



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

VALKAISUSSA KÄYTETTÄVIEN PESUVESIEN OPTIMOINTI

Case: Metsä-Botnia Oy

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Tuotantopainoitteinen mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Toni Liimatainen

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka

LIIMATAINEN, TONI:

Valkaisussa käytettävien pesuvesien
optimointi
Case: Metsä-Botnia Oy

Tuotantopainoiteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 19 sivua, 3 liitesivua

Kevät 2012

TIIVISTELMÄ

Sellutehtaalla jätevedenpuhdistamon suurin kuormittaja on valkaisuista lähtevät happamat ja alkaliset jätevedet. Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää ajotilanteesta riippumaton ajomalli, jolla valkaisun pesuvesiä kannattaisi ajaa Äänekosken Botnian sellutehtaalla, eli ajetaanko koivupuusta tehtyä sellua vai havupuusta tehtyä sellua ja kuinka kovaa valkaisussa massaa ajetaan. Tutkittavana kohteena oli valkaisun pesurien pesuvesien nykytilanne ja optimitilanne. Äänekosken tehtaalla valkaisun D2- ja E2-vaiheisiin on aina ajettu pesuvesiä sama määrä riippumatta valkaisun ajovauhdista.

Tutkimus suoritettiin alkuun teoreettisesti, laskemalla optimi pesuvesimäärät. Tämän jälkeen tehtiin koeajoja laskemillani pesuvesimäärillä. Mittarina käytin massasta otettua sakeutta ja COD:tä.

Pesuvesien vähentämisen hyötyinä on jäteveden puhdistamolle menevän veden määrän väheneminen, vähentynyt metallien määrä, energiatehokkuus ja roskien väheneminen. Sellutehtaalle nämä seikat tarkoittavat ympäristökuormituksen vähenemistä, taloudellista hyötyä sekä laadun paranemista.

Avainsanat: valkaisu, jätevesi, pesuvesi, sakeus, COD

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

LIIMATAINEN, TONI:

Optimizing the amount of washing water
in bleaching

Bachelor's Thesis in Mechatronics

19 pages, 3 appendices

Spring 2012

ABSTRACT

The largest sources of loading in a pulp mill wastewater treatment plant are the acidic and alkaline wastewaters from bleaching. The aim of this study was to find an independent driving model for the bleaching department's washing waters at the Botnia pulp mill in Äänekoski. The model was to suit both birch and softwood based pulp.

The present situation of the wash water was studied and compared with an optimum situation in the bleaching scrubbers. The same amount of washing water has always been used at the mill regardless of the speed of the bleaching run during the stages D2 and E2.

This study was conducted at first theoretically, by calculating the optimum amount of the washing water. Thereafter, test runs were conducted by calculating the quantities of the washing water. Mass consistency and waste water COD were the measurements used.

The benefits of wash water reduction are the reduction of waste water going to the waste water treatment plant, decreased quantity of metals in the waste water, energy efficiency and waste reduction. These factors mean the reduction of environmental pollution, economic benefits and improved quality to the pulp mill. As a result of this study, it seems that these benefits will be realized at the plant.

Keywords: bleach, waste water, wash water, consistency, COD

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	BOTNIA OY	2
3	SELLUN VALMISTUS	4
3.1	Kuitulinja	5
3.1.1	Puunkäsittely	5
3.1.2	Keitto	6
3.1.3	Pesu 6	
3.1.4	Lajittelu	7
3.1.5	Happidelignifiointi	7
3.1.6	Kuivaus	8
3.2	Talteenotto	8
4	VALKAISU	9
4.1	Massanpesu valkaisussa	12
4.2	Tehtaan prosessivesitase	14
4.3	Sekundäärilauhteet	14
4.4	Kuumavesi	14
5	KOEAJOT	15
5.1	Koeajo 1	15
5.2	Koeajo 2	16
6	PÄÄTÄNTÖ	18
	LÄHTEET	19
	LIITTEET	20

SANASTO

Cod	Kemiallinen hapenkulutus on mittayksikkö sille happimäärälle, joka tarvitaan jäteveden kemiallisessa hajoamisessa. Se kuvaa jäteveden hitaasti hajoavien orgaanisten yhdisteiden aiheuttamaa hapenkulutusta.
ECF	Valkaisussa käytetään klooridioksidia, mutta ei alkuaineklooria (Elemental Chlorine Free).
Ligniini	Polyfenollinen amorfinen polymeeri, joka sitoo kuidut lujasti toisiinsa puussa ja antaa kuiduille jäykkyyttä.
Sulfaatti sellu	Kemiallisella menetelmällä natriumhydroksidin ja natriumsulfidin avulla valmistettu massa.
Valkaisu	Tarkoittaa massan aineosien värin poistamista tai muuttamista vaaleuden parantamiseksi. Sellu valkaistaan aina useassa peräkkäisessä vaiheessa.

1 JOHDANTO

Äänekosken sulfaattiselluloosatehdas, joka valmistui vuonna 1985, on yksi Botnian neljästä tehtaasta. Äänekosken tehdas valmistaa noin 500 000 tonnia valkaistua havu- ja koivusellua vuodessa. Äänekosken tehdas on erikoistunut tuottamaan sellua painopaperin ja taivekartongin valmistukseen. (Metsä-Botnia 2012d.)

Valkaisimon tarkoituksena on vaalentaa sellu haluttuun vaaleuteen, joka on 89 % ISO-lajista riippumatta. Äänekosken tehtaalla on viisi vaiheinen ECF-valkaisimo. Valkaisu jakaantuu kahteen osaan; D-vaiheeseen eli happamaan vaiheeseen ja E-vaiheeseen eli emäksiseen vaiheeseen. Valkaisussa poistetaan keitosta jäljelle jäänyt ligniini kemikaalien avulla. Tärkeimmät kemikaalit ovat klooridioksidi, kloorivesi, vetyperoksidi ja happi.

Valkaisuvaiheiden välillä massa pestään. Pesun tarkoituksena on poistaa liuenneet orgaaniset ja epäorgaaniset aineet, jotka voivat häiritä seuraavaa valkaisuvaihetta ja lisätä kemikaalikulutusta. Massan pesu on toteutettu vastavirtaperiaatteella. Happamat ja alkaliset pesuvedet pidetään erillään.

Valkaisu on suurin jäteveden puhdistamon kuormittaja. Äänekoskella valkaisun pesuvesiä on aina ajettu sama määrä, riippumatta tuotantovauhdista tai sellulajista.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, voiko valkaisun pesuvesimääriä muuttaa tuotantonopeuden muuttuessa. Tavoitteena on saada vähennetyksi tulevan veden määrää sekä tutkia, miten veden lisääminen vaikuttaa eri valkaisuvaiheissa.

