4,8	5,2	5,3	6	5,9	6,2						
			42	6,4	4,8	4,9	5	5,2	5,3	5,5	5,5						

Kuva 12. Olemassa olevan mittaustaulukon valinta ja kopioiminen.

Uudet mittaustulokset on järkevintä kopioida sarake kerrallaan ja liittää ne tietokannassa kopioituun uuteen tyhjään taulukkopohjaan. Tällöin tulee aina varmistua siitä, että on liittämässä oikean mittalinjan tulokset oikeaan paikkaan

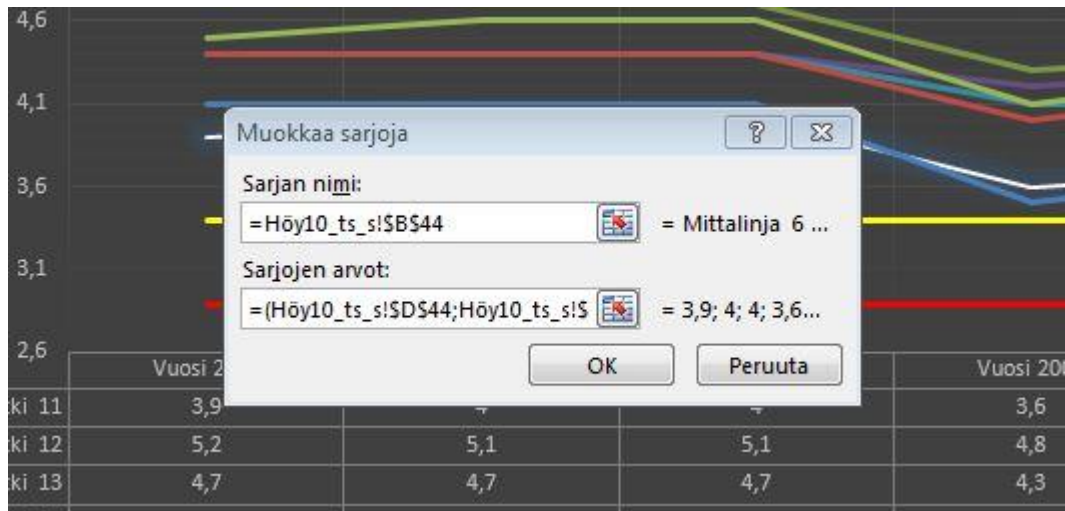
mutta punaisella rajattu alue on edellisen mittaustulostaulukon ympärillä. Uusi-massa Excel-versiossa punaisella rajatun alueen siirto onnistuu helpoiten raa-haamalla vanhan taulukon ympärillä oleva raja uusien taulukon ympärille. Mikäli tämä ei käytössä olevalla Excel-versiolla onnistu, täytyy kaavariville kir-jottaa haluttu solualueen raja. Tämä toiminto tapahtuu kirjoittamalla kaa-vaan ne solut, jotka rajaavat mittaustulostaulukon alueen, esimerkiksi: ”;F\$169:Q\$291;”.

Kun halutaan syöttää uudet mittaustulokset trendinäkymään, tulee tällöin siir-tyä trendinäkymän kohdalle ja klikata sitä hiiren oikealla painikkeella. Tämän jälkeen avautuu kaavionmuokkausvalikko, josta tulee valita kohta ”Valitse tie-dot...”. Kyseisen operaation jälkeen avautuu jälleen valintaikkuna, jossa on mahdollista valita jo trendinäkymässä olevia tietoja ja muokata niitä.



Kuva 14. Trendinäkymän muokkaamisessa käytettävä valintaikkuna.

Valikosta valitaan ensimmäinen kohta, jossa lukee Mittalinja 6 Putki 11. Tä-män jälkeen klikataan Muokkaa-kohtaa, joka mahdollistaa uuden mittaustulok-sen lisäämisen trendinäkymään. Muokkaa-painikkeen painaminen avaa uuden valintaikkunan, jossa on mahdollista muokata sarjoja. Uusi mittaustulos tai tar-kemmin solu, josta tulos haetaan, lisätään Sarjojen arvot viimeisen solun pe-rään ja tämän jälkeen uusi mittaustulos löytyy trendinäkymästä.



Kuva 15. Solun lisääminen sarjaan, jossa viimeisin mittaustulos on.

Tämä tehtävä toistuu kymmenen kertaa, sillä jokainen uusi **Paksuus (mm)** -kohdan alapuolella oleva mittaustulos täytyy hakea yksitellen trendinäkymään. Vuosiluvun lisääminen trendinäkymän arvotaulukkoon tapahtuu samalla tavalla kuin uusien mittaustulostenkin. Tässä kohtaa siirrytään kuvan 14 oikeanpuoleiseen sarakkeeseen, josta valitaan muokkaustoiminto. Haluttu vuosiluvun solu lisätään solujonon perään, jonka jälkeen se siirtyy trendinäkymään.

5 TIETOKANTASOVELLUKSEN AVULLA SAAVUTETUT TULOKSET

Exceliin luodun tietokantasovelluksen kautta näyttää siltä, että suurimmat putkien seinämäpaksuuden ohenemiset sijoittuvat molempien soodakattiloiden tulistimiin. Höyrystimien osalta molemmat kattilat ovat pääasiassa hyvässä kunnossa. Compound-putken, eli päällystetyn putken alueella ei seinämäpaksuuden ohenemaa ole juurikaan havaittavissa. Kun compound-putki vaihtuu normaaliksi kattilateräspuutkeksi, alkaa trendissä näkyä seinämäpaksuuden ohentumista.

On huomioitavaa, että viimeisimmässä huoltoseisokissa suoritettujen putkien vaihdot eivät vielä näy trendinäkymissä, sillä uusia NDT-mittauksia ei kyseisten putkivaihtojen jälkeen ole suoritettu ja sitä kautta lisätty tietokantaan.

5.1 SK10:n höyrystin

Soodakattila 10 höyrystimen takaseinällä putki numero 11, mittalinjalta 6, on hälytysrajan alapuolella. Sama putki on myös lähellä hälytysrajaa mittalinjalla 7. Putket 1 – 30 näyttävät myös hiukan muita ohuemmilta, joten seuraavissa huoltoseisokeissa kannattaisi tutkia kyseistä aluetta tarkemmin. Tämä alue si-
joittuu tulipesän nurkkaan.

Höyrystimen etuseinällä putket välillä 100 – 122, mittalinjalta 6, seinämäpak-
suuden oheneminen on näyttänyt jyrkentyvän viimeisimpien mittausten ai-
kana. Samanlaista ohenemista on havaittavissa höyrystimen oikealla seinällä
putkissa 6 – 12, mittalinjalla 6. Myös näillä seinillä putket asettuvat tulipesän
nurkkiin, tai ainakin melko lähelle nurkkaa.

5.2 SK10:n tertiäritulistin

Tertiäritulistimen uloimmissa käyrissä mittalinjalla 9 elementit 1 – 3 ovat
melko lähellä hälytysrajaa. Samanlainen tilanne on mittalinjalla 12 elementtien
6 ja 7, sekä 17 ja 19 kanssa.

Tertiäritulistimen keskimmaisissa käyrissä mittalinjalla 15 elementit 2, 3, 4 ja
10 ovat jo alle hälytysrajan, tai aivan sen läheisyydessä. **Mittalinjalla 16 ele-
mentit 6, 15, 16, 17, 18, 19 ja 21 ovat jopa alle laskennallisen minimin ja
alle hälytysrajan.**

Tulistimen sisimmissä käyrissä mittalinjalla 19 elementit 4 ja 17 ovat lähesty-
mässä hälytysrajaa. **Mittalinjalla 20 elementti 3 on lähellä laskennallista
minimiä.** Elementit 5, 15, 16, 17, 18 ja 21 ovat lähestymässä hälytysrajaa tai
hälytysrajalla.

Viimeisimmässä huoltoseisokissa **on vaihdettu tulistimen uloimpien käy-
rien kuumemman pään käyrät elementeistä 13 ja 16.** Lisäksi keskimmais-
ten käyrien **mittalinjan 16 elementit 6, 17, 18 ja 19 on vaihdettu.** Myös si-
simpien käyrien **elementti 3, mittalinjalta 20 on vaihdettu.** (Replico, tarkas-
tuspöytäkirja, 2015.)

Tulevassa seisokissa tulee keskittyä niiden elementtien käyriin, jotka ovat jo olleet alle hälytysrajan viime huoltoseisokissa ja joita ei ole vaihdettu. Kuvat tertiäritulistimesta löytyvät liitteet-sivulta 1/12.

5.3 SK10:n sekundäritulistin

Sekundäritulistimen ulkokäyrissä mittalinjalla 1 elementit 13 ja 20 ovat lähellä laskennallista minimiä. Samalla mittalinjalla elementit 3, 6, 17, 19 ja 21 ovat lähestymässä hälytysrajaa tai hälytysrajalla. **Siirryttäessä mittalinjalle 2 elementit 3, 4, 6, 9, 11, 12, 13 ja 21 ovat alittaneet hälytysrajan ja ovat, jopa lähellä laskennallista minimiä. Mittalinjalla 3 elementit 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 16 ja 21 ovat myös alittaneet hälytysrajan ja lähestyvät laskennallista minimiä.** Mittalinjalla 4 elementit 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18 ja 19 ovat alittaneet hälytysrajan tai ainakin lähellä sitä. Mittalinjalla 5 elementit 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 ja 20 ovat lähellä hälytysrajaa tai jo sen alapuolella. **Mittalinjalla 6 elementit 1, 4, 14 ja 18 ovat alle hälytysrajan.**

Sekundäritulistimen sisemmissä käyrissä mittalinjalla 7, elementti 8 on alle laskennallisen minimin ja elementit 16 & 18 lähellä laskennallista minimiä. Elementit 1, 4, 7, 10, 11, 12, 13 ja 19 ovat alle hälytysrajan. **Mittalinjalla 8 elementit 13 ja 17 ovat alle laskennallisen minimin, sekä elementit 1, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18 ja 20 alle hälytysrajan. Mittalinjalla 9 elementti 16 on alle laskennallisen minimin.** Muut elementit 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19 ja 20 ovat alle hälytysrajan tai lähellä sitä. Mittalinjan 10 elementit 3, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 17 ja 20 ovat alle hälytysrajan tai lähellä sitä. **Mittalinjalla 11 elementit 15 ja 18 ovat alle laskennallisen minimin.** Muut elementit 3, 8, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19 ja 20 ovat alle hälytysrajan tai lähellä sitä. Mittalinjalla 12 elementit 1, 14 ja 17 ovat alle hälytysrajan.

Viimeisimmässä huoltoseisokissa **on vaihdettu mittalinjalta 1 seuraavien elementtien käyrät 3, 4, 13, 17, 20 ja 21. Mittalinjalta 2 on vaihdettu elementtien 3, 4, 6, 9, 11, 12, 13 ja 21 käyrät. 3. mittalinjalla on vaihdettu seuraavien elementtien käyrät 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16 ja 21. Mittalinjalla 4 on vaihdettu seuraavia käyriä 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 18 ja**

19. Mittalinjan 5 käyriä on vaihdettu seuraavista elementeistä **2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 ja 20. Mittalinjalta 6 on vaihdettu** elementtien **1, 4, 14, 18 ja 21** käyrät. **Mittalinjalla 7** elementtien **8 ja 19** käyrät **on vaihdettu. Mittalinjan 8** elementtien käyristä **on vaihdettu** käyrät **13 ja 17. Mittalinjalla 9 on vaihdettu** elementtien **16 ja 20** käyrät. **Mittalinjalla 10 on vaihdettu** elementin **20** käyrä. Viimeisimpänä **on mittalinjalta 11 vaihdettu** seuraavien elementtien käyrät: **15, 17 ja 18.** (Inspecta, tarkastuspöytäkirja, 2015.)

Tulevassa seisokissa tulee keskittyä niiden elementtien käyriin, jotka ovat olleet alle hälytysrajan ja joita ei ole vaihdettu. Jokaisesta mittalinjasta on kuvat liitteet-sivuilla 2 – 7/12.

5.4 SK10:n primääritulistin

Primääritulistimessa ainoastaan yhdessä elementissä näyttäisi olevan muita suurempaa putken seinämäpaksuuden ohenemaa. Kyseinen elementti numero 9 sijaitsee mittalinjalla 6. Kahden viimeisimmän mittauksen väli on ollut kolme vuotta, jonka aikana putken seinämästä on hävinnyt 1,4 mm. Kyseessä on mahdollisesti mittausvirhe, mutta seuraavassa huoltoseisokissa olisi syytä tarkastaa tämä elementti. Kuva löytyy liitteet-sivulta 7/12.

5.5 SK11:n höyrystin

Soodakattila 11 höyrystin näyttää olevan hyvässä kunnossa. Mittalinjalla 8, joka sijaitsee compound-sauman yläpuolella, oli kuitenkin havaittavissa suurempaa ohenemaa etu- ja takaseinällä. Etuseinän puolella putken numero 73 seinämäpaksuus oli laskenut alle hälytysrajan. Myös lähiympäristössä olevat putket näyttivät hiukan muuta seinämää ohuemmilta. Tarkkailtavaksi alueeksi rajataan putket 60 – 90, mittalinjalta 8. Takaseinällä putket 70 – 90, mittalinjalta 8 ovat ohentuneet noin 1 mm vuosien 2010 – 2015 aikana. Tätä aluetta tulee myös seurata tulevissa seisokeissa.

5.6 SK11:n sekundääritulistin

Sekundääritulistimen ulkokäyrällä, mittalinjalla C, elementti 1 on lähellä hälytysrajaa. Tulistimen muissa ulkokäyrissä ei ole huomioitavaa. Siirryttäessä tulistimen keskimmäisiin käyriin, keskimmäisten käyrien nurkkapisteissä suoritettut mittaukset näyttivät seuraavaa. Mittalinjalla F elementit 5, 8, 13 ja 20 ovat lähellä hälytysrajaa. Sisimpien käyrien keskikohdasta suoritettut mittaukset antoivat seuraavat tulokset: Mittalinjalla 4 elementit 1, 2, 3, 10, 13, 14 ja 15 ovat alle tai lähellä hälytysrajaa. **Mittalinjalla 6 elementit 4, 6 ja 9 on alle laskennallisen minimin.** Muut elementit 2, 5, 10, 12, 15 ja 18 ovat alle tai lähellä hälytysrajaa. Mittalinjalla 8 elementit 5, 6, 7, 8, 10, 13 ja 19 ovat alle tai lähellä hälytysrajaa.

