

Papperstillverkning



Den här publikationen handlar om papper, papperets historia och framställning av papper från och med hantverket för nästan 2000 år sedan till dagens massproduktion. På ett kortfattat och enkelt sätt beskrivs processer och arbetsätt som har använts och nu används för pappersmassatillverkning och pappersframställning. Maskiner beskrivs och vanligen använda termer förklaras. Den svenska pappersindustrins utveckling berörs tillsammans med branschens miljöfrågor.

Huvudändamålet är att vara faktareferens vid läsning av berättelser om enskilda pappersbruk, men skriften står på egna ben och kan därför också läsas separat.

Bo Edlund

Papperstillverkning.
Version 181127

Författare: Bo Edlund
epost: kontakt@brukshistoria.se

Innehåll	Sida	Innehåll	Sida
Pappersliknande material	1	Pappersmaskinen	13
Papperets historik	2	Virapartiet, avvattning	13
Tillverkning av papper för hand	3	Presspartiet	14
Pappersmassafabriken	5	Torkpartiet	14
Mekanisk pappersmassa	6	Efterbehandling	15
Kemisk pappersmassa	7	Bestrykning	15
Sodaprocessen	8	Kalandrering	16
Sulfitprocessen	8	Pappersformatet	16
Sulfatprocessen	9	Speciella pappersmaskiner	16
Den kemiska massafabrikens uppbyggnad	9	Fabrikerna	16
Blekning av pappersmassa	10	Olika papperstyper	17
Returfibrer	10	Miljöfrågor	18
Pappersbruket	10	Pappers- och massaindustri i Sverige	19
Mäldberedning	11		

Omslagsbilderna visar användningsområden för tre olika papperstyper.

Skriften får helt eller delvis kopieras och spridas fritt under förutsättning att källan anges. Däremot får kopior av materialet ej försälas utan författarens medgivande.

Upphovsmännen eller rättighetsägarna till fotografierna anges vid bilderna. Författaren är upphovsman till de foton och bilder där sådana uppgifter saknas. .

Källor:

Papperstillverkning, SCA

Fakta om papper och massa, SkogsSverige

Papper och kartong i kontakt med livsmedel, Rapport

Papper, Johnny Häger

Papper, Tumba Bruksmuseum

Papperets kronologi, Esko Häkli

Betänkande rörande industriellt utnyttjande av halm

Papperstillverkning. Från ved till papper, Åbo Akademi, Luciano Beghello

Wikipedia

Jag vill tacka de personer och organisationer som gjort denna skrift möjlig genom att bidra med kunskaper och material.

TÄBY 2018

Pappersliknande material

Det första pappersliknande skrivmaterialet var papyrus. Det började användas i Egypten och så småningom kom det till användning i antikens Grekland och Rom. Det var det mest använda skrivmaterialet i världen från 3000-talet f.Kr till 500-talet e.Kr. Råmaterialet kommer från papyrus, ett halvgräs som växer i vatten främst i Nildeltat. För att tillverka papyrus börjar man med att skära tunna breda remsor från växtens stjälk. Därefter läggs ett skikt av remsor vertikalt och ovanpå detta skikt ett lager av remsor horisontellt. Detta senaste skikt kommer att bli papyrusarkets skrivvyta. Lagren av remsor pressas samma och arket får torka i solen.



Papyrusväxten (*Cyperus papyrus*).
Foto från Wikipedia.



Det färdiga papyrusarket med korsade remsor av växten.
Här är det kraftigt belyst bakifrån för att visa strukturen.
Foto från Wikipedia.

Rispapper är ett gemensamt svenskt namn på flera olika material som har använts och även används numera fast i mycket liten skala. De tre mest använda materialen är trots namnen endast pappersliknande material:

- Mullbärsträdspapper. Barken av pappersmullbärsträd skalas av, rengörs och kokas samt bultas tills barkfibrerna separeras från varandra. Fibrerna läggs i flera tunna lager så att de bildar ett ark. Mullbärsträdspapperet är mycket starkare än cellulosafiberbaserat papper och har använts i hundratals år som skrivpapper och till pappersväggar i byggnader.
- Rispapper. Märgen i stammen på rispappersbusken kokas och skärs upp till ett tunt blad som direkt utgör rispapperet. Det är ett svagt papper som endast använts för akvarellmålning och tillverkning av pappersblommor.
- Ätbart rispapper. Tunna blad av rismjöl och tapiocamjöl som används till omslag för bland annat vårrullar.