Tarkoituksena on tehdä teoreettiset laskelmat pesuvesimäärille sekä ajaa muutaman päivän koeajo, jotta saataisiin todelliset tulokset. Koeajon tuloksia verrataan teoreettisiin laskelmiin.

2 BOTNIA OY

Oy Metsä-Botnia AB, markkinointinimeltään Botnia, perustettiin vuonna 1973. Botnian omistavat M-real Oyj, Metsäliitto Osuuskunta ja UPM-Kymmene Oyj. (Metsä-Botnia 2012c.)

Botnia kehittää ja valmistaa korkealaatuisia havu- ja lehtipuuselluja ajanmukaisilla tehtaillaan Suomessa. Joutsenon, Kemin, Rauman ja Äänekosken tehtaiden yhteenlaskettu tuotantokapasiteetti on 2,4 miljoonaa tonnia. Svir Timberin saha Venäjällä on Metsä-Botnia Ab:n omistama tytäryhtiö. (Metsä-Botnia 2012b.)

Niin havu- kuin lehtipuusellu soveltuvat loistavasti korkealaatuisten hienopaperien, taivekartonkien sekä erikois- ja pehmopaperien valmistukseen. Botnia on yksi maailman johtavia markkinasellun toimittajia ja on samalla markkinaselluagentti M-realille, UPM:lle ja Cenibralle. Botnia myy kymmenen tehtaan Euroopassa ja Etelä-Amerikassa valmistamaa markkinasellua. Myyntivalikoima käsittää yli 20 sellulaatua (Metsä-Botnia 2012b).

Botnia pyrkii soveltamaan teknologioita, prosesseja ja toimintaperiaatteita optimaalisesti minimoidakseen ympäristökuormituksen. Sellutuotannossa käytetty puu on uusiutuvaa raaka-ainetta, joka on hankittu sertifioiduista metsistä. Puolet puuraaka-aineen energiasisällöstä saadaan käyttöön biopoltttoaineena. Alhaisten päästöjen ja energiatehokkuuden ansiosta Botnia voi toimittaa tuotteita, joiden avulla asiakkaat voivat täyttää EU Econ ja Joutsenmerkin kaltaisten ympäristömerkkien tiukat vaatimukset omista tuotteistaan. (Metsä-Botnia2012b.)

Avainluvut 2010:

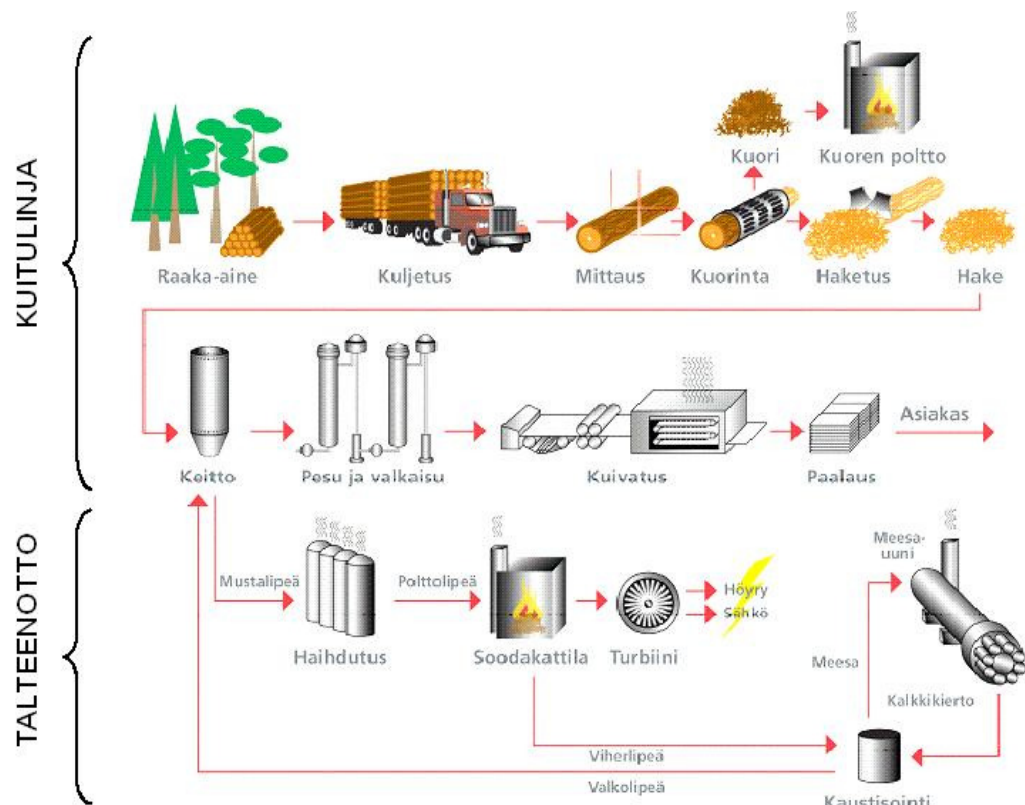
- liikevaihto 1365 miljoonaa euroa
- tuotantokapasiteetti 2,4 miljoonaa tonnia
- puunkäyttö 11,3 miljoonaa m³
- tulos ennen veroja 370 miljoonaa euroa
- energiaomavaraisuus 149 %
- myyntivalikoimassa 21 sellulaatua
- työntekijöitä 900

(Metsä-Botnia 2012a).

Äänekosken tehdas valmistui vuonna 1985, toisena Botnian tehtaista. Tehdas valmistaa havu- ja koivuselluja painopaperi- ja tavekartonkiasiakkaiden käyttöön. Sellunvalmistuksen ohella tehdas tuottaa höyryä, sähköä, kuorta, mäntyöljyä, tärpättiä ja natriumbisulfiittia. Tehtaan toimintavarmuuteen ja ympäristönsuojeluasioihin panostamalla varmistetaan tehokas tuotanto ja laadukkaat tuotteet. Nykyinen tuotantokapasiteetti on yli 1,5-kertainen mitoituskapasiteettiin nähden. (Metsä-Botnia 2012d.)