Sisimpien käyrien nurkkapisteistä mitatut tulokset antoivat vastaavat tulokset. Mittalinjalla A elementit 1, 11, 12, 13 ja 18 ovat alle hälytysrajan. **Mittalinjalla C elementti 13 on alle laskennallisen minimin.** Muut elementit 1, 3, 10, 15 ja 19 ovat alle hälytysrajan. Mittalinjalla E elementit 1, 5, 10, 15 ja 18 ovat alle hälytysrajan. **Mittalinjalla F elementti 19 on alle laskennallisen minimin.** Muut elementit 5, 8 ja 20 ovat alle tai lähellä hälytysrajaa.

Viimeisimmässä huoltoseisokissa **on sekundääritulistimelle vaihdettu kaksi käyrää.** Vaihdetut käyrät ovat seuraavat, **mittalinjan F2 elementti 5** sekä mittalinjan **C3 elementti 13.** (Replico, tarkastuspöytäkirja, 2015.)

Tulevassa huoltoseisokissa suositellaan erityistarkkailua hälytysrajan ohittaneille elementeille, joita ei ole viime seisokissa vaihdettu. Kuvat sekundääritulistimesta löytyvät liitteet-sivuilla 8 – 11/12.

5.7 SK11:n tertiäritulistin

Tertiäritulistimen putkien seinämäpaksuudet ovat pääasiallisesti hyvässä kunnossa. Ainut hälytysrajan alle menevä paksuus löytyi mittalinjalta H, elementistä 19. Kyseinen käyrä vaihdettiin viimeisimmässä seisokissa. Kuva löytyy liitteet-sivulta 12/12. (Replico, tarkastuspöytäkirja, 2015.)

Tulevassa huoltoseisokissa tulee tarkastella tertiäritulistimen keskimmäisiä käyriä ja niiden seinämäpaksuuksia.

5.8 Pohdintaa

Tulevien huoltoseisokkien suunnittelu ja aikataulutus ovat erittäin tärkeitä teki-
jöitä sellutehtaan vuosittaisen tuloksenteon kannalta, sillä koko tehtaan pysäh-
dyksissä oleminen aiheuttaa liikevaihdollisesti katsottuna suuria tulonmenetyk-
siä. Toivottavasti opinnäytetyönä luotu tietokantasovellus auttaa varautumaan
tuleviin huoltoseisokkeihin ja lyhentämään seisokin kestoa edes tunneilla, jol-
loin voidaan puhua kymmenien tuhansien eurojen säästöistä tehtaan
ylösajossa. Sama asia koskee varastoitua materiaalia, johon ei turhanpäiväi-
sesti tarvitsisi sitoa pääomaa. Myös mahdollisesti esiintyviin kattilavuotoihin
kyetään reagoimaan nopeammin.

6 YHTEENVETO JA TYÖSSÄ SAAVUTETUT TULOKSET

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda Excel-pohjainen tietokantasovellus,
jolla pystyisi seuraamaan Sunilan sellutehtaalla toimivien soodakattiloiden sei-
nämäpaksuuden kehittymistä. Lisäksi tehtävään kuului analysoida kattiloiden
tämänhetkinen tilanne kyseisen sovelluksen avulla ja esittää tarvittavia toi-
menpiteitä seuraavaa huoltoseisokkia ajatellen. Työssä on käyty läpi katti-
loissa ilmenneet kohdat, jotka vaativat tulevissa seisokeissa, joko putkivaihtoa
tai tarkemmin kohdennettuja NDT-mittauksia.

Opinnäytetyössä onnistuttiin luomaan tietokantasovellus, jonka avulla kattila-
putkien seinämäpaksuuden seuraaminen helpottuu tulevaisuudessa. Tieto-
kantasovelluksella saavutetut tulokset eivät kuitenkaan kerro absoluuttista to-
tuutta soodakattiloiden seinämäpaksuuden tilasta, vaan ennen suunniteltua
putkivaihtoa on syytä tarkastaa kyseinen kohta NDT-mittauksella.

Molempien soodakattiloiden sekundääritulistimissa havaittiin elementtejä, joi-
den putkien seinämäpaksuudet olivat jo alle laskennallisen minimin. Myös
mahdolliset syyt seinämäpaksuuden ohenemiselle, erityisesti tulistimissa, on
käyty läpi. Todennäköisin syy tulistinputkien ohenemiselle lienee huonosta pa-
lamisesta johtuva carry-over, jonka hallintaan voidaan vaikuttaa optimoimalla
ilmajakoa sekä lipeän ruiskutusta.

LÄHTEET

Anttila, S. 2013. NDT-menetelmistä ja niiden valinnasta tutkimustyössä. Opin-
näytetyö: Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Saatavissa:

<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013052310457> [Viitattu 31.8.2016].

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattila-
tekniikka. 5. uusittu painos. Helsinki: Oy Edita Ab [Viitattu 12.6.2016].

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostek-
niikka. 2. tarkistettu painos. Tampere: Opetushallitus [Viitattu 12.6.2016].

Inspecta. 2016. Saatavissa: [http://www.inspecta.com/fi/Palvelut/Testaus/Rik-
komaton-aineenkoetus-NDT-Non-Destructive-Testing/](http://www.inspecta.com/fi/Palvelut/Testaus/Rikkomaton-aineenkoetus-NDT-Non-Destructive-Testing/) [Viitattu 31.8.2016].

Inspecta, tarkastuspöytäkirja. 2015. Ei saatavissa. [Viitattu 22.9.2016].

Järviö, J., Piispa, T., Parantainen, T. & Åström, T. 2007. Kunnossapito: Kun-
nossapidon julkaisusarja, n:o 10.4.; uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.
[Viitattu 31.8.2016].

Martikainen, J. & Niemi, E. 1993. NDT-tarkastus. Käsikirja: Yleinen osa. 1.
painos. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry. NDT-komitea. [Vii-
tattu 31.8.2016].

Microsoft office support 2016. Saatavissa: [https://support.office.com/fi-fi/arti-
cle/Makron-luominen-tai-poistaminen-974ef220-f716-4e01-b015-
3ea70e64937b](https://support.office.com/fi-fi/article/Makron-luominen-tai-poistaminen-974ef220-f716-4e01-b015-3ea70e64937b) [Viitattu 1.9.2016].

Mikkanen, P. 2000. Fly ash particle formation in kraft recovery boilers. VTT.
Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2000/P421.pdf> [Viitattu
21.9.2016].

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito: Kunnossapidon julkai-
susarja, n:o 13.; 1. painos. Helsinki: KP-Media Oy [Viitattu 1.9.2016].

Painelaitelaki 27.8.1999/869. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/fi/laki/ajan-
tasa/1999/19990869](http://www.finlex.fi/fi/laki/ajan-tasa/1999/19990869) [Viitattu 20.9.2016].

Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja pala-
minen. Jyväskylä: International Flame Research Foundation – Suomen kan-
sallinen osasto. [Viitattu 20.9.2016].

Replico, tarkastuspöytäkirja. 2015. Ei saatavissa. [Viitattu 22.9.2016].

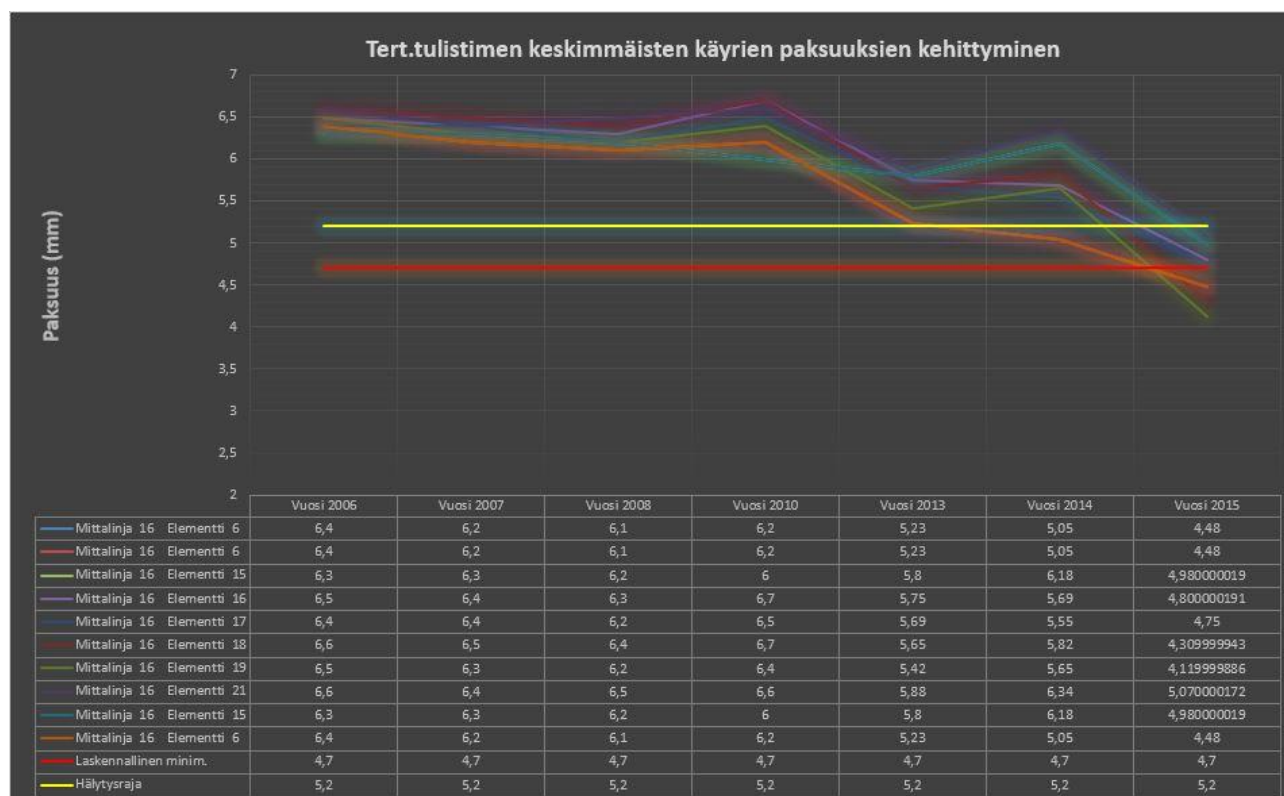
Röntgenkuvausta teollisuudessa. Saatavissa: <http://www.promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Kehittyneet-NDT-menetelmat-kunnossapidon-tukena> [Viitattu 1.9.2016].

Suomen Soodakattilayhdistys ry. 2016. Saatavissa: <http://www.soodakattilayhdistys.fi/soodakattila> [Viitattu 21.9.2016].

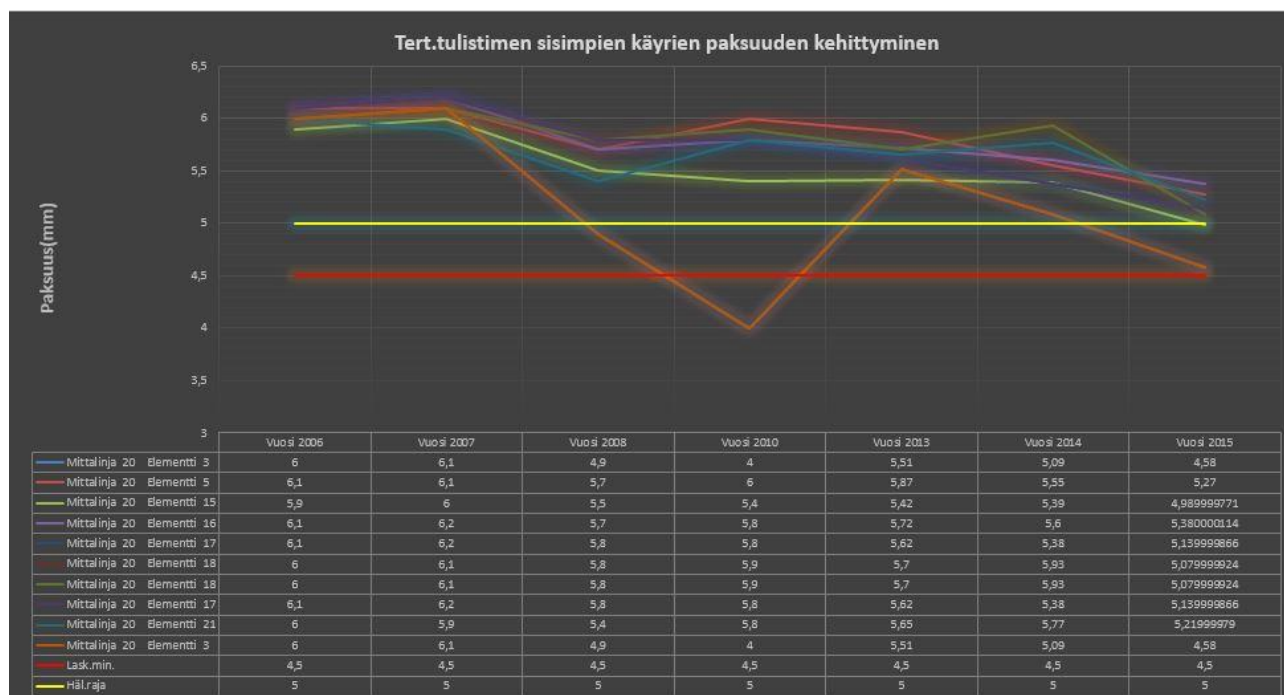
Stora Enso. 2015. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/lang/finland/about/Pages/stora-enso-brief.aspx> [Viitattu 12.6.2016].

Stora Enso, mittauspöytäkirjat 2005 – 2015. Ei saatavissa. [Viitattu 1.9.2016].