I Europa användes från 500-talet och under nästan hela medeltiden pergament som skrivmaterial. Pergament framställs av djurskinn som skrapades till de fick passande tjocklek och torkades, även detta ett pappersliknande material. Hudar från kalvar, får eller getter användes.

Papperets historik

Papper består, med nutida definition, av växtfibrer (cellulosafibrer) som filtats samman till tunna flexibla blad. Det tillverkas genom att fibrer blandas med en stor mängd vatten som lämnas på en plan silduk. Vattnet rinner av och fibrerna bildar en tunn matta av hopfiltade fibrer som pressas och torkas och bildar papperet.

Uppfinningen av papper framtaget genom frigjorda cellulosafibrer i vatten brukar dateras till år 105 e.Kr. Uppfinnaren sägs vara Tsai Lun. Papperstillverkning var länge en rent kinesisk angelägenhet, det var först på 600-talet som japaner började tillverka papper. År 751 startade papperstillverkning i staden Samarkand, den första produktionen utanför Kina och Japan. Till Europa kom papperstillverkning på 800-talet då grekerna började tillverka papper. Kineserna tog sin fiber direkt från växtriket, medan européerna som trots att de lärt sig kinesisk papperstillverkning endast använde textillump som utgångsmaterial. Lump utgörs av slitna och kasserade vävnader. För papperstillverkning användes till en början linnevävnader, men när bomullstyg började användas samlades även bomullslump in.

Araberna lärde sig tillverka papper av lump omkring år 750 och tog tillverkning med sig till Spanien under 1000-talet. Konsten spred sig till Frankrike i början av 1100-talet. Korsfarare tog med sig konsten att tillverka papper från Orienten till Italien i slutet på 1280-talet. Det äldsta belägget på tillverkning av papper i Tyskland är från 1228.

I Linköping sägs biskop Hans Brask ha anlagt det första svenska pappersbruket i Tannefors på 1520-talet. Gustav Vasa lät bygga en papperskvarn vid Norrström i Stockholm som sedan flyttades till Uppsala år 1612.

Papper tillverkades för hand arkvis även så långt som till slutet av 1800-talet. Tillverkningsprocessen är mycket tidsödande och kräver mycket arbete. Det gjorde papperet riktigt dyrbart. Det kanske inte gjorde så mycket för det var ganska få som skrev och dessutom skrev de inte så fort. När handtillverkat papper tillverkas idag blir det vansinnigt dyrt. Det finns än idag ett fåtal bruk som i mycket små mängder tillverkar papper för hand, främst som en exklusivitet eller turistattraktion.

Den då moderna tryckkonsten, utvecklad omkring 1450, började man ställa krav på tillverkning av större mängder av papper. År 1799 fick fransmannen Louis-Nicolas Robert franskt patent på en maskin som tillverkade "kontinuerligt papper". Papperet lämnade inte maskinen som ark utan som ett nära nog oändligt band. I varje fall om pappersmassan räckte till och maskinen inte krånglade. Efter bråk om patenträtten flyttades utvecklingen av Roberts maskin över till England varefter John Gamble samt pappershandlarna bröderna Henry och Sealy Fourdrinier fick engelskt patent på den förbättrade pappersmaskinen. Än i dag kallas vanliga pappersmaskiner med viror för fourdriniermaskiner.

Både produktion och efterfrågan på papper ökade kraftigt i Europa under första delen av 1800-talet och då började råvaran ta slut. Det blev brist på lump. Då började man söka efter en direktmetod att få fram fibrer från växter. På 1830-talet började man att koka halm i lut och göra pappersmassa av de frigjorda fibrerna. Idéerna till denna metod gavs av fransmannen Louis Piette.

Getingar har i urminnes tider haft en metod att göra papper för sina bon, men ingen har lyckats kopiera deras metod. Förr när det inte fanns mjukpapper eller mikrofiberdukar användes getingbon ofta till exempel för att putsas glasögon. Stor försiktighet krävs dock när man stjäl papper från getingar.