3 SELLUN VALMISTUS

Selluntuotantoprosessi voidaan jakaa kahteen pääosaan; kuitulinjaan ja talteenottoon. Kuviossa 1 on kuitulinjan ja talteenoton prosessikuvaus. Kuitulinjassa puu jalostetaan selluksi. Talteenotossa tuotetaan energiaa keitosta liuenneesta orgaanisesta aineesta ja otetaan talteen kuitujen erotukseen käytetyt keittokemikaalit uudelleen käytettäväksi. (KnowPulp oppimisympäristö.)



KUVIO 1. Prosessikuvaus (KnowPulp oppimisympäristö).

3.1 Kuitulinja

3.1.1 Puunkäsittely

Puu tuodaan tehtaalle pääsääntöisesti autolla tai junalla. Jotta halutaan varmistaa tehtaaseen tulevan puun määrä, on puu mitattava ennen käsittelyä. Siten voidaan laskea kuljetuskustannukset, samoin puun raaka-ainekustannukset tuotettua massatonna kohti. Puusta osa syötetään suoraan prosessiin ja loput varastoidaan lähelle purkupaikkaa. (KnowPulp oppimisympäristö.)

Puu kuoritaan kuorimarummussa. Kuorimarummun tehtävänä on kuoria puut haluttuun puhtausasteeseen, erottaa poistettu kuori puuvirrasta ja erottaa hiekka ja pienet kivet puuvirrasta. Kuorinta perustuu hankaukseen. Hankaus tapahtuu toisia puita vasten ja kuorintarummun seinämää vasten. Hankaus murtaa kuoren ja kuori irtoaa puusta. Syntyvä kuori käytetään polttoaineena Äänevoimalla. On tärkeää, että kuori ei sisällä vieraita aineksia ja sen kuiva-aine on mahdollisimman korkea. (KnowPulp oppimisympäristö.)

Tämän jälkeen puut haketetaan. Puut hakettuvat pudotessaan syöttösuppilon teräpyörää vasten, jolloin terät irrottavat puusta kiekkoja, jotka murtuessaan muuttuvat hakepalasiksi. (KnowPulp oppimisympäristö.)

Hakkeen laatua seurataan koeseulonnoilla. Ylisuuri hake vaikuttaa keitossa lisääntyneeseen oksaanikiertoon ja alimittainen hake ylikeittyy, jolloin saanto huononee. (KnowPulp oppimisympäristö.)

Hake varastoidaan avovarastoihin, joista se kuljetetaan seulonnan kautta jatkoprosessiin. Hakkeesta poistetaan seulonnassa jatkoprosessia haittaavat jakeet. (KnowPulp oppimisympäristö.)

3.1.2 Keitto

Sulfaattikeiton tehtävänä on poistaa kemikaalien ja lämmön avulla kuituja sitovaa ligniiniä, jotta hake kuituuntuu helposti. Tavoitteena on, että kuidut pysyisivät mahdollisimman pitkinä, ehjinä ja vahvoina. Toinen tavoite on, että saataisiin poistettua puun uuteaineita, jotka voivat aiheuttaa vaahtoamista ja saostumia myöhemmin prosessissa.

Keittokemikaalina käytetään valkolipeää, joka koostuu natriumhydroksidin (NaOH) ja natriumsulfidin (Na₂S) seoksesta. Kemikaalit liottavat mahdollisimman paljon ligniiniä ja mahdollisimman vähän selluloosaa.

Keiton jälkeen massassa oleva ruskea väri johtuu ligniinistä. Ligniinin määrää kuvataan kappaluvulla. Valkaistavan massan kappaluku on lehtipuulla tyypillisesti 14 – 20 ja havupuulla 25 – 30. Keitossa ligniini pyritään poistamaan melko tarkoin, sillä valkaisukemikaalit ovat selvästi keittokemikaaleja kalliimpia. Keittovaiheessa liika ligniinin poisto kuitenkin lisää selluloosan liukenemista ja näin alentaa massan lujuutta ja saantoa eli kuinka monta prosenttia kuivasta puusta saadaan selluksi. Saanto on normaalisti lehtipuulle 50 – 53 % ja havupuulle 46 – 49 %. (Seppälä J, Klemetti, Kortelainen, Lyytikäinen, Siitonen ja Sironen 2002 sivu 75.)

3.1.3 Pesu

Keiton jälkeen valmistusprosessin seuraava vaihe on massan pesu. Ruskean massan pesun tarkoituksena on erottaa mahdollisimman tarkoin keiton aikana liuennut puuaines sekä keittokemikaalit eli jäteliemi. Pesun tavoite on, että massa saadaan puhdistettua jatkokäsittelyä varten ja jäteliemi otetaan talteen mahdollisimman vähän laimennettuna myöhempää haihdutusta ja polttoa varten. Jäteliemi johdetaan haihduttamolle ja sitten poltettavaksi soodakattilaan, jossa sen epäorgaaniset ainekset regeneroidaan uudelleen käytettävään muotoon ja orgaanisten aineiden lämpöenergia otetaan talteen. (Seppälä ym. 2002 sivu 101.)

Tärkeimmät hyödyt jatkokäsittelyä varten ovat seuraavat:

- Valkaisukemikaalien kulutus saadaan mahdollisimman pieneksi
- valkaisuun jätevesiin menevän aineksen vähentämiseksi
- massan käsittelyn helpottamiseksi
- massan lujuuden liiallisen heikkenemisen estämiseksi happidelignifioinnissa. (KnowPulp oppimisympäristö.)

3.1.4 Lajittelu

Massa sisältää keiton jälkeen useita erilaisia epäpuhtauksia, jotka ovat päässeet hakkeen mukana keittoon. Nämä epäpuhtaudet ovat kehittymättömät hakepalat sekä kuori, kivet ja metallit. Epäpuhtauksien poistoa kutsutaan lajitteluksi.

Epäpuhtaudet heikentävät lopputuotteen laatua, voivat vaurioittaa prosessilaitteita ja aiheuttaa ajettavuusongelmia. Epäpuhtaudet poistetaan lajittelusta niiden koon ja painon perusteella. Lajittelu tehdään useassa vaiheessa hyödyntäen mekaanista lajittelua ja pyörrepuhdistusta. Lajiteltu massa syötetään kaksoissaostajalle, jossa massaa pestään ja saostetaan ennen happivaihetta. (Seppälä ym. 2002, sivu 110.)

3.1.5 Happidelignifiointi

Happidelignifioinnissa jatketaan ligniiniin poistoa keittoa lievemmissä olosuhteissa. Vaikuttavina aineina toimivat happi ja alkali. Massa syötetään happireaktoriin sakeusmassapumpulla ja reaktorissa sekoitetaan hapetettu valkolipeä massaan. Massa pumpataan edelleen sameusmassatorneihin, josta edelleen pesupuristimelle. (KnowPulp oppimisympäristö.)