Soodakattila 10 tertiääritulistin

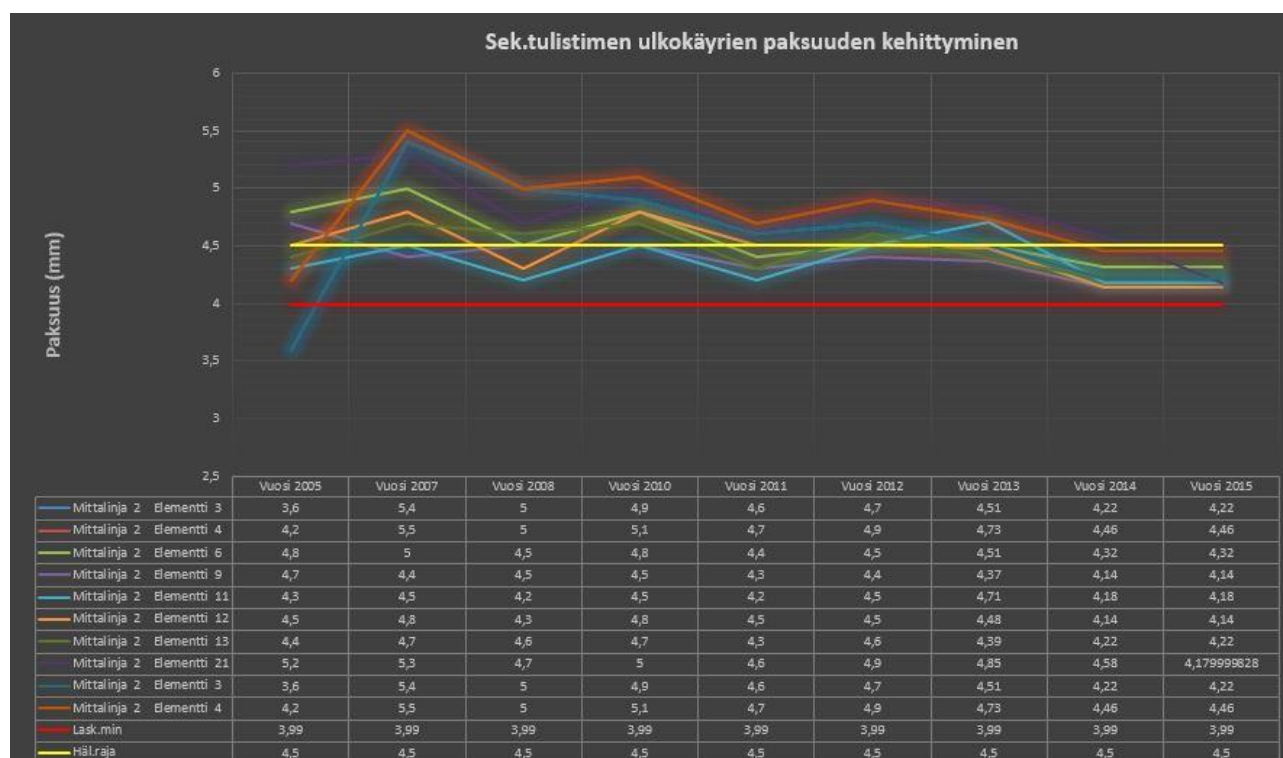


Kuva 16. SK10 tertiääritulistimen ohentuneet elementit keskimmäisistä käyristä mittalinjalta 16.

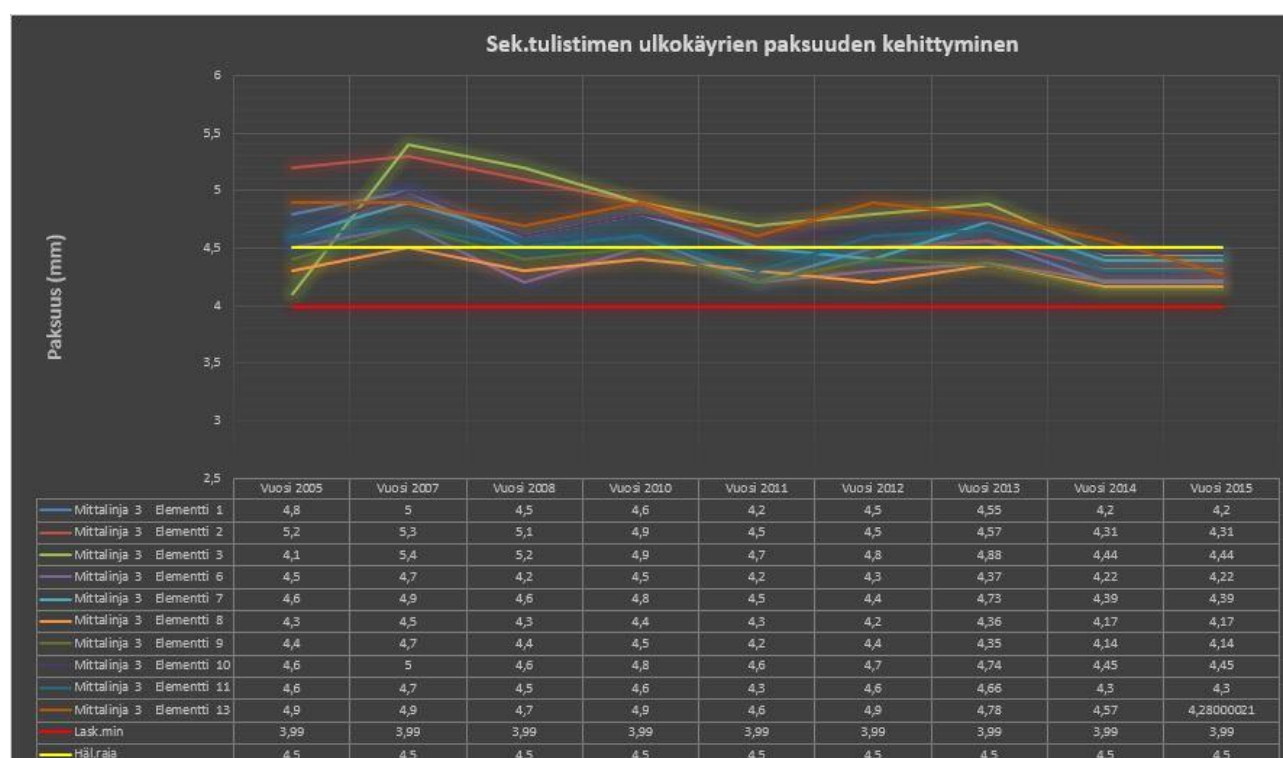


Kuva 17. SK10 tertiääritulistimen ohentuneet elementit sisimmäisistä käyristä mittalinjalta 20.

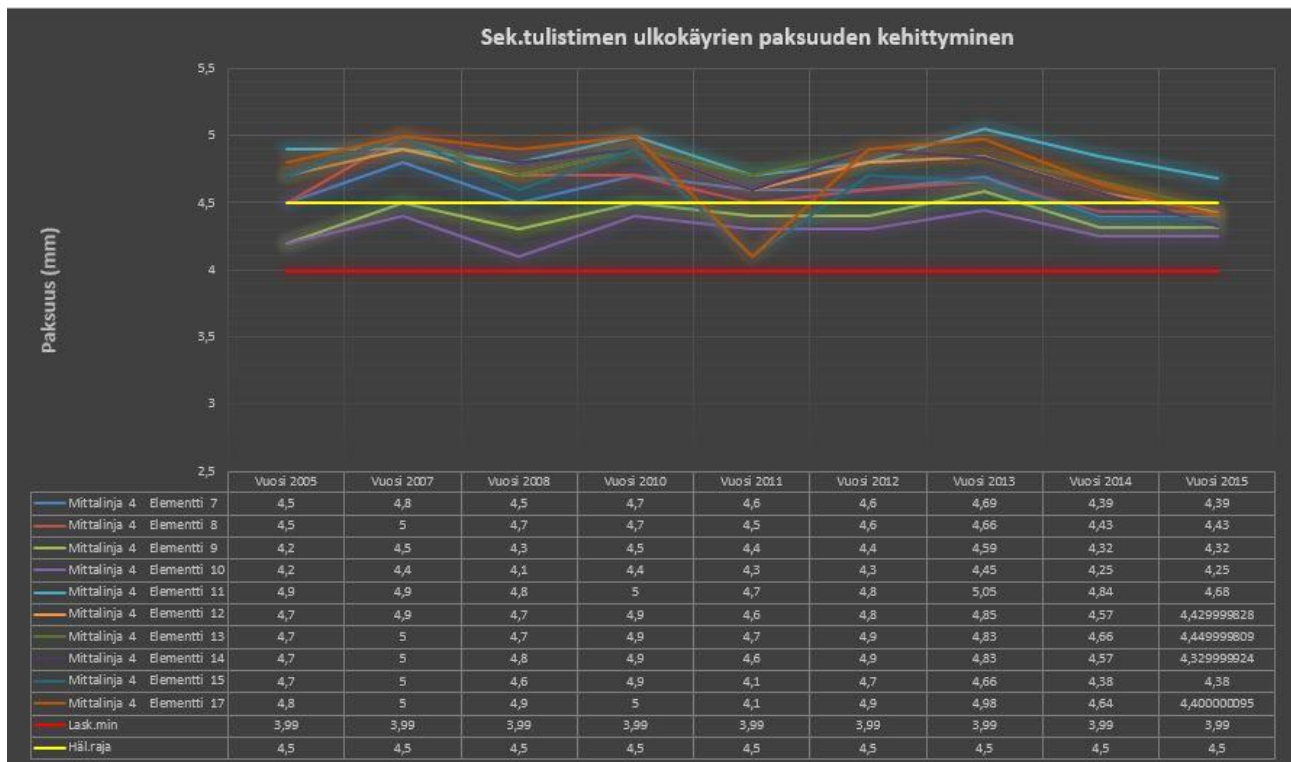
SK10 sekundäritulistin



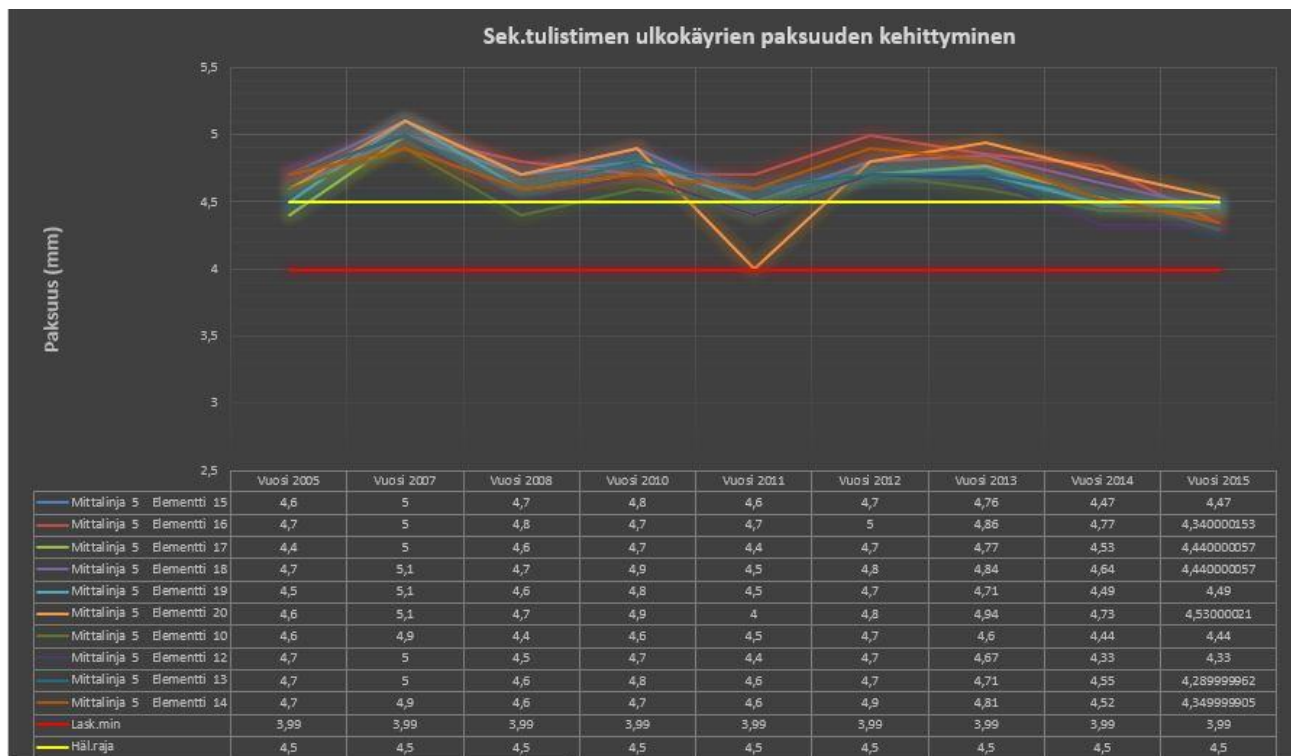
Kuva 18. SK10 sekundäritulistimen ulkokäyrien ohenema mittalinjalta 2.



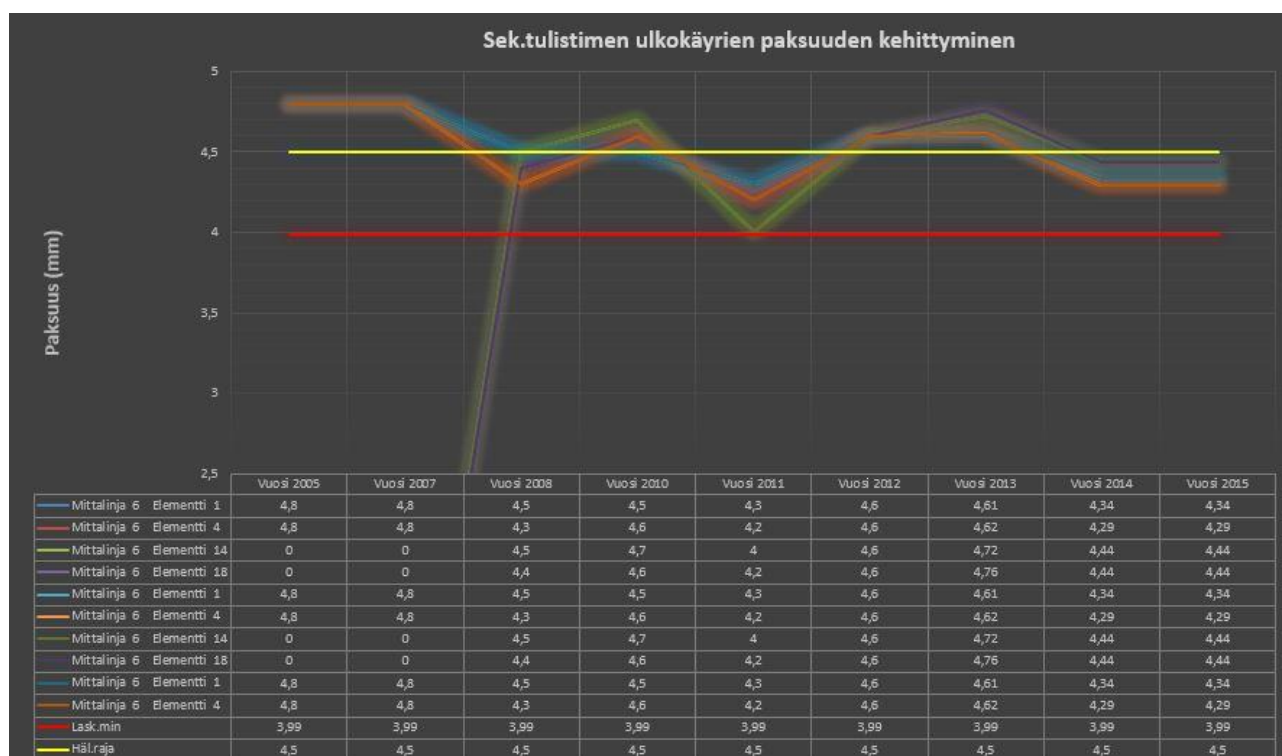
Kuva 19. SK10 sekundäritulistimen ulkokäyrien ohenema mittalinjalta 3.