Ved från träd består i huvudsak av cellulosafibrer (45-50 %), lignin som också kallas vedämne eller träämne (23-29 %) och hemicellulosa som är en grupp kolhydrater (19-29 %). Halterna av ämnena är olika mellan olika trädslag. Cellulosafibrerna är hopbundna av ligninet. En intressant sak kan observeras vid exempelvis skogspromenader när man ser murknad ved. Trä sönderfaller av svampangrepp som orsakar vit- eller brunröta. Vitrötasvampar äter upp ligninet och lämnar cellulosafibrerna kvar som ett ljusgrått luddigt och lätt material medan brunrötasvampar förbrukar cellulosan och lämnar ligninet som ett brunt sprött material.

För att tillverka papper behöver man egentligen bara cellulosafibrerna. I nödfall kan man acceptera lignin i papperet men lignin ställer till det för användare av papperet. Papperet blir gult eller gulbrunt och skörare med tiden. Trots det ökade intresset för att använda ved som råvara kunde ved inte användas för metoder att frigöra fibrerna saknades.

Men säg den uppfinnare som kan negligera ett allmänt behov. År 1840 patenterade Friedrich Gottlob en metod att framställa massa direkt från vedråvara. Den kallades slipmetoden då ved slipades ned tryckt mot en roterande slipsten. Sex år senare lyckades man att praktiskt genomföra Gottlobs teorier. Numera är slipning en metod av flera att framställa det som kallas mekanisk massa. Då får man vedens samtliga ämnen med i pappersmassan vilket ger en ganska dålig papperskvalitet men mycket papper av veden. Tidningspapper är ett exempel på papper gjort av sådan massa. Metoden började användas i Sverige på 1850-talet.

Slipningen sliter sönder många fibrer vilket gör papperet svagare och därför försökte man finna kemiska metoder att lösa upp ligninet och därmed frigöra oskadade fibrer. Under 1870-talet byggdes massafabriker upp för att göra pappersmassa på kemisk väg. Till en början arbetade man med den så kallade sodaprocessen, innebärande att flisad ved kokas under högt tryck tillsammans med natriumhydroxid (kaustiksoda).

Upptäckt och utveckling av sulfitprocessen kom snabbt efter det att sodaprocessen kommit i produktion. En svensk kemist, Carl Daniel Ekman, var starkt bidragande till att sulfitprocessen utvecklades och gjordes populär. Han hade år 1879 en fungerande process i drift på Bergviks sulfitfabrik.

I början av 1900-talet utformades sulfatprocessen, en ny kemisk process för att göra pappersmassa från ved. Den har utvecklats mer och mer med tiden. Den ger billigare pappersmassa, ett starkare papper och den är enklare att hantera. Efter 1940-talet har sulfatprocessen tagit över nästan all produktion av pappersmassa.

Numera hämtas fibrerna nästan uteslutande från ved, men långt tidigare har gräs och halm använts. Hampa och bomull används fortfarande, men i mycket liten skala.

Textillump används fortfarande, dock i mycket liten utsträckning, för papperstillverkning. Egentligen inte lump utan linter. Det är ungefär 5 mm långa bomullsfibrer som är för korta att spinna garn av. De anses vara avfall vid bomullsspinnerier. De är ändå att betrakta som riktigt långa fibrer för papperstillverkning. De ger ett hållbart papper som används till sedlar och andra värdepapper.

Hampa och manillahampa (trots namnligheten är växterna inte släkt) lämnar långa cellulosa-fibrer som kan användas till papperstillverkning. Manillapapper är ett mycket hållfast omslagspapper som tillverkas av cellulosa-fibrer från utslitna manillarep. Manillahampa används även vid tillverkning av papper för tepåsar.