3.1.6 Kuivaus

Kuivaamossa sellumassa ruiskutetaan kuivauskoneen viiralle, jossa sellusta poistetaan vettä imemällä ja puristamalla. Loppu vesi haihdutetaan kuivauskaapissa, minkä jälkeen tuotteen kuiva-ainepitoisuus on 90 %. Kuivattu sellu leikataan arkeiksi ja paalataan 250 kilon paaleiksi, jotka yhdistetään 1000 kilon kuljetusyksiköksi.

3.2 Talteenotto

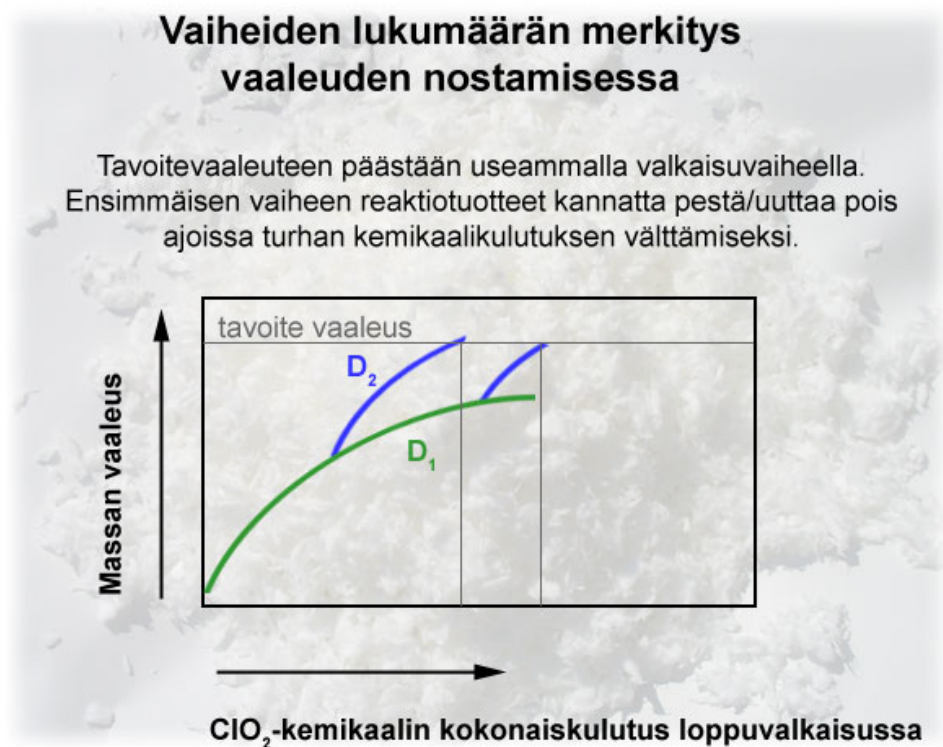
Sulfaattisellun keitossa vapautuu mustalipeää, joka syntyy keitossa valkolipeän reagoiessa puun ligniiniin. Mustalipeä pestään, minkä jälkeen siitä pyritään poistamaan ylimääräinen vesi haihduttamalla. Tämän jälkeen mustalipeä johdetaan soodakattilalle, jonka tehtävänä on kemikaalien ja prosessissa syntyvän palamislämmön talteenotto. Kemikaalit sulavat soodakattilan pohjalle, josta sula johdetaan jäähdytettyä sularänniä pitkin liuotinsäiliöön. Kemikaalisula liuotetaan laihavalkolipeään, minkä seurauksena syntyy viherlipeää. Viherlipeä johdetaan kaustistamoon, jossa se reagoi sammutetun kalkin kanssa. Tällöin syntyy uutta valkolipeäluosta. (KnowPulp oppimisympäristö.)

Mustalipeää poltetaan soodakattilan tulipesässä. Poltossa syntyvä lämpöenergia otetaan talteen soodakattilan kattilaveteen. Veden höyrystyessä saadaan turbiinin avulla tuotettua sähköä sekä käytettyä höyryä muihin prosessin eri vaiheisiin, kuten esimerkiksi lämmittämiseen. (Knowpulp oppimisympäristö.)

4 VALKAISU

Keiton ja happivalkaisun jälkeen massassa on vielä jäännösligniiniä ja muita värillisiä epäpuhtauksia, joiden takia massa on tummaa ja vaaleus on alle 30 %. Jäännösligniini on merkittävin väriä aiheuttava aine, joka tulee poistaa mahdollisimman tarkasti. Valkaisulla poistetaan jäännösligniini käytännöllisesti katsoen kokonaan ja vaalennetaan jäljelle jääviä epäpuhtauksia. (Metlas 1991, sivu 90; Metlas 1990, sivu 122.)

Valkaisu kannatta suorittaa useassa eri vaiheessa, sillä massan lujuusominaisuuksien, valkaisukemikaalien kulutuksen sekä ympäristökuormituksen kannalta se on edullista. Kuviosta 2 nähdään, että yhdellä happamalla valkaisu vaiheella ei päästä samaan valkaisu tulokseen, kuin kahdella vaiheella. Kahdella vaiheella säästetään huomattava määrä klooridioksidia. Vaikka kuinka lisäisi klooridioksidia vaaleus ei parane, jos massasta ei välillä pestä reaktiotuotteita.