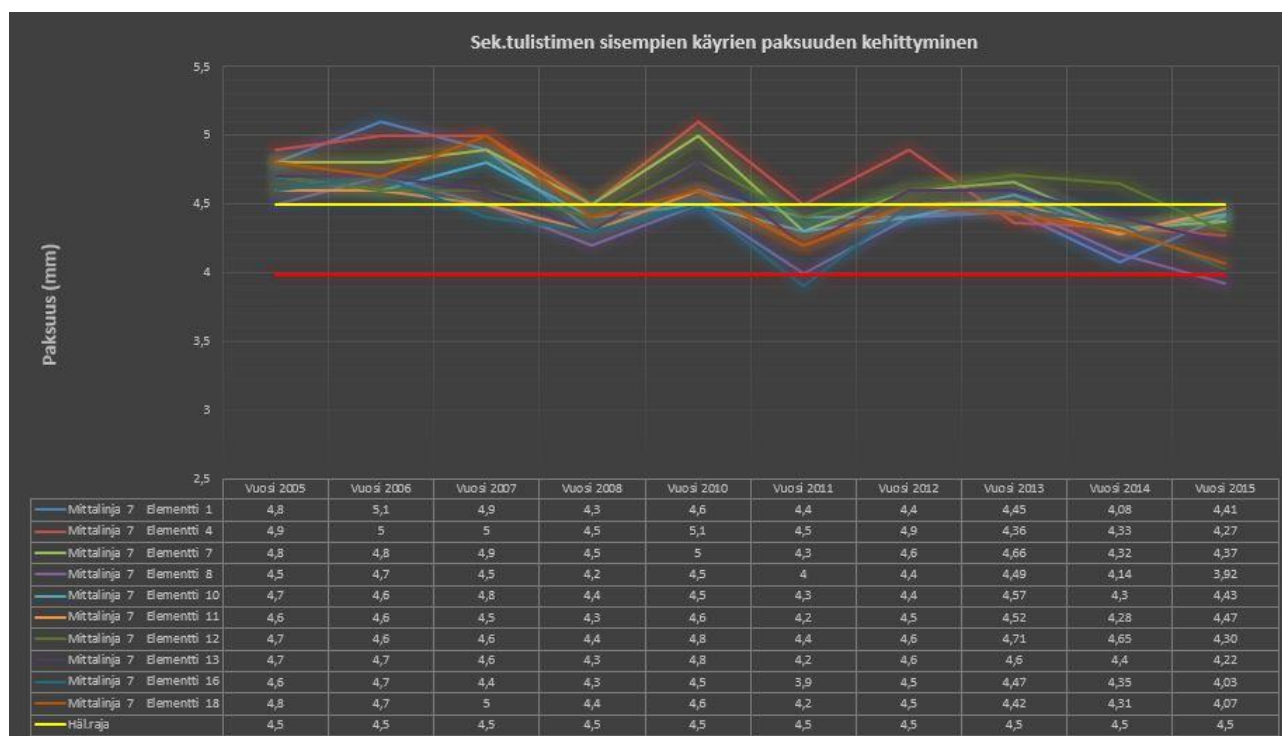
Kuva 20. SK10 sekundääritulistimen ulkokäyrien ohenema mittalinjalta 4.



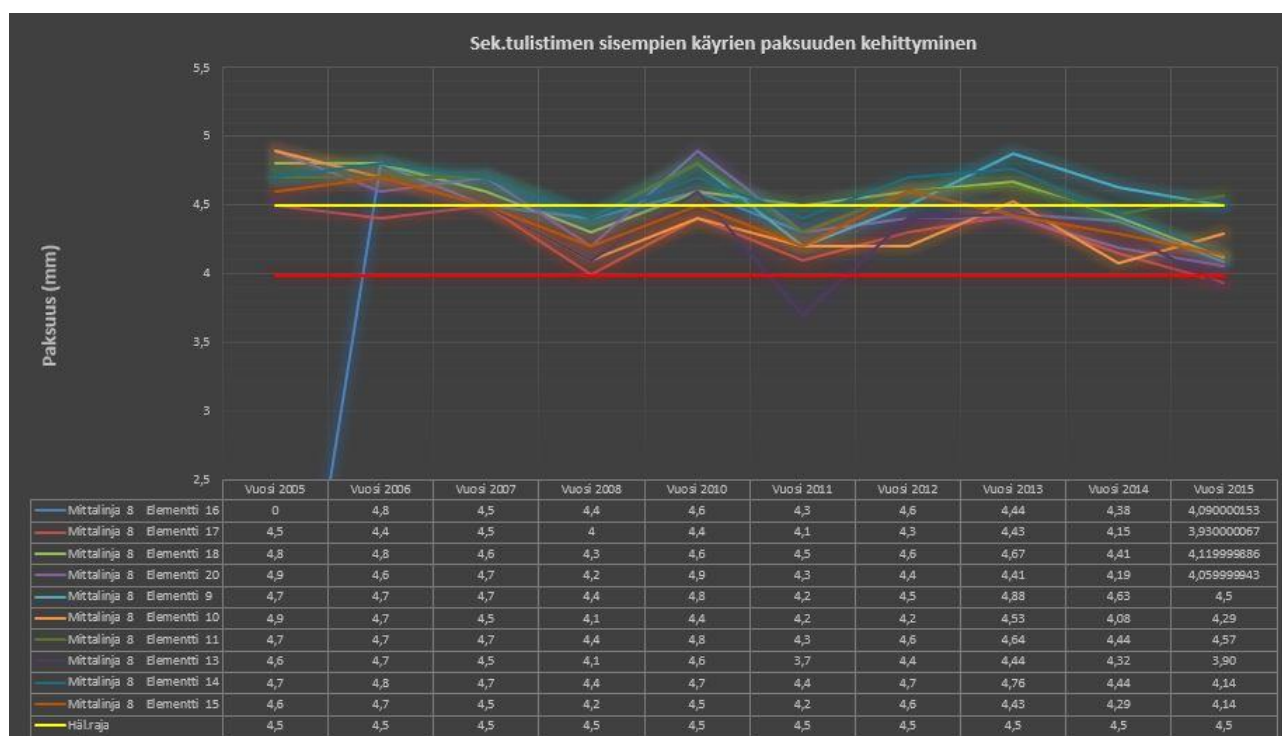
Kuva 21. SK10 sekundääritulistimen ulkokäyrien ohenema mittalinjalta 5.



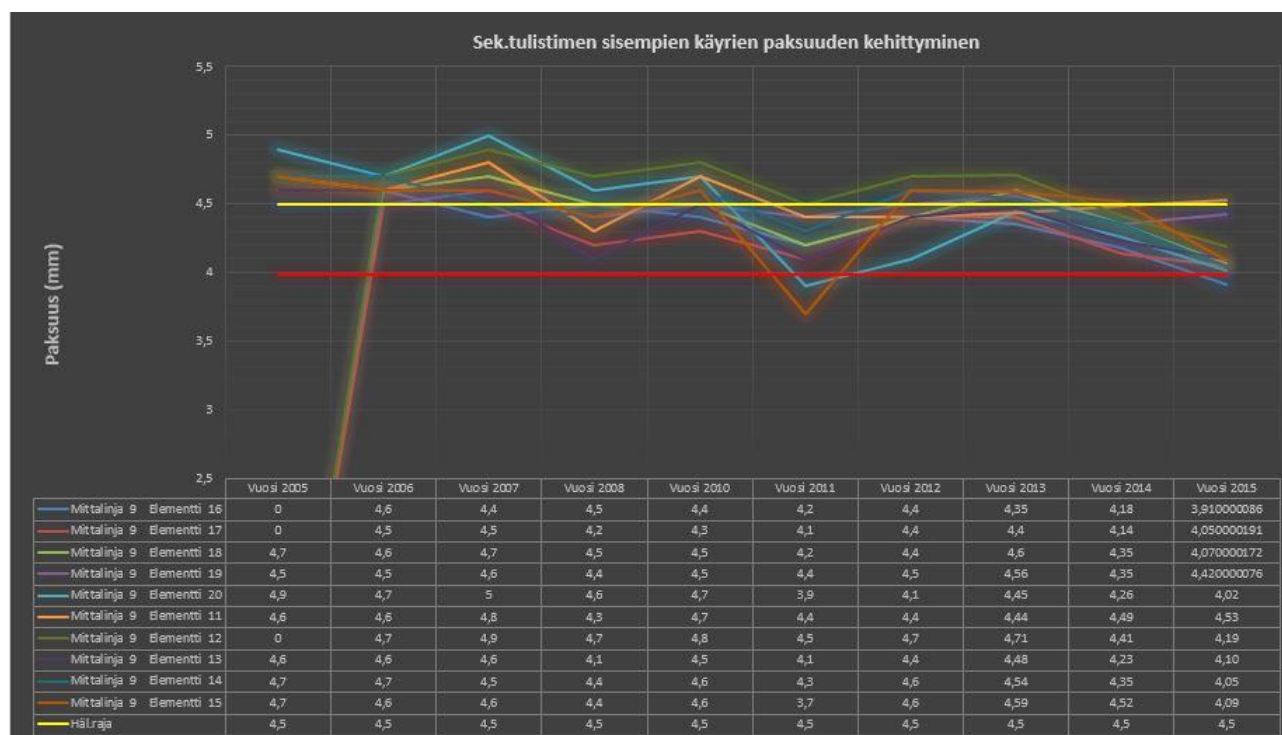
Kuva 22. SK10 sekundääritulistimen ulkokäyrien ohenema mittalinjalta 6.



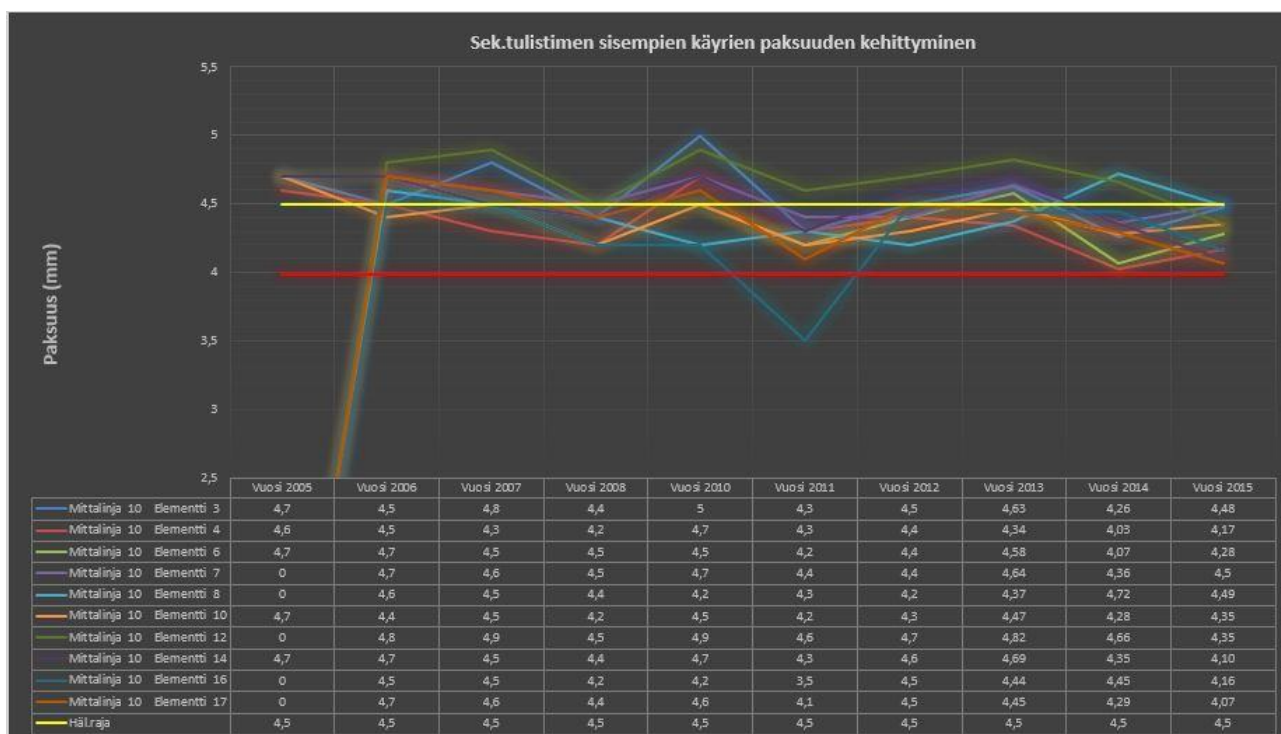
Kuva 23. SK10 sekundääritulistimen sisempien käyrien ohenema mittalinjalta 7.