Tillverkning av papper för hand

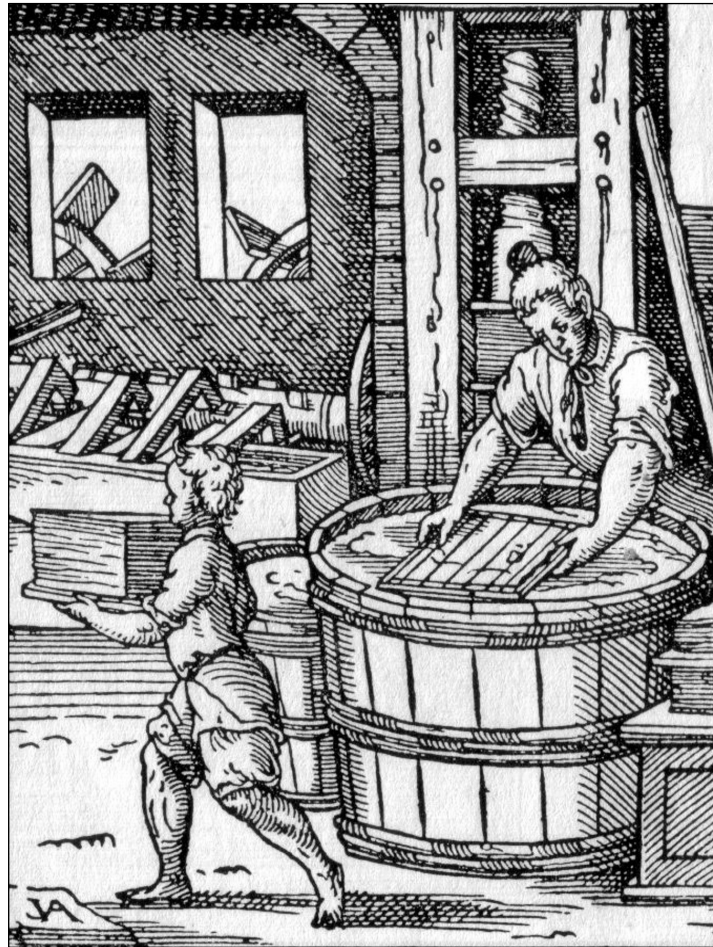
I Sverige började man tillverka lumppapper under 1500-talet. Råmaterialet, lumpen, utgjordes av utslitna kläder eller tyger använda i hushållen och måste kunna köpas i närområdet eftersom långa transporter var otänkbara. Pappersbruken var små och placerades vid ett vattenfall i en å eller bäck så att de få maskiner som behövdes kunde drivas av ett vattenhjul. Numera tillverkas endast en mycket liten mängd papper för hand som en exklusivitet eller för utbildning i papperstillverkning. Då används i huvudsak kemiskt framställd pappersmassa.

Lumpen skars sönder till små tygstycken som stöttes i en vattendriven stamp tills garnet i tyget hade sönderdelats till cellulosa-fibrer. Ungefär 1670 uppfanns i Holland en speciell kvarn avsedd att mala fram cellulosa-fibrer från lump. Det är en vals med knivar som roterar mot en uppsättning fasta knivar. Valsen pumpar också runt lumpen uppblandad med vatten så att textil-vattenblandningen passerar ett otal gånger genom kvarnen. Efter tre till fem timmars malning var garnet sönderdelat till cellulosa-fibrer. Kvarnen kallades för holländare efter uppfinnarens hemvist. Holländare började användas i Sverige omkring 1730 och de drevs då av vattenhjul.

Fiber-vattenblandningen kallas mälden, efter orden mald eller malen. Den späddes sedan till lagom koncentration och hölls i kypen, ett kar ur vilket blandningen tas upp för att bilda papperet. Formen är en duk av fin metalltråd som är uppspänd på en ram. Formaren, personen som gör papperet, lägger en träram som kallas däckel ovanpå formen och stoppar ner det hela i kypen. Därefter tar han upp formen med däckel så att mälden blir kvar innanför däckeln. Han låter vattnet i mälden rinna ut genom formen, lyfter av däckeln och lämnar över formen till guskaren som överför den våta fibermassan på en filt. Därefter lägger läggpojken en filt ovanpå fiberarket och staplar allt på hög. Sedan repeteras förloppet. När högen av fiberark omgivna av filter är tillräckligt stor placeras den i press som med stor kraft pressar ut vattnet ur fiberarken. Efter

pressningen plockas arken fram ur stapeln och hängs på stänger för att lufttorkas. När arken torkat polerades de genom att de liggande på ett hårt bord gnuggades med en rundad glatt sten.