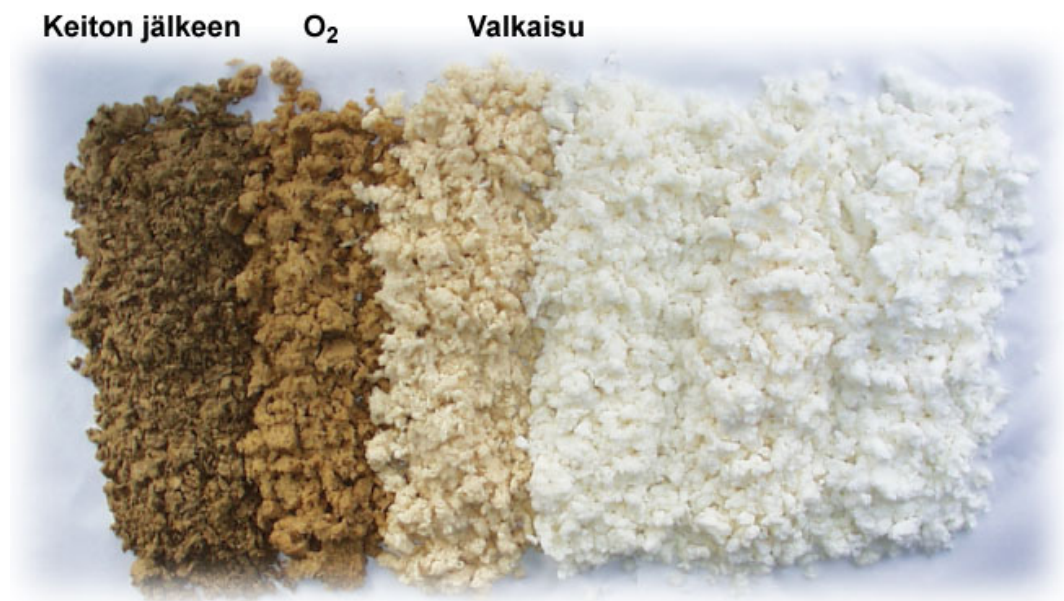


KUVIO 2. Vaiheiden lukumäärän vaikutus vaaleuden nostamisessa (KnowPulp oppimisympäristö).

Massan tavoitevaaleus on 89 % ISO lajista riippumatta. Näin estetään jälkikellertyminen ja massan puhtaus paranee. Kuviosta 3 nähdään, kuinka jäännösligniini vaikuttaa massaan ja kuinka paljon ligniiniä häviää eri prosessivaiheissa.

Massan valkaisu

Massan tumma väri johtuu pääasiassa jäännösligniinistä. Se poistetaan valkaisuissa vaiheittain.



KUVIO 3. Massan vaaleus (KnowPulp oppimisympäristö).

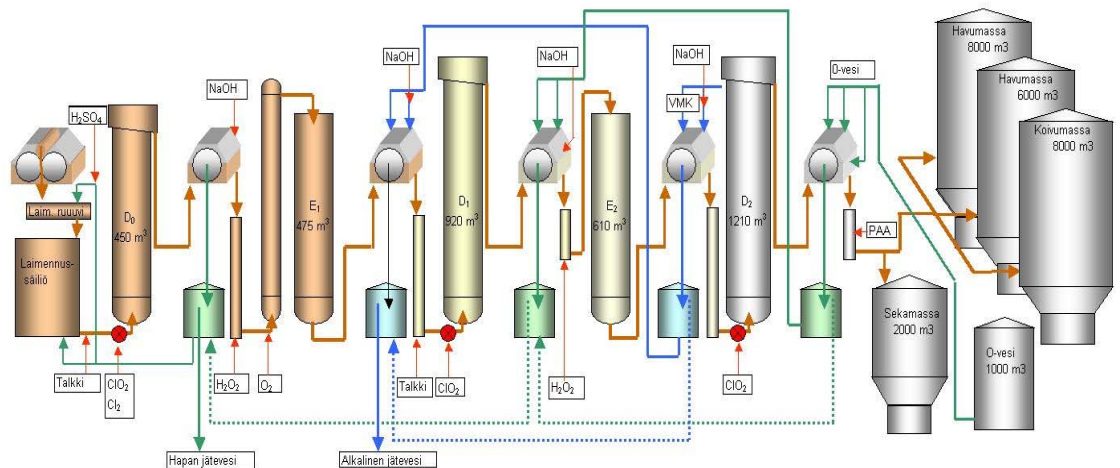
Äänekosken tehtaalla sellu valkaistaan viisivaiheisessa ECF-valkaisimossa. Valkaisuissa on D-vaiheet eli happamat vaiheet ja E-vaiheet eli alkaliset vaiheet. Valkaisukemikaaleina käytetään klooridioksidia, kloorivettä, vetyperoksidia ja happea. Muita käytettyjä kemikaaleja ovat natriumhydroksidi, hypokloraatti rikkihappo, magnesiumsulfaatti, talkki ja peretikkahappo.

Valkaisimo Äänekosken tehtaalla on keskisakeusvalkaisu (Kuvio 4). Massa pestään ennen valkaisu pesupuristimella ja valkaisu vaiheiden välillä pesusuotimella. Massan pesu on toteutettu vastavirtaperiaatteella, jossa pesureiden suodokset johdetaan edellisen vaiheen pesurille. Happamien ja alkalisten vaiheiden pesuedet pysyvät erillään.

Valkaisusekvenssi:

- happivalkaistun massan pesu
- D0-vaihe $\text{Cl}_2 + \text{ClO}_2$ D
- E1-vaihe $\text{NaOH} + \text{O}_2 + (\text{H}_2\text{O}_2)$ Eo(p)
- D1-vaihe ClO_2 D
- E2-vaihe $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}_2$ Ep
- D2-vaihe ClO_2 D

Lisäksi peretikkahappoa (Paa) lisätään D2-vaiheen pesurin pudotusputkeen jälkikellertymistä vastaan.



KUVIO 4. Valkaisu (KnowPulp oppimisympäristö).

4.1 Massanpesu valkaisuissa

Valkaisuvaiheiden välisellä massan pesulla pyritään poistamaan liuenneet orgaaniset ja epäorgaaniset aineet, jotka voivat häiritä seuraavaa valkaisuvaihetta ja lisätä kemikaalikulutusta. Pesulla pyritään myös saamaan olosuhteet seuraavalle valkaisuvaiheelle sopiviksi. Käytännössä tämä tarkoittaa pH:n ja lämpötilan säätämistä. (Smook 2002, sivu 164.)

Valkaisukemikaalien kulutuksen ECF- ja TCF-tehtaissa on havaittu kasvavan 20-50 %, mikäli valkaisuun vaiheesta toiseen pääsee orgaanista ainetta verrattuna tilanteeseen, jossa näin ei käy. Valkaisuun kaksi ensimmäistä valkaisuvaihetta ovat tärkeimpiä, koska ne poistavat suurimman osan ligniinistä ja epäorgaanisesta aineesta. Ensimmäisen klooridioksidivaiheen jälkeisen pesun täytyy poistaa suurin osa valkaisuun tulleesta ligniinistä. Tämän pesun riittämätön teho aiheuttaa seuraavien vaiheiden kemikaalikulutuksen kasvun ja vähentää massan vaaleutta. (Tahvanainen 2002, sivu 25.)

Viimeisen klooridioksidivaiheen jälkeinen pesu on myös erittäin merkityksellinen. Pesun ollessa tehoton pääsee korroosiota aiheuttavia aineita kuivauskoneelle tai paperikoneelle. Lisäksi torneissa oleva massa voi menettää saavutettua vaaleutta. (Tahvanainen 2002, sivu 25.)