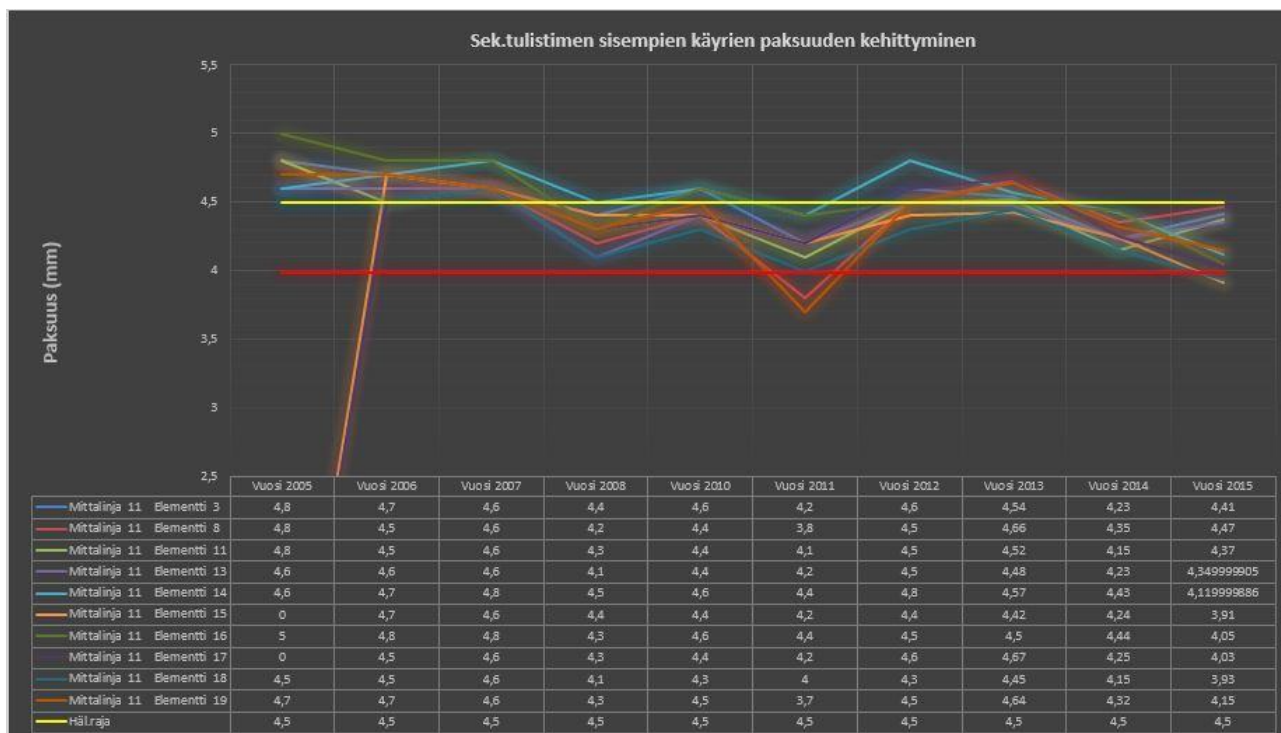
Kuva 24. SK10 sekundääritulistimen sisempien käyrien ohenema mittalinjalta 8.



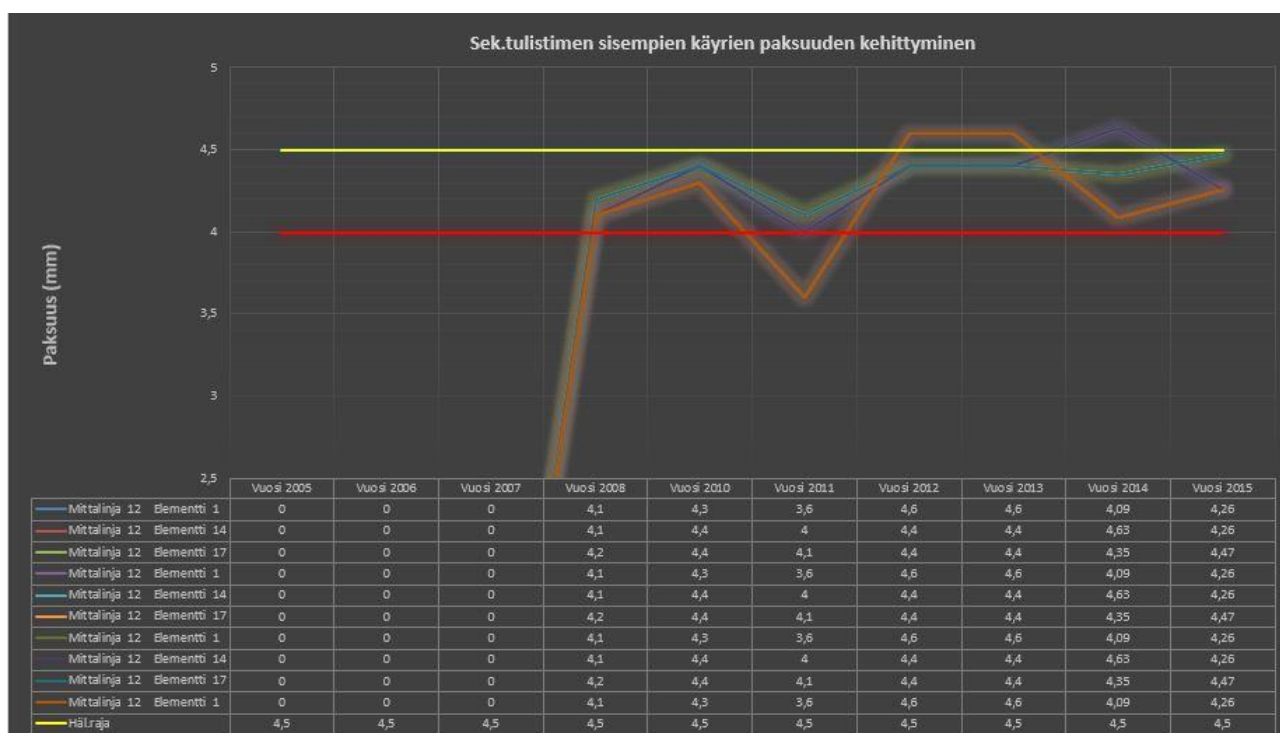
Kuva 25. SK10 sekundääritulistimen sisempien käyrien ohenema mittalinjalta 9.



Kuva 26. SK10 sekundäritulistimen sisempien käyrien ohenema mittalinjalta 10.



Kuva 27. SK10 sekundäritulistimen sisempien käyrien ohenema mittalinjalta 11.



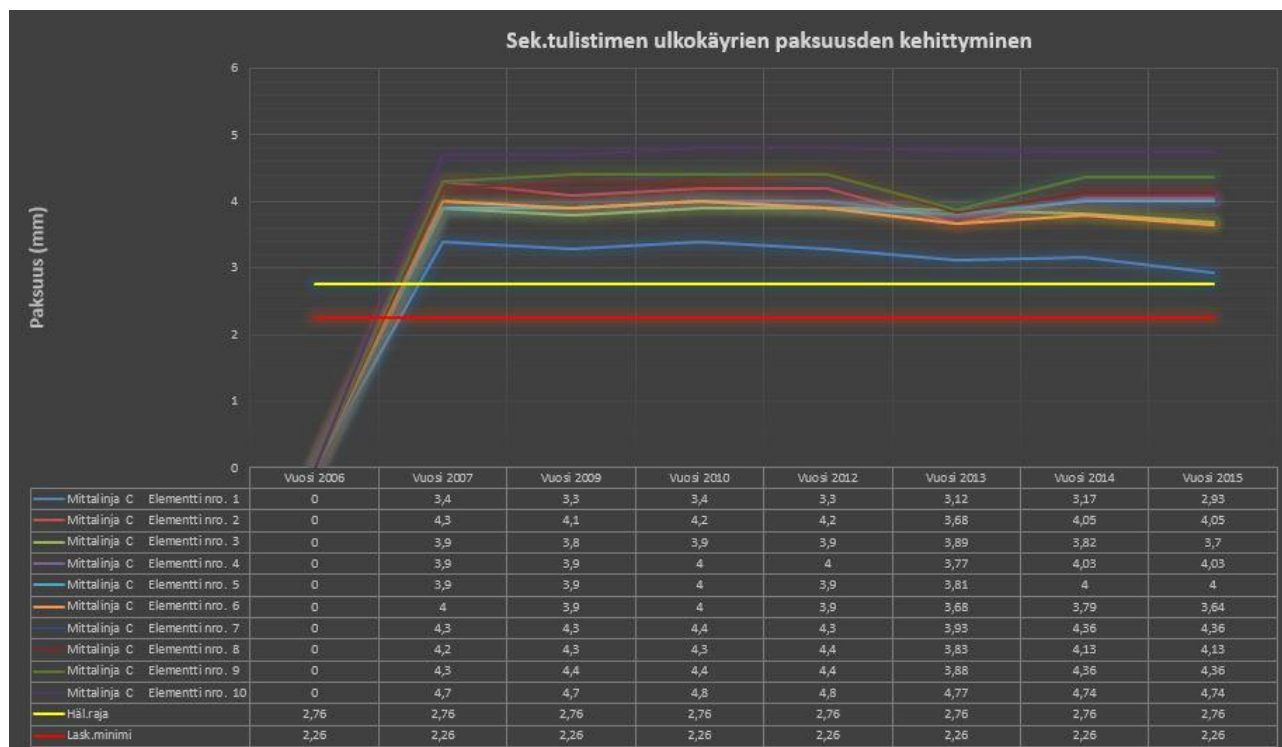
Kuva 28. SK10 sekundääritulistimen sisempien käyrien ohennus mittalinjalta 12.

SK10 primääritulistin

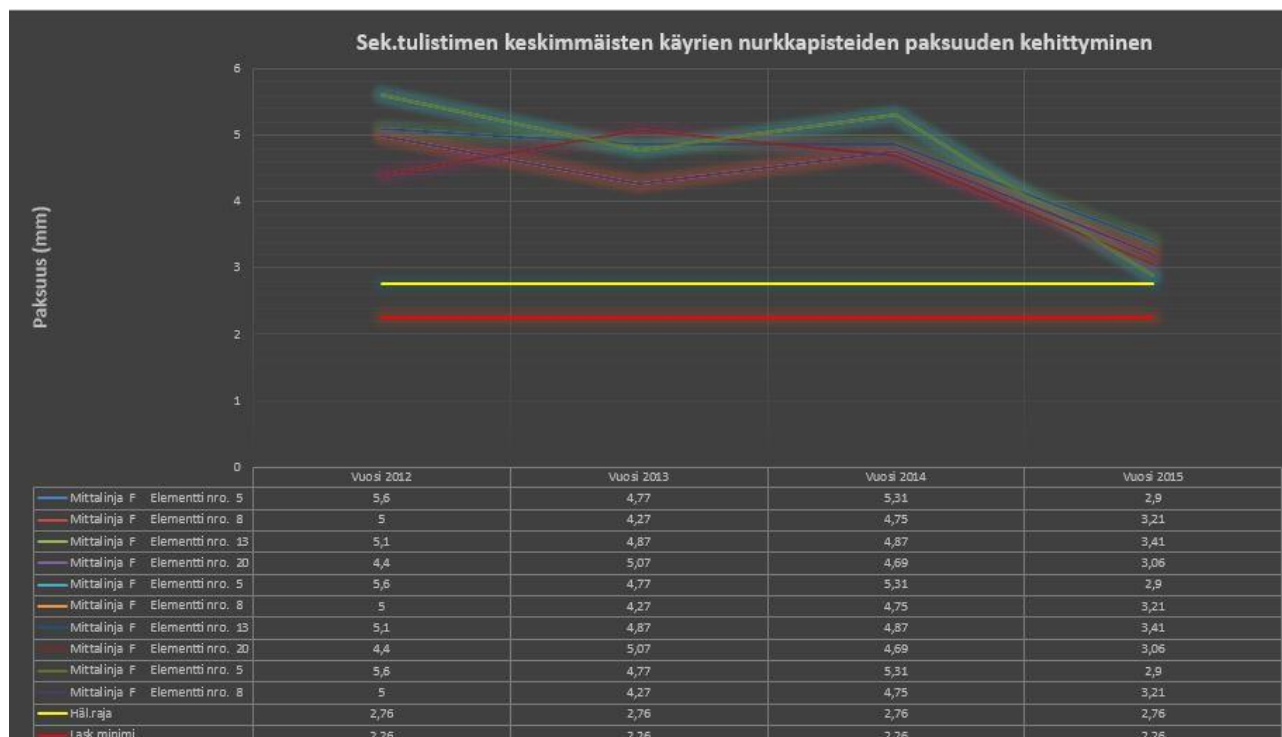


Kuva 29. SK10 primääritulistimen elementtien ohennus mittalinjalta 6.