Ett kyplag är tre personer som arbetar runt en kyp, en formare, en guskare och en läggpojke som efter pressningen skiljer fiberarken från filtarna.



Papperstillverkning i mitten av 1500-talet.

Om papperet ska få en hårdare yta kan de torkade arken antingen doppas i en limlösning och sedan torkas, alternativt har man redan tillsatt limmet i kypen.

Höjden på däckeln kommer att bestämma papperets tjocklek - högre däckel ger mer fibrer och tjockare papper. Koncentrationen av fibrer i kypen avgör också tjockleken på papperet - högre koncentration av fibrer ger tjockare papper. Till mälden i kypen sattes ofta också lera eller krita som gjorde papperet mer ogenomskinligt.

Om man löder fast tunna metalltrådar på formens ovansida kommer papperet där att bli tunnare och verka mer genomskinligt. Om man håller upp ett sådant papper mot ljuset ser man ett mönster av ljusa linjer som kallas för vattenmärke i papperet.

Det var fyra grupper människor som arbetade med pappersframställningen, pappersmakare, pappersmästare, gesäller och lärlingar. Pappersmakaren var ägare eller arrendator av bruket medan pappersmästaren var den kvalificerade yrkesmannen som direkt skötte papperstillverkningen. Pappersmästaren var oftast en anställd person. Regeln hade dock många undantag.

I Sverige fanns under den första delen av 1800-talet cirka 140 handpappersbruk, de flesta små familjeägda bruk som kombinerades med ett jordbruk. De hade ett eller ett fåtal kyplag och hade en blygsam produktion. De blev utkonkurrerade då pappersmaskinerna kom och trängde ut hantverket. De handpappersbruk som blev kvar var de som redan blivit stora och betydande och hade råd att investera i maskiner, exempelvis Grycksbo, Klippan och Lessebo.

Kort och gott. Det berättas att en gesäll vid ett pappersbruk under 1800-talet skrev

"Att göra papper är ingen konst. Man tager en jäntas avlagda underkjol. Den males, blandas med lera, limmas och poleras. Så småningom får hon den tillbaka med många kärlekens ord skrivna därpå."



En modern pappersmakare med sitt nyss handformade pappersark på en pressfilt. Lägg märke till vattenmärket på papperet.

Pappersmassafabriken

I den här mycket översiktliga beskrivningen kommer i fortsättningen endast tillverkning av pappersmassa från ved att behandlas. I Norden är träslagen gran, tall och björk mest aktuella men eukalyptus kan bli en stark konkurrent. Inte trädet för vårt klimat är alltför kallt men pappersmassan av eukalyptus. Trädet växer flera gånger så snabbt som våra inhemska träslag och det gör pappersmassan avsevärt billigare.

Cellulosafibrerna från ved har en längd av några millimeter och frigörs från veden med hjälp av två principiellt olika metoder, mekaniskt eller kemiskt. Cellulosafibrer från barrträd skiljer sig i längd från lövträdens. Barrträdens fibrer är 3-4 mm långa medan lövträdens är cirka 1 mm. Generellt blir papperet starkare ju längre cellulosafibrer som används och det talar till barrträdens fördel. Allt papper behöver inte vara starkt. För finare tryckpapper har lövträsmassan dem fördelen att den är ljusare och inte behöver lika mycket blekning för att ge ett vitt papper.

Massaveden barkas noggrant innan man startar att frigöra cellulosafibrerna. Veden rullas i en trumma tillsammans med vatten så att barken skavs av veden. Barkrester i pappersmassan skadar både processen och det producerade papperet. Kvarvarande barkbitar och kvistar i veden tas bort senare när pappersmassan sen silas. Numera huggs all ved till flis efter det att barkningen blivit utförd. Barken tas till vara och bränns sedan för värmeändamål. Barken är ett betydelsefullt biobränsle.



Barktrumma i Hallsta pappersbruk. Foto Håkan Lundén.