Valkaisu on sellutehtaan merkittävin vedenkuluttaja ja jätevesipäästöjen tuottaja. Massa pestään ennen valkaisuuta pesupuristimella ja valkaisuvaiheiden välillä pesusuotimella. Massan pesu on toteutettu vastavirtaperiaatteella, jossa pesureiden suodokset johdetaan edellisen vaiheen pesurille. Happamien ja alkalisten vaiheiden pesuvedet pysyvät erillään. Valkaisuun vedet kulkevat massaa vastaan. Happamat D-vaiheiden vedet ja alkaliset E-vaiheiden vedet pidetään erillään toisista pesujen välissä. Viimeiselle D2-vaiheen pesurille pesuvesi tulee kuivaamon kiertovesitornista. D2-vaiheen suodokset menevät D1-pesurille ja D1-vaiheen suodokset D0-pesurille. Viimeisen pesun jälkeen suodokset menevät happamien vesin puhdistukseen. E2-vaiheen pesurille vesi tulee keittämön tuottamasta kuumavesisäiliöstä ja haihduttamon sekundäärilauhteesta. E2-vaiheen suodokset menevät E1-vaiheeseen, jonka jälkeen suodokset jäädytetään ja jäädytyksen jälkeen alkaliset vedet ohjataan puhdistamolle.

Äänekoskella valkaisu pesuvesiä on aina ajettu saman verran E2- ja D2-vaiheisiin, riippumatta ajovauhdista. Tämän seurauksena jäteveden puhdistamolle menevät kuormat ovat hiljaisemmalla ajovauhdilla turhan suuria. D2- ja E2-vaiheisiin pesuvettä ajetaan huomattavasti paljon enemmän kuin D1-, D0- ja E1-vaiheisiin. D2- ja E2-vaiheiden suodoksia voisi laskelmien mukaan ajaa enemmän muille pesureille, jotta saataisiin parempi pesutulos ajovauhdista riippumatta. Laskuissa käyttämäni kaavat löytyvät liitteestä 1. Liitteessä 2 on teoreettisesti laskemani tulokset, josta nähdään, minkä verran vettä tarvitaan eri sakeudella ja pesukertoimella. Pesukertoimella voidaan määrittellä, kuinka hyvin massan halutaan peseytyvän. Liitteessä 3 näkee, että pesukertoimet ovat miinuksien puolella eri sakeuksilla alkuperäisillä pesuvesimäärillä. Pesukerroin 0,5 on sopiva, jotta massa peseytyy hyvin ja vettä ei kuluisi liikaa.

Happamaan vaiheeseen vedet tulevat kuivaamon kiertovesitornista. D2-vaiheen suodokset menevät D1-pesurille ja D1-vaiheen suodokset D0-pesurille. Viimeisen pesun jälkeen suodokset menevät happamien vesien puhdistukseen.

Alkalisien E2-vaiheen pesurille vesi tulee keittämön tuottamasta kuumavesisäiliöstä ja haihduttamon sekundäärilauhteesta. E2-vaiheen suodokset menevät E1-vaiheeseen, jonka jälkeen suodokset jäädytetään ja jäädytyksen jälkeen alkaliset vedet ohjataan puhdistamolle. E2-vaiheelle tulevan sekundäärilauhteen määrää ei ollut tiedossa työn aloittaessa, sillä määrää muutetaan käsiventtiilin avulla. Sain kuitenkin mitattua määrän putkivirtausmittarilla, joka oli 37 l/s. Kuumaa vettä ei ole varsinkin talviaikaan tarpeeksi, minkä takia joudutaan tuhlaamaan primäärihöyryä. Kuumien vesien vähentäminen hyödyttäisi tehdasta primäärihöyryn säästössä, joka taas saataisiin myytyä naapuritehtaille.

4.2 Tehtaan prosessivesitase

Vaikka Suomessa on paljon vettä, niin silti on monta syytä, minkä takia veden käyttöä halutaan vähentää, kuten esimerkiksi raakaveden hinta, energiansäästö, veden- tai jätevedenkäsittelyn laajenuksen välttäminen, pienemmät kemikaalihäviöt ja tehokkaampi jäteveden käsittely. Tämän takia kuivauskoneen nollavesiä ja sekundäärilauhteita hyödynnetään valkaisimossa. Tehtaan kuumia vesiä käytetään myös paljon, sillä niillä voidaan säätää valkaisuvaiheiden lämpötiloja ilman kallista höyryä. (KnowPulp oppimisympäristö.)

4.3 Sekundäärilauhteet

Sekundäärilauhteita syntyy haihuttamalla 8 – 9 m³/adt. Sekundäärilauhteita ei tarvitse ohjata suoraan jäteveden käsittelyyn, vaan ne voidaan hyödyntää prosessissa, esimerkiksi valkaisussa ja kaustistamalla valkolipeän valmistuksessa. Sekundäärilauhteiden COD-pitoisuus on tyypillisesti 8 - 20 kg/adt, joten niiden runsas käyttö voi lisätä kemikaalikulutusta. Sekundäärilauhteita käytetään valkaisun alkupäässä, sillä siinä on haisevia yhdisteitä. (KnowPulp oppimisympäristö.)

4.4 Kuumavesi

Kuumaa vettä saadaan aikaiseksi keittämöllä ja happidelignifioinnin pesusuodosten jälkeisessä jäähdytyksessä. Tarpeen vaatiessa kuumaa vettä voidaan valmistaa kuivauskoneella, soodakattilan ja meesauunin savukaasupesureissa tai haihuttamon viimeisten vaiheiden höyryllä. Keittämöllä kuumaa vettä syntyy mustalipeän jäähdytyksessä ja tärpättikaasujen lauhdutuksessa. Tuotetun kuumien veden määrä on yleensä noin 10 – 15 m³/adt. Kuumaa vettä käytetään valkaisulinjalla lämpötilojen säätöön. Näin säästetään arvokasta höyryä. (KnowPulp oppimisympäristö.)

5 KOEAJOT

5.1 Koeajo 1

Koeajo suoritettiin havuajolla, jolloin tuotantovauhti on huomattavasti hiljaisempi kuin koivuajolla. Koeajo alkoi 13.12.2011 ja päättyi 15.12.2011.

Koeajossa käytettiin laskemiani pesuvesimääriä. Pesukertoimena käytettiin 0,5, jotta massa varmasti peseytyisi. Ajovauhti on laskettu taulukkoon kuivattua sellutonna kohden bdt, joka havuajolla oli 1373 bdt. Tehtaalla tuotantovauhtina käytetään adt, jossa massassa on 10 % vettä. Koeajossa jokaisesta näytteestä tutkittiin sakeudet ja COD:t.