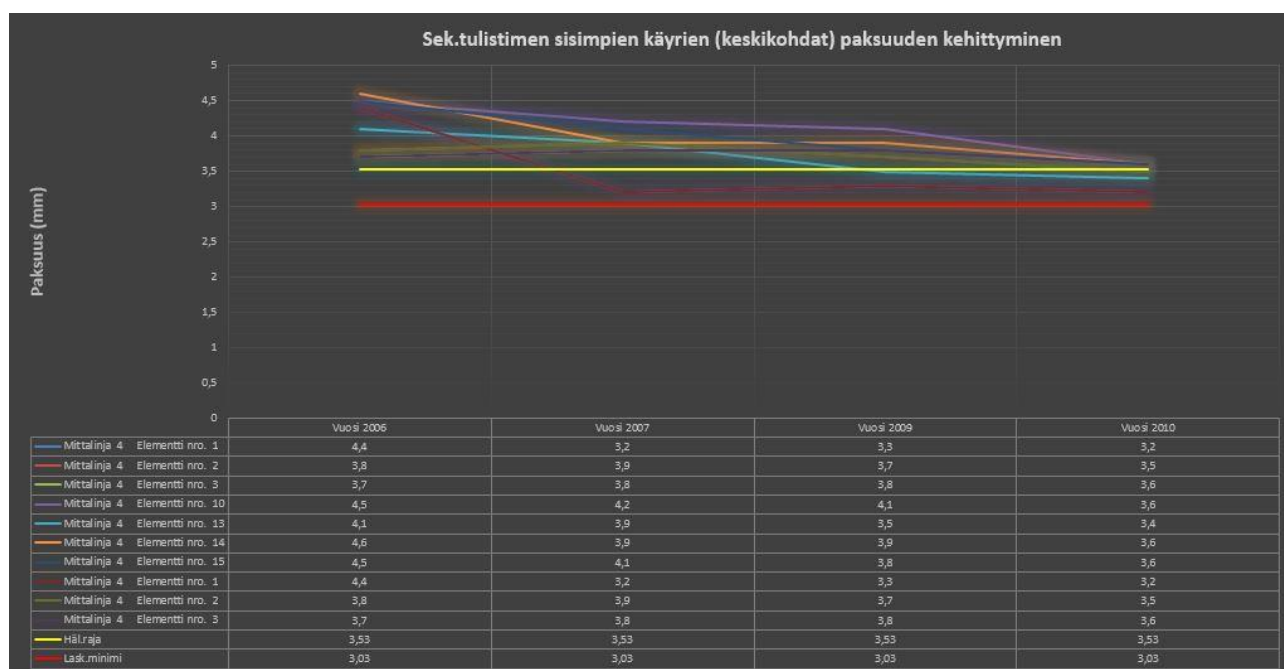
SK11 sekundääritulistin



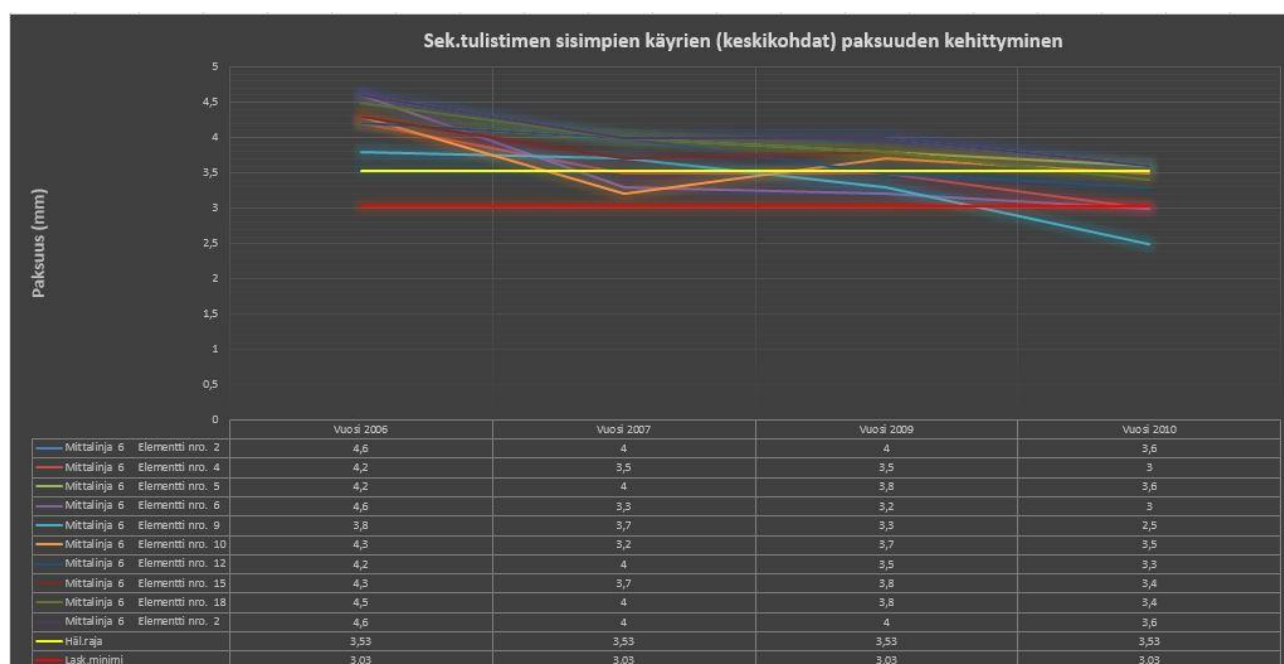
Kuva 30. SK11 sekundääritulistimen ulkokäyrien ohenemaa mittalinjalta C.



Kuva 31. SK11 sekundääritulistimen keskimmäisten käyrien ohenema nurkkapisteistä mittalinjalla F.



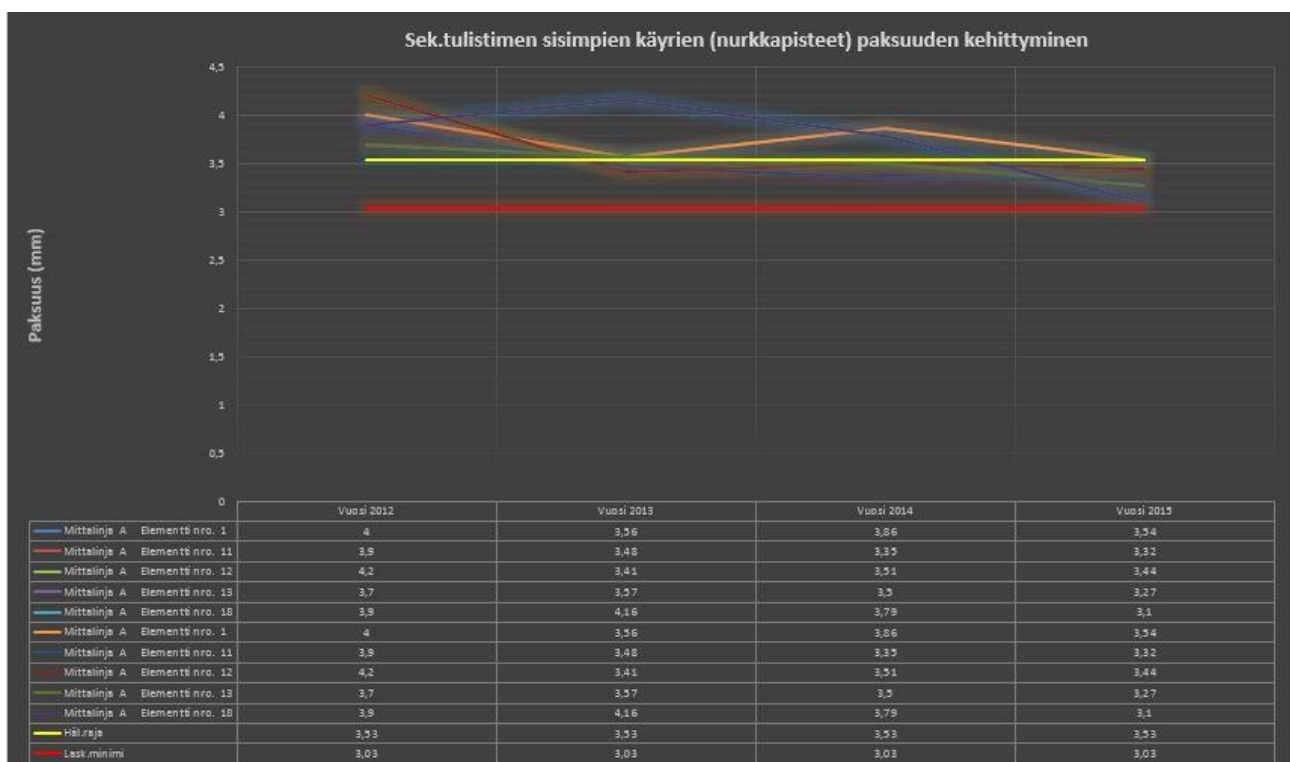
Kuva 32. SK11 sekundääritulistimen sisimpien käyrien ohenema mittalinjalla 4.



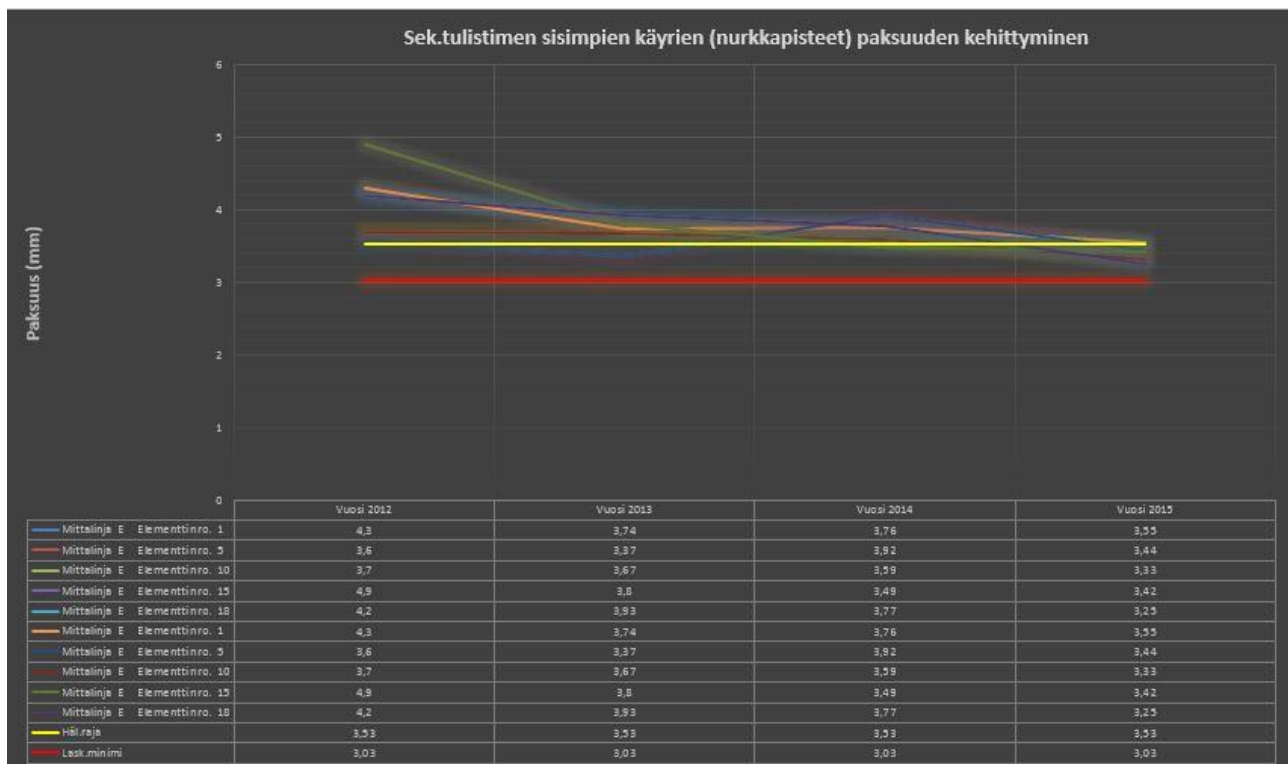
Kuva 33. SK11 sekundääritulistimen sisimpien käyrien ohenema mittalinjalla 6.



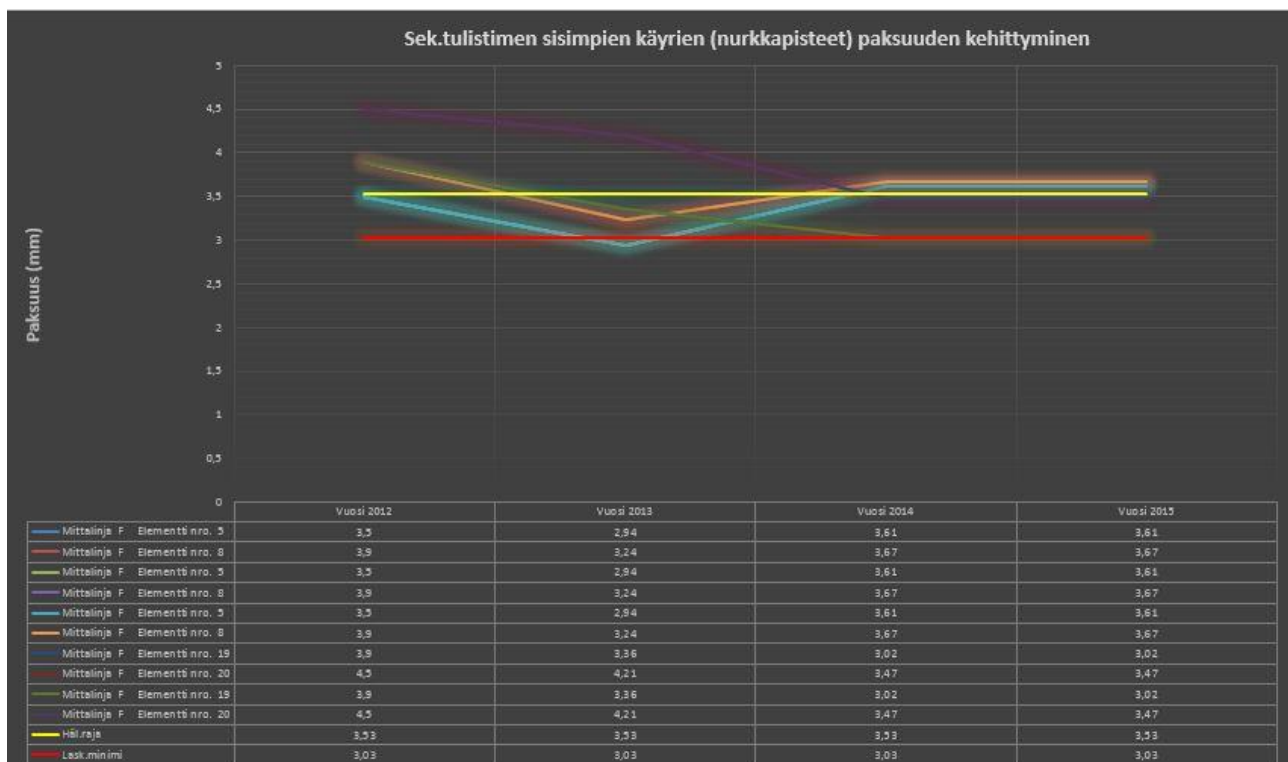
Kuva 34. SK11 sekundääritulistimen sisimpien käyrien ohenema mittalinjalla 8.



Kuva 35. SK11 sekundääritulistimen sisimpien käyrien ohenema mittalinjalta A.

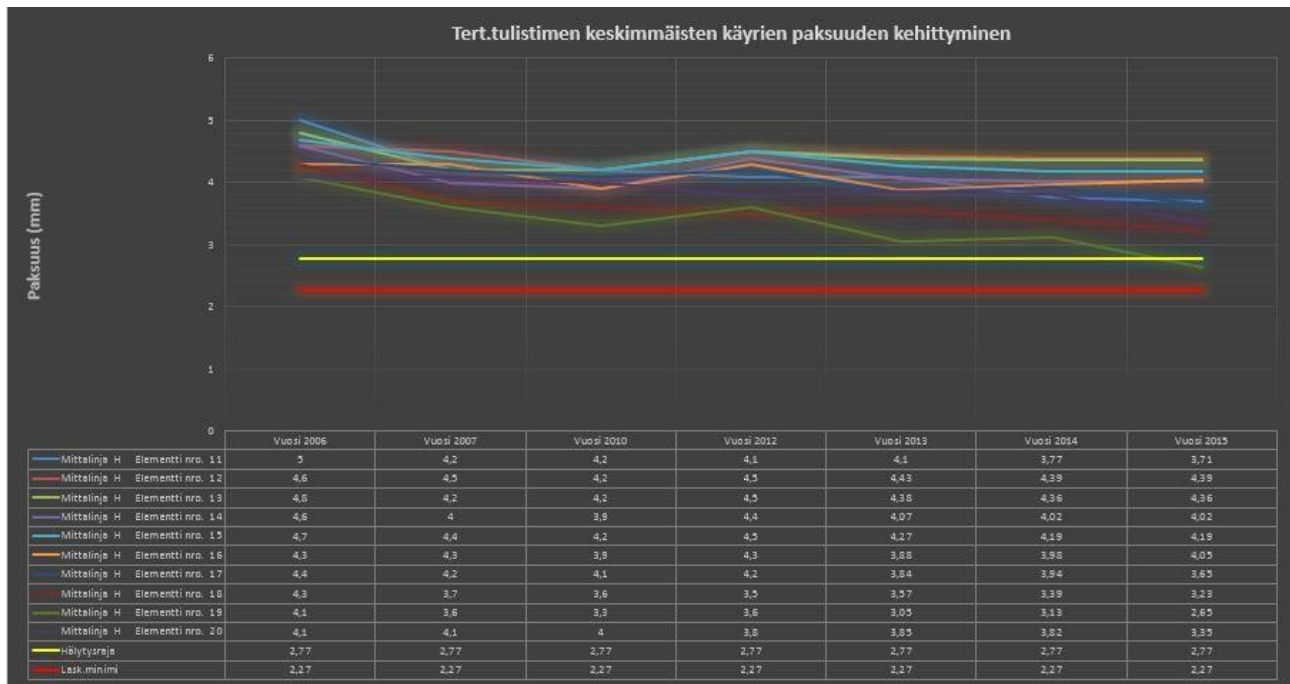


Kuva 36. SK11 sekundäritulistimen sisimpien käyrien ohenema mittalinjalta E.



Kuva 37. SK11 sekundäritulistimen sisimpien käyrien ohenema mittalinjalta F.

SK11 tertiäritulistin



Kuva 38. SK11 tertiäritulistimen keskimmäisten käyrien ohenemaa mittalinjalta H.

Ohje tietokantasovelluksen käyttöön sekä uusien mittaustulosten lisäämiseksi ohjelmaan

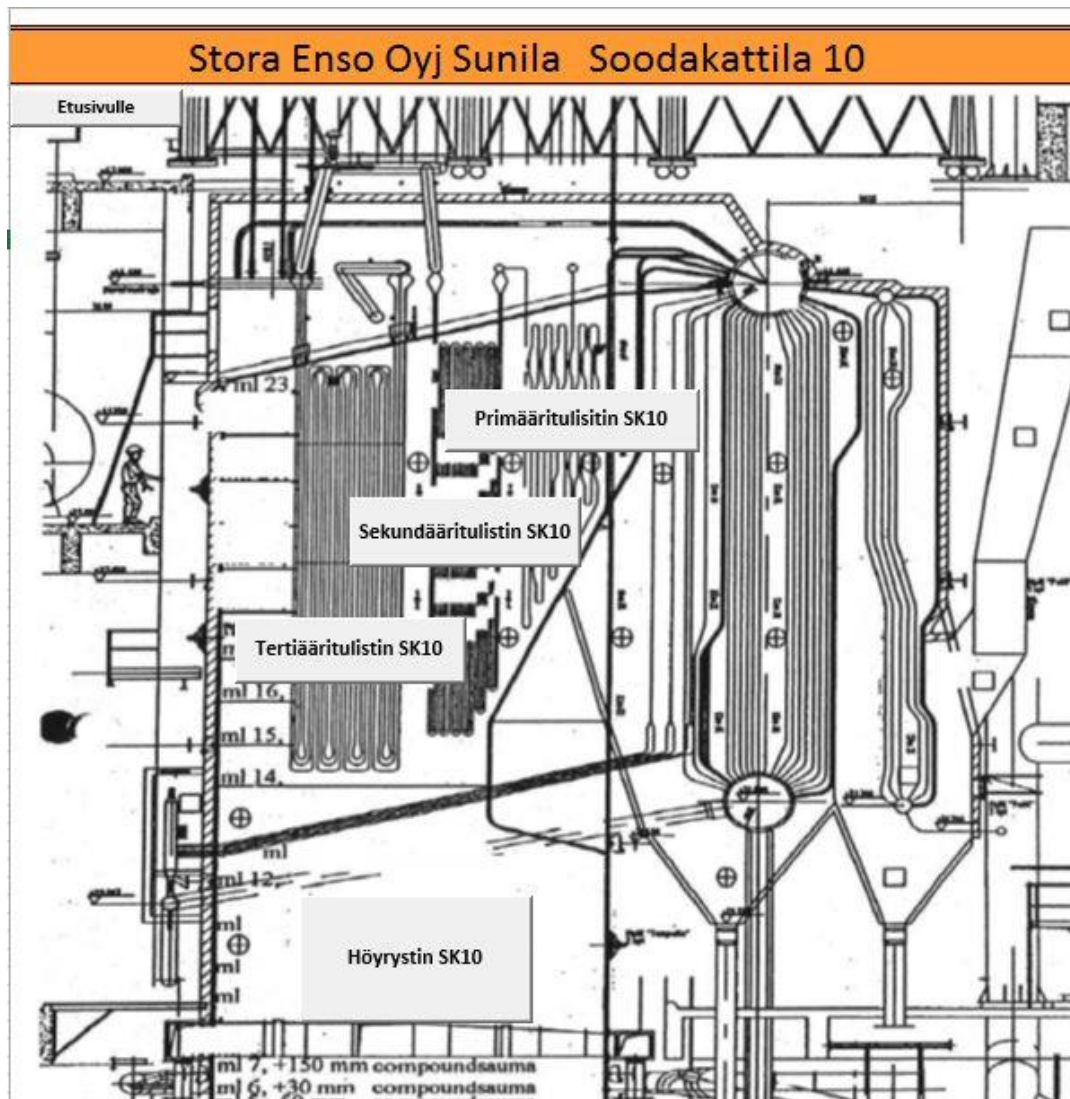
KÄYTTÖOHJE TIETOKANTASOVELLUKSELLE

Etusivulta alkaen, tietokantasovellus on rakennettu niin, että makroilla luodut painikkeet ohjaavat halutulle sivulle sekä takaisin. Paluupainikkeet on nimetty, joko **edellinen** tai **etusivulle**, riippuen siitä, millä taulukkosivulla kulloinkin operoidaan. Kyseisten painikkeiden sijainti on asetettu sivun vasempaan yläkulmaan, jolla on pyritty mukailemaan internet-selaimen näkymää.



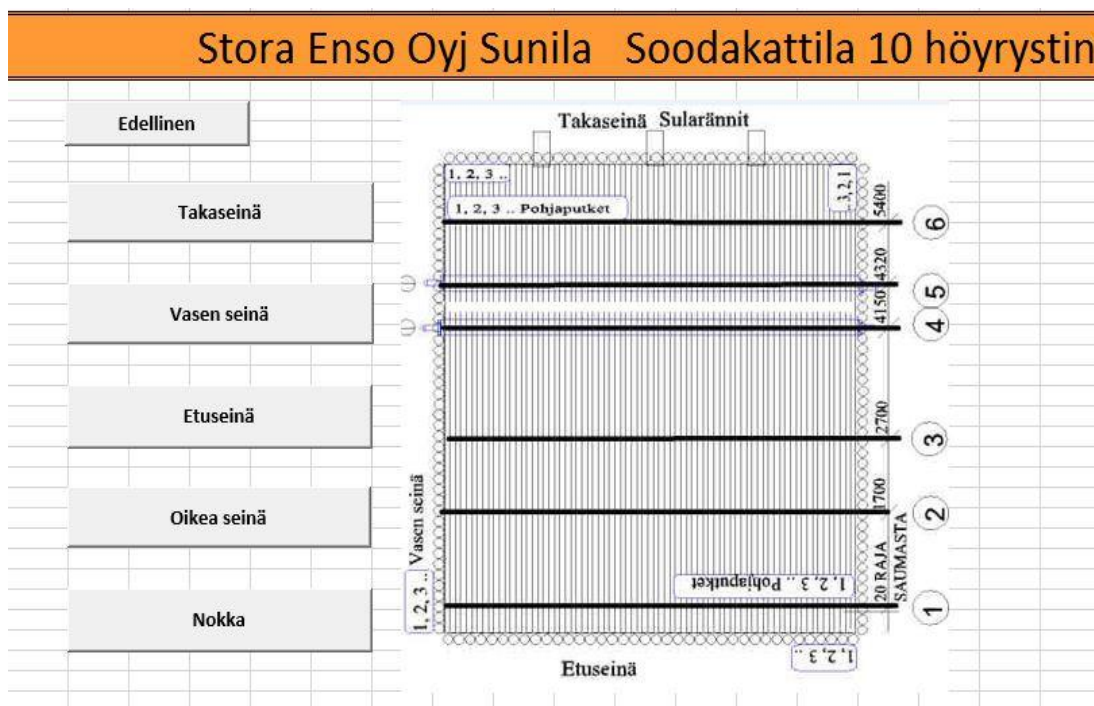
Kuva 39. Etusivun näkymä, jossa makroilla luodut valintapainikkeet molemmille soodakattiloille.

Kun halutaan tarkastella jompaakumpaa kattilaa, klikataan kyseisen kattilan painiketta. Tämän jälkeen avautuu taulukkosivu, jossa on kattilan poikkipiirroskuva ja johon on eritelty kyseisen soodakattilan osat. Kuvasta on helposti nähtävissä kattilan rakenne, sekä tarkasteltujen kohteiden sijainti.



Kuva 40. Soodakattila 10 poikkipiirroskuva, jossa on sijoitettuna tarkastellut rakenneosat oikeilla paikoillaan, sekä paluupainike etusivulle.

Kun painetaan Soodakattila 10 -painiketta, avautuu kuvan 40 kaltainen näkymä. Taulukkonäkymästä on mahdollista valita tarkastelukohteeseen, jokin soodakattilan kolmesta tulistimesta, tai vaihtoehtoisesti höyrystinosa. Painikkeita klikkaamalla avautuu jälleen uusi näkymä, johon on eritelty kyseiseltä osalta suoritettujen mittausten kohteet. Esimerkiksi höyrystinosalla tämä tarkoittaa neljää eri seinämää ja lisäksi nokkaa, jolla mittauksia oli suoritettu harvemmin. Painetaan valintapainiketta Höyrystin SK10.



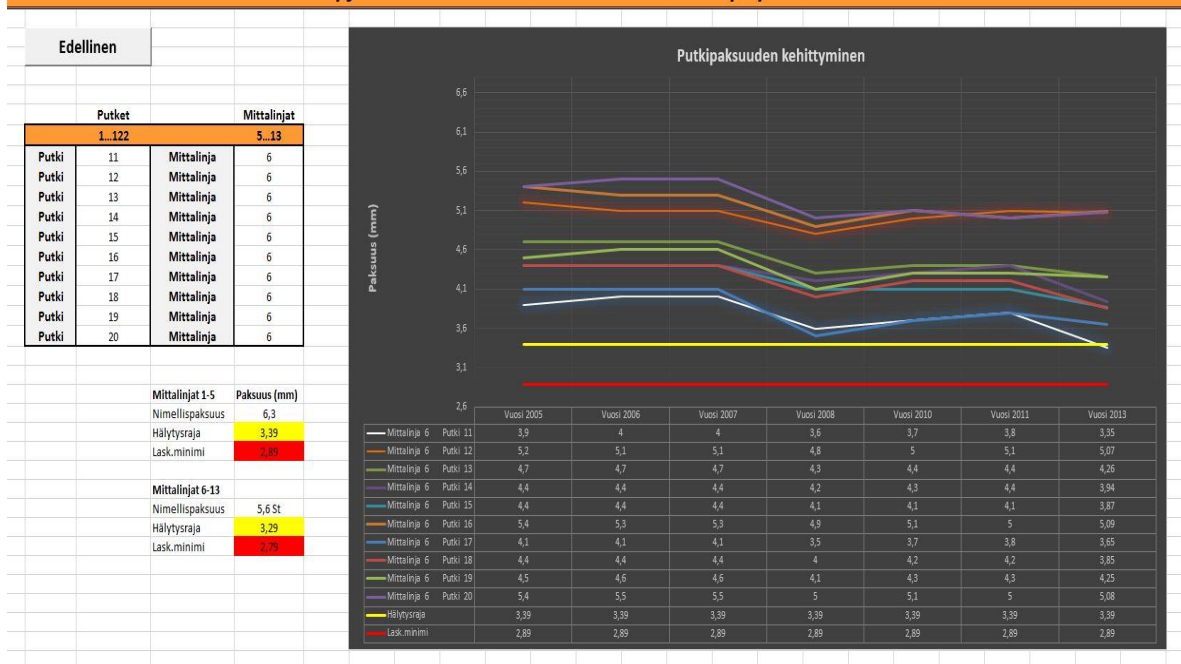
Kuva 41. Soodakattila 10 höyrystimeltä tarkastellut osiot ja lisäksi havainnekuva seinien sijainnista.

Nyt avautuu höyrystinosan seinäelementtivalikko, joka koostuu neljästä seinäelementistä. Kussakin seinäelementissä on 122 höyrystinputkea, sillä ope-
roimme SK10:n höyrystimellä.

Valitun seinäelementin jälkeen avautuu trendinäkymä, kuva 42, jonka vasemmassa laidassa sijaitsee valintataulukko halutulle/halutuille putkille, sekä mittalinjalle/mittalinjoille. Valintataulukko on merkattu valittavissa olevat putket, sekä mittalinjat. Näitä kahta tekijää vaihtamalla, vaihtuu myös trendinäkymässä piirtyvät trendit. Valintataulukko on rakennettu siten, että samanaikaisesti on valittavissa 10 eri putkea, jolloin 122 putken seinäelementti jakautuu karkeasti leveyssuunnassa 1/12-osaan ja nopeuttaa tällöin koko seinäelementin tarkastelua.

Sovelluksella on mahdollista valita tarkasteltavaksi myös yksittäinen putki, jolloin valintataulukon Putket-kohtaan tulee laittaa jokaisen kymmenen valintaruudun kohdalle sama putkinumero. Tällöin trendinäkymästä häviää yhdeksän muuta näkyvää trendiä ja yksittäisen putken tarkastelu helpottuu.

Stora Enso Oyj Sunila Soodakattila 10 höyrystin takaseinä



Kuva 42. Soodakattila 10 höyrystimen takaseinän trendinäköymä, jossa näkyy olennaisimmat tiedot. Putki- ja mittalinjavalikko on kuvan vasemmassa laidassa, samoin kuin hälytysrajat ja laskennallinen minimimitta putkipaksuudelle.