Koeajon aloitin ottamalla ensimmäiset näytteet jokaiselta pesurilta ennen pesuvesimäärien muuttamista. Näihin saatuihin tuloksiin vertasin pesuvesien muutoksen jälkeisiä tuloksia. Laboratoriosta saatujen näytteiden sakeuksien mukaan muutin pesuvesimäärät optimaalisiksi. Näytteitä otin yhteensä 6 kappaletta. Näistä laskin sakeuden ja COD:n keskiarvon, joihin alkuperäisiä arvoja vertailin.

Koeajo onnistui odotetusti. Taulukosta 1 nähdään, että vesimäärien muuttaminen ei vaikuttanut sakeuksiin ja taulukosta 2 nähdään, että vesimäärien muuttaminen ei vaikuttanut myöskään COD:hen. Tulevista vesistä E2-vaiheeseen tuli säästöä 34 l/s ja D2- vaiheeseen 37 l/s. Jäteveden puhdistukselle menevistä vesistä säästöä kokonaisuudessa saatiin jopa 71 l/s, joka on todella suuri määrä.

TAULUKKO 1. Sakeuden muutos koeajossa 1

	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen ka	
Pesuri	Pesuvesi l/s	Pesuvesi l/s	Sakeus %	Sakeus %	Muutos sakeus %
D0	100	98	14,97	14,53	-0,44
E1	82	88	14,97	15,62	0,65
D1	80	92	15,86	15,59	-0,27
E2	140	106	13,89	13,95	0,06
D2	144	107	13,87	14,21	0,34

TAULUKKO 2. COD:N MUUTOS KOEAJOSSA 1

	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen ka	
Pesuri	Pesuvesi l/s	Pesuvesi l/s	COD kg/tn	COD kg/tn	Muutos COD kg/tn
D0	100	98	32,8	30,38	-2,42
E1	82	88	11,2	9,01	-2,19
D1	80	92	4,34	4,12	-0,22
E2	140	106	3,97	3,78	-0,19
D2	144	107	2,83	2,56	-0,27

5.2 Koeajo 2

Koivuajolla, jolloin tuotantovauhti on suurempi, en voinut vähentää tulevan veden määrää. Kokeilin, peseytykö massa paremmin, jos lisään vesimääriä E1-, D1- ja D0-vaiheisiin. Tuotantovauhti oli 1656 bdt.

Koeajon aloitin ottamalla ensimmäiset näytteet jokaiselta pesurilta ennen pesuvesimäärien muuttamista. Näihin saatuihin tuloksiin vertasin pesuvesien muutoksen jälkeisiä tuloksia. Laboratoriosta saatujen näytteiden sakeuksien mukaan muutin pesuvesimäärät optimaaliseksi. Näytteitä otin yhteensä 6 kappaletta. Näistä laskin sakeuden ja COD:n keskiarvon, joihin alkuperäisiä arvoja vertailin.

Taulukosta 3 nähdään, että sakeudet eivät oleellisesti muuttuneet, joten tämän puolesta vesimääriä voitaisiin muuttaa. Taulukosta 4 nähdään, että COD pieneni huomattavasti D0-vaiheessa, minkä seurauksena tehdas saisi kemikaalisäästöä. Muuta hyötyä vesimäärien muuttamisella ei ollut kovalla tuotantovauhdilla.

TAULUKKO 3. Sakeuden muutos koeajossa 2

	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen ka	
Pesuri	Pesuvesi l/s	Pesuvesi l/s	Sakeus %	Sakeus %	Muutos sakeus %
D0	100	111	15,94	16,32	0,38
E1	82	88	14,55	14,63	0,08
D1	80	122	13,45	14,21	0,76

TAULUKKO 4. COD:n muutos koeajossa 2

	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen ka	
Pesuri	Pesuvesi l/s	Pesuvesi l/s	COD kg/tn	COD kg/tn	Muutos COD kg/tn
D0	100	111	30,5	11,62	-18,88
E1	82	88	9,3	10,7	1,4
D1	80	122	3,8	3,74	-0,06

6 PÄÄTÄNTÖ

Opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin johdannossa kuvatun sellunvalkaisuun pesuvesimäärien muuttamista optimaaliseksi. Valkaisuun pesuvesien ajomalliin tarvittiin uusi malli, sillä epäily oli, että valkaisuun ajetaan hiljaisella tuotantovauhdilla liikaa vettä. Haluttiin myös tietää, miten käy, jos D0-, E1- ja D1-vaiheisiin ajetaan lisää vettä.

Koeajojen perusteella tehtaalla on käytetty turhan paljon vettä hiljaisella tuotantovauhdilla. Tulevan pesuveden määrää voidaan vähentää jopa 71 l/s, joka on 25 % alkuperäisestä määrästä.

Botnian minulle esittämä projekti, valkaisuun pesuvesien optimointi, kuulosti alkuun hankalalta, sillä en ole aikasemmin ollut missään tekemisissä valkaisuun kanssa. Projektityötä varten tutustuin aluksi prosessinhoitajien kanssa valkaisuun kaksi viikkoa. Prosessinhoitajat opettivat minulle todella hyvin prosessin, minkä jälkeen oli helppo lähteä työstämään projektia.

Tärkeintä oli, että pääsin todella tekemään koeajoja, eikä vain laskemaan teoriassa. Tuntui, että pääsin todella vaikuttamaan prosessiin. Haastavinta oli löytää kirjallisuutta liittyen valkaisuun pesuvesiin.

LÄHTEET

Tahvanainen, E. 2002. Sulfaattimassan D/Q(EOP)D -valkaisimon optimointi. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Metlas Ky. 1990. Sellun valkaisu. Puusta paperiin M - 405. Karhulan kirjapaino.

Metlas Ky. 1991. Sulfaattikeitto. Puusta paperiin M - 405. Lappeenranta: Etelä-Saimaan Kustannus Oy.

Seppälä, J. M, Klemetti, U., Kortelainen, V.-A., Lyytikäinen J., Siitonen, H. & Sironen R. 2002. Paperimassan valmistus. Saarijärvi: Gummerus.

Smook, G. 2002. Handbook for pulp and paper technologists. Kanada: Angus Wilde Publications Inc.

KnowPulp-oppimisympäristö, Metsä-Botniamn intranet.