Kuvan 42 trendinäköymässä on nähtävillä kymmenen eri putken seinämäpaksuuden kehittyminen, jotka ovat mitattu samalta mittalinjalta. Trendinäköymään on sijoitettu hälytysrajan ja laskennallisen minimin alue, joka on kirkkaan punaisen ja keltaisen viivan väliin jäävä alue. Mikäli putkitrendi saapuu kyseisten suorien viivojen rajaamalle alueelle, tulisi kattiloiden kunnosta ja niiden käyttöturvallisuudesta vastaavan henkilön ryhtyä suunnittelemaan putken/putkien vaihtoa.

Kaikkien muidenkin soodakattilan rakenteellisten osien valinta tapahtuu samalla tavalla, valintapainikkeita painamalla. Jokaisesta osiosta avautuu vastaavanlainen trendinäköymä kuin kuvassa 42 ja oleellisin ero näiden näkymien välillä on mittalinjojen ja putkien merkintä. Tulistimien trendinäköymää katsottaessa, Putket-kohta on vaihdettu nimeen Elementti ja mittalinjat saattavat olla numeroiden sijaan merkitty kirjaimin, aivan niin kuin ne rakenteellisissa piirustuksissa on kuvattu.

UUDEN MITTAUSDATAN SYÖTTÄMINEN OHJELMAAN

Helpoin tapa lisätä uusia mittaustuloksia tietokantaan on copy-paste-menetely. Tällöin valitaan jo aiemmin luotu taulukkopohja halutusta kohteesta ja kopioidaan se. Kopioitu taulukko liitetään sille paikalle, mihin sen halutaan jäädän. Tämän jälkeen on hyvä tyhjentää kopioitu taulukko vanhoista mittaustuloksista ja siirtyä uusien mittaustulosten taulukkoon, jotka ovat erillisellä Excel-tiedostolla.

Vuosi 2005			Mittalinjat														
		Paksuus (mm)	Putket														
			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
Mittalinja 6	Putki 11	3,9	1	6,6	4,9	5	5,4	5,6	5,7	5,7	5,7						
Mittalinja 6	Putki 12	5,2	2	6,2	5,1	5,2	5,4	5,7	5,5	5,6	5,6						
Mittalinja 6	Putki 13	4,7	3	6,3	4,9	5	5,5	5,5	5,5	5,8	5,6						
Mittalinja 6	Putki 14	4,4	4	6,4	5,4	5,4	5,7	6	6,2	6,5	6,3						
Mittalinja 6	Putki 15	4,4	5	6,3	4,3	4,7	5,3	5,3	5,9	6,3	5,9						
Mittalinja 6	Putki 16	5,4	6	6,4	4,6	4,6	5	5,4	5,5	6	5,7						
Mittalinja 6	Putki 17	4,1	7	6,2	4,7	4,6	5,2	5,5	6	5,7	5,6						
Mittalinja 6	Putki 18	4,4	8	6,2	5,5	5,4	5,8	6,2	6,4	6,5	6,5						
Mittalinja 6	Putki 19	4,5	9	6,3	4,2	4,3	4,5	5	5,5	5,7	5,8						
Mittalinja 6	Putki 20	5,4	10	6,2	4,1	4,2	4,7	5		5,7	5,8						
			11	6,3	3,9	4,1	4,6	5		5	5,8						
			12	6,3	5,2	5,7	5,7	6	6,3	6,3	6,2						
			13	6,2	4,7	4,6	4,7	5,4	6	6	5,7						
			14	6,3	4,4	4,5	5	5,2	5,9	5,6	5,7						
			15	6,3	4,4	4,5	5,7	5,1	5,7	5,7	5,8						
			16	6,6	5,4	5,4	5,8	5,9	6	6,3	6,4						
			17	6,4	4,1	4,3	5	5,1	5,5	5,6	6						
			18	6,3	4,4	4,4	5	5,2	5,6	5,8	5,9						
			19	6,4	4,5	4,8	5,1	5,1	5,4	5,4	5,5						
			20	6,2	5,4	5,4	5,8	6	6	6,1	6						
			21	6,4	4,6	4,6	5	5,2	5,9	6	5,8						
			22	6,5	4,4	4,4	5	5,1	5,5	5,6	5,6						
			23	6,3	5,6	5,8	5,9	5,3	5,3	5,5	5,5						
			24	6,4	5,3	5,7	5,8	6	6,4	6,4	6,2						
			25	6,4	5,5	5,5	5,7	5,2	5,6	5,7	5,9						
			26	6,4	5,3	5,4	5,8	5,4	5,5	5,5	5,3						
			27	6,4	4,7	4,9	5	5,4	5,4	5,5	5,5						
			28	6,4	5	4,9	5,6	5,9	6	6,1	6,2						
			29	6,4	4,5	4,7	5,2	5,3	5,7	5,7	5,9						
			30	6,4	4,6	4,7	5,5	5,4	5,5	5,5	5,7						
			31	6,3	5,1	5,4	5,8	5,7	5,4	5,1	5,4						
			32	6,3	5,4	5,2	5,7	6,2	6,1	6,3	6,1						
			33	6,1	4,6	4,6	5	5,1	5,5	6	5,9						
			34	6,5	4,7	4,7	5	5	5,1	5,5	5,5						
			35	6,1	4,4	4,6	5	5,3	5,4	5,5	5,5						
			36	6,4	5,5	5,9	5,8	6,4	6	6,3	6,4						
			37	6,4	4,8	4,9	5,2	5,2	5,5	5,6	5,5						
			38	6,4	4,6	4,6	4,9	5,1	5,7	5,6	5,7						
			39	6,3	4,8	4,7	5,3	5,5	5,5	5,8	5,6						
			40	6,1	5,7	5,6	5,5	6,2	6,1	6,1	6,1						
			41	6,2	4,9	4,8	5,2	5,3	6	5,9	6,2						
			42	6,4	4,8	4,9	5	5,2	5,3	5,5	5,5						

Kuva 43. Olemassa olevan mittaustaulukon valinta ja kopioiminen.

Uudet mittaustulokset on järkevintä kopioida sarake kerrallaan ja liittää ne tietokannassa kopioituun uuteen tyhjään taulukkopohjaan. Tällöin tulee aina varmistua siitä, että on liittämässä oikean mittalinjan tulokset oikeaan paikkaan tyhjässä taulukossa. Kun mittalinjat ja uudet mittaustulokset täsmäävät, voidaan siirtyä muokkaamaan hakukenttää ja funktioita.

Tässä vaiheessa tarkastellaan taulukon vieressä olevia tietoja, jotka ovat sijoitettuna vuosiluvun alapuolelle. Tärkein tarkasteltava kohta on **Paksuus (mm)**, alapuolelle jäävät tiedot. Klikattaessa ensimmäistä paksuustulosta, Excelin kaavariville ilmestyy tietokannassa käytetty kaava, joka on JOS- ja VHAKU-funktioiden yhdistelmä. Viemällä kursori kaavariville ja klikkaamalla kaavaa, pystytään varmistumaan siitä, että kaavarivin VHAKU-funktio toimii halutulla tavalla, jos uusien mittaustulosten taulukkopohja rajautuu punaisella värillä.

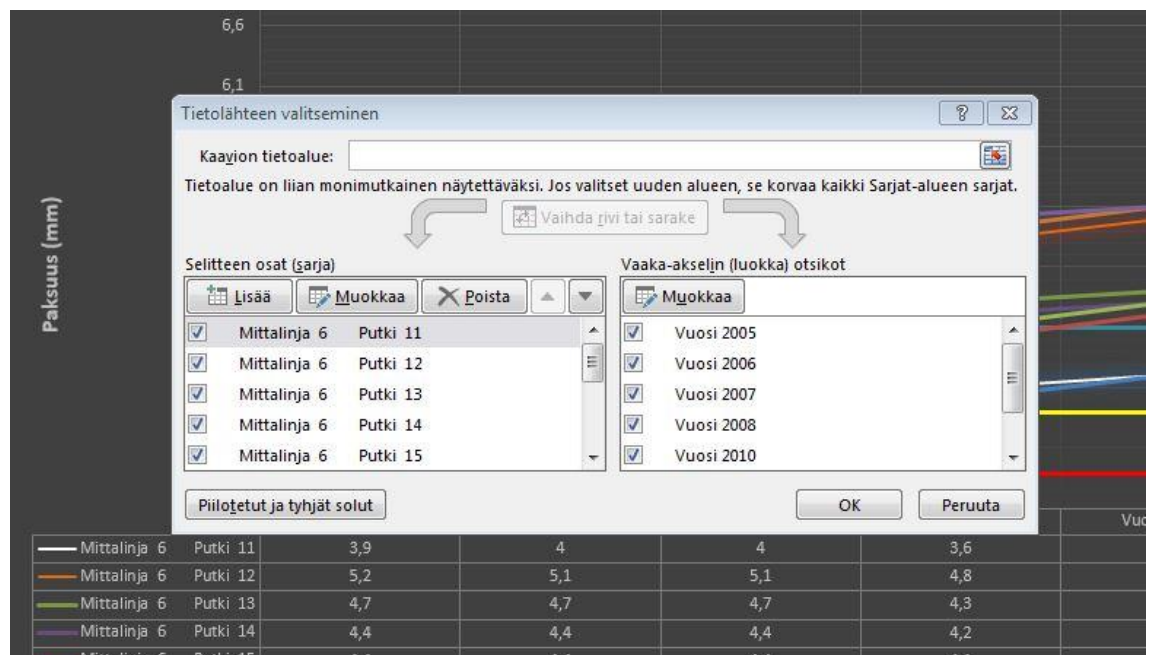
[illegible]

Kuva 44. Uusien mittaustulosten ja VHAKU-funktion toimivuuden varmistaminen.

Mikäli jokaisen **Paksuus (mm)**-kohdan alapuolella olevan kymmenen solun näkymä näyttää tältä, voidaan varmistua siitä, että käytössä oleva funktio toimii halutulla tavalla. Yleisin ongelma tässä vaiheessa on se, että funktio yrittää hakea edellisen taulukon tietoja, jolloin kaavarivin kenttään tulee siirtää uuden taulukon rajaama soluarvo. Näkymä on samankaltainen kuin kuvassa 44, mutta punaisella rajattu alue on edellisen mittaustulostaulukon ympärillä. Uusimassa Excel-versiossa punaisella rajatun alueen siirto onnistuu helpoiten

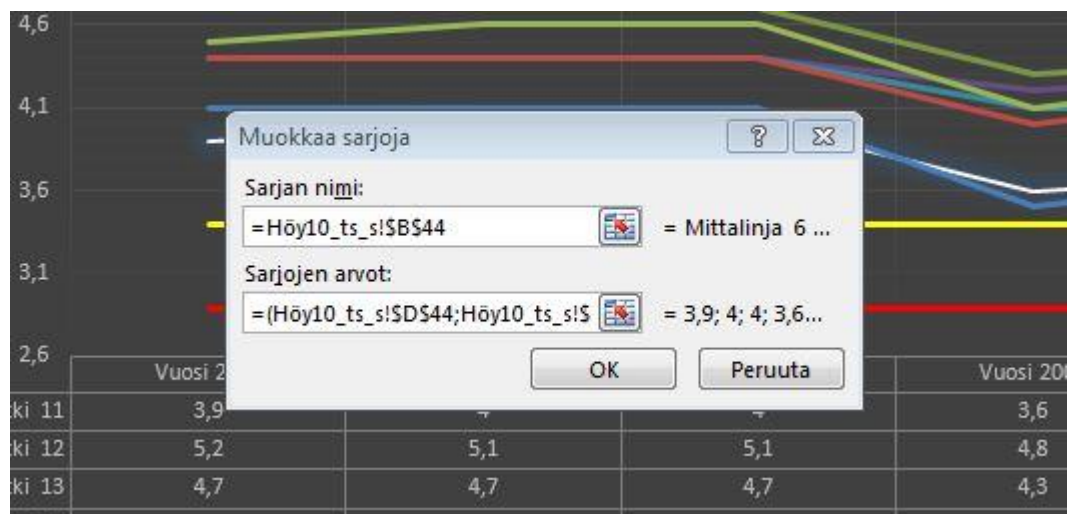
raahaamalla vanhan taulukon ympärillä oleva raja uusien taulukon ympärille. Mikäli tämä ei käytössä olevalla Excel-versiolla onnistu, täytyy kaavariiville kirjoittaa haluttu solualueen raja. Tämä toiminto tapahtuu kirjoittamalla kaavaan ne solut, jotka rajaavat mittaustulostaulukon alueen, esimerkiksi: ”;F\$169:Q\$291;”.

Kun halutaan syöttää uudet mittaustulokset trendinäkymään, tulee tällöin siirtä trendinäkymän kohdalle ja klikata sitä hiiren oikealla painikkeella. Tämän jälkeen avautuu kaavionmuokkausvalikko, josta tulee valita kohta ”Valitse tiedot...”. Kyseisen operaation jälkeen avautuu jälleen valintaikkuna, jossa on mahdollista valita jo trendinäkymässä olevia tietoja ja muokata niitä.



Kuva 45. Trendinäkymän muokkaamisessa käytettävä valintaikkuna.

Valikosta valitaan ensimmäinen kohta, jossa lukee Mittalinja 6 Putki 11. Tämän jälkeen klikataan Muokkaa-kohtaa, joka mahdollistaa uuden mittaustuloksen lisäämisen trendinäkymään. Muokkaa-painikkeen painaminen avaa uuden valintaikkunan, jossa on mahdollista muokata sarjoja. Uusi mittaustulos tai tarkemmin solu, josta tulos haetaan, lisätään Sarjojen arvot viimeisen solun perään ja tämän jälkeen uusi mittaustulos löytyy trendinäkymästä.



Kuva 46. Solun lisääminen sarjaan, jossa viimeisin mittaustulos on.

Tämä tehtävä toistuu kymmenen kertaa, sillä jokainen uusi **Paksuus (mm)**, kohdan alapuolella oleva mittaustulos täytyy hakea yksitellen trendinäkymään. Vuosiluvun lisääminen trendinäkymän arvotaulukkoon tapahtuu samalla tavalla kuin uusien mittaustulostenkin. Tässä kohtaa siirrytään kuvan 45 oikeanpuoleiseen sarakkeeseen, josta valitaan muokkaustoiminto. Haluttu vuosiluvun solu lisätään solujonon perään, jonka jälkeen se siirtyy trendinäkymään.