Metsä-Botnia. 2012a. Avainluvut [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa:

<http://www.metsafibre.fi/Yritys/Avainluvut/Pages/Default.aspx>

Metsä-Botnia. 2012b. Lyhyesti [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa:

<http://www.metsafibre.fi/Yritys/Mets%C3%A4-Fibre-lyhyesti/Pages/Default.aspx>

Metsä-Botnia. 2012c. Omistusrakenne [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa:

<http://www.metsafibre.fi/Yritys/Omistusrakenne/Pages/Default.aspx>

Metsä-Botnia. 2012d. Äänekosken tehdas [viitattu 20.2.2012]. Saatavissa:

<http://www.metsafibre.fi/Yritys/Tuotantolaitokset/Pages/aanekoski.aspx>

LIITTEET

LIITE 1. Kaavat

$$m^3/bdt = 100\text{-sakeus/sakeus}$$

$$\text{Pesuvesimäärä pesukertoimella 0} = m^3/bdt * \text{tuotanto} \cdot bdt/24/60/60 * 1000$$

$$\text{Pesuvesimäärä pesukertoimella 0,5} = (m^3/bdt + \text{pesukerroin}) * \text{tuotanto} \\ bdt/24/60/60 * 1000$$

$$\text{Pesuvesimäärä pesukertoimella 1} = (m^3/bdt + \text{pesukerroin}) * \text{tuotanto} \\ bdt/24/60/60 * 1000$$

$$\text{Pesuvesimäärä pesukertoimella 1,5} = (m^3/bdt + \text{pesukerroin}) * \text{tuotanto} \\ bdt/24/60/60 * 1000$$

$$\text{Pesuvesimäärä pesukertoimella 2} = (m^3/bdt + \text{pesukerroin}) * \text{tuotanto} \\ bdt/24/60/60 * 1000$$

LIITE 2. Lasketut pesuvesimäärät eri sakeuksilla

Sakeus %	m3/bdt	tuotanto bdt	Pesukerr.	Pesukerr.	Pesukerr.	Pesukerr.	Pesukerr.
			0 l/s	0,5 l/s	1 l/s	1,5 l/s	2 l/s
12	7,3	1260	107	114	122	129	136
12	7,3	1350	115	122	130	138	146
12	7,3	1440	122	131	139	147	156
12	7,3	1530	130	139	148	156	165
12	7,3	1620	138	147	156	166	175
12	7,3	1710	145	155	165	175	185
13	6,7	1260	98	105	112	119	127
13	6,7	1350	105	112	120	128	136
13	6,7	1440	112	120	128	137	145
13	6,7	1530	119	127	136	145	154
13	6,7	1620	125	135	144	154	163
13	6,7	1710	132	142	152	162	172
14	6,1	1260	90	97	104	111	119
14	6,1	1350	96	104	112	119	127
14	6,1	1440	102	111	119	127	136
14	6,1	1530	109	118	126	135	144
14	6,1	1620	115	125	134	143	153
14	6,1	1710	122	131	141	151	161
15	5,7	1260	83	90	97	105	112
15	5,7	1350	89	96	104	112	120
15	5,7	1440	94	103	111	119	128
15	5,7	1530	100	109	118	127	136
15	5,7	1620	106	116	125	134	144
15	5,7	1710	112	122	132	142	152

LIITE 3. Pesukertoimet alkuperäisillä pesuvesimäärillä

		tuotanto	D0	E1	D1	E2	D2		
		bdt	Pesuvesi	Pesuvesi	Pesuvesi	Pesuvesi	Pesuvesi		
			100	82	80	140	144	l/s	
			8640	7084,8	6912	12096	12441,6	m3/d	
		1260	6,9	5,6	5,5	9,6	9,9	m3/bdt	
		1350	6,4	5,2	5,1	9,0	9,2	m3/bdt	
		1440	6,0	4,9	4,8	8,4	8,6	m3/bdt	
		1530	5,6	4,6	4,5	7,9	8,1	m3/bdt	
		1620	5,3	4,4	4,3	7,5	7,7	m3/bdt	
		1710	5,1	4,1	4,0	7,1	7,3	m3/bdt	
			DF arvo eri pesurisakeudella ja tuotannolla						
Sakeus %	m3/bdt	tuotanto bdt							
12	7,3	1260	-0,5	-1,7	-1,8	2,3	2,5	m3/bdt	
12	7,3	1350	-0,9	-2,1	-2,2	1,6	1,9	m3/bdt	
12	7,3	1440	-1,3	-2,4	-2,5	1,1	1,3	m3/bdt	
12	7,3	1530	-1,7	-2,7	-2,8	0,6	0,8	m3/bdt	
12	7,3	1620	-2,0	-3,0	-3,1	0,1	0,3	m3/bdt	
12	7,3	1710	-2,3	-3,2	-3,3	-0,3	-0,1	m3/bdt	
13	6,7	1260	0,2	-1,1	-1,2	2,9	3,2	m3/bdt	
13	6,7	1350	-0,3	-1,4	-1,6	2,3	2,5	m3/bdt	
13	6,7	1440	-0,7	-1,8	-1,9	1,7	1,9	m3/bdt	
13	6,7	1530	-1,0	-2,1	-2,2	1,2	1,4	m3/bdt	
13	6,7	1620	-1,4	-2,3	-2,4	0,8	1,0	m3/bdt	
13	6,7	1710	-1,6	-2,5	-2,7	0,4	0,6	m3/bdt	
14	6,1	1260	0,7	-0,5	-0,7	3,5	3,7	m3/bdt	
14	6,1	1350	0,3	-0,9	-1,0	2,8	3,1	m3/bdt	
14	6,1	1440	-0,1	-1,2	-1,3	2,3	2,5	m3/bdt	
14	6,1	1530	-0,5	-1,5	-1,6	1,8	2,0	m3/bdt	
14	6,1	1620	-0,8	-1,8	-1,9	1,3	1,5	m3/bdt	
14	6,1	1710	-1,1	-2,0	-2,1	0,9	1,1	m3/bdt	
15	5,7	1260	1,2	0,0	-0,2	3,9	4,2	m3/bdt	
15	5,7	1350	0,7	-0,4	-0,5	3,3	3,5	m3/bdt	
15	5,7	1440	0,3	-0,7	-0,9	2,7	3,0	m3/bdt	
15	5,7	1530	0,0	-1,0	-1,1	2,2	2,5	m3/bdt	
15	5,7	1620	-0,3	-1,3	-1,4	1,8	2,0	m3/bdt	
15	5,7	1710	-0,6	-1,5	-1,6	1,4	1,6	m3/bdt	