Mekanisk pappersmassa

Den mekaniska pappersmassan, egentligen är det mekaniskt tillverkad pappersmassa, kallas ofta slipmassa eftersom den förr framställdes av veden i en slipstol, där kapade vedstycken avpassade till bredden på den roterande slipstenen trycks mot stenen. Vatten tillsätts för att kyla och blanda ut massan av fibrer och lignin till en slamliknande konsistens. Pappersmassan pumpas efter slipningen genom finmaskiga silar som bara släpper igenom fibrer och lignin. Massan går efter ytterligare utspädning med vatten därefter vidare till papperstillverkning.

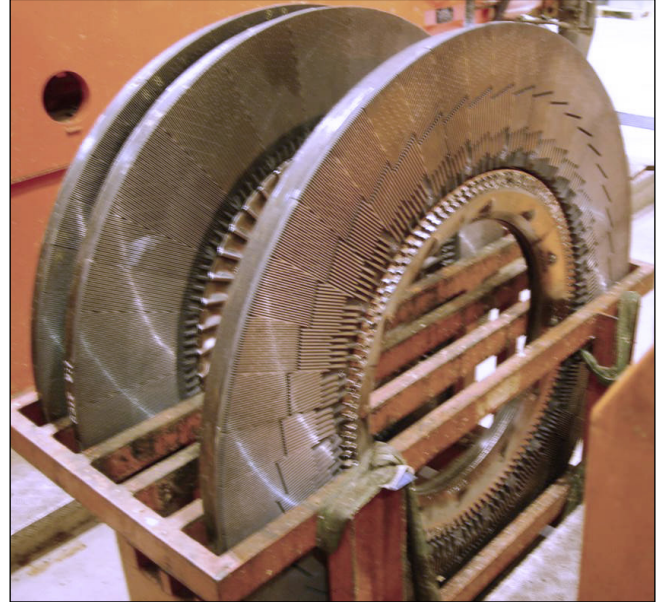


En slipstol laddas med ved. Foto Holmens ABs arkiv.

Den traditionella träslipningen av pappersmassa har numera nått sitt bäst-före-datum trots att den är enkel och billig. Metoden är fortfarande långsam. Den moderna variant för tillverkning av mekanisk massa som nu helt tagit över görs i en raffinör. Det är en kraftig kvarn som matas med uppfilad ved vilken sönderdelas så att cellulosa fibrerna friläggs. Flisorna hettas upp med högtrycksånga för att bli mjukare. Även friktionen i raffinören bidrar till att värma upp veden. Motorerna till varje raffinör är så kraftiga att de på en till två timmar förbrukar ungefär lika mycket elenergi som en vanlig familjevilla för en gör på ett år. Pappersmassan som erhålls kallas termo-mekanisk massa. Oftare används förkortningen TMP (thermo-mechanical pulp). TMP ger ett starkare papper än den vanliga slipmassa gör.



En rad med raffinörer. Foto Håkan Lundén.



Malskivor till raffinör. Foto Håkan Lundén.

Pappersmassan kan förbättras ytterligare i raffinörer om man tillsätter natriumsulfit när träflisen värms med ånga före malningen. Den massan kallas kemisk-termisk-mekanisk, ett namn som förkortas till CTMP (chemi-termo-mechanical pulp). CTMP ger ljusare och starkare massa än TMP.

Cellulosa fibrerna slits mycket under processen, vilket gör att papperet blir svagt. Dessutom blir ligninet kvar i pappersmassan vilket gör att papperet kommer att gulna med tiden. Processen är enkel och snabb och man får mycket papper av veden, men det färdiga papperet får en ganska låg kvalitet. Det används bland annat till dagstidningspapper som varken kräver hållfasthet eller lång livslängd.

Kemisk pappersmassa

Den kemiskt tillverkade pappersmassan framställs genom att veden huggs upp i träflis som kokas under tryck tillsammans med olika kemikalier. Koktemperaturen som används ligger omkring 150 °C. Under kokningen löser kokvätskan upp ligninet och andra ämnen i veden och cellulosa fibrerna frigörs nästan opåverkade från veden. Papperet av denna massa kommer att få god hållfasthet och färgbeständighet. Efter kokningen tvättas massan noggrant så att den blir fri från kemikalier, och andra föroreningar. Ett papper av enbart kemisk massa kallas träfritt då det inte innehåller något eller mycket lite av vedämnet, lignin.

Tre metoder har använts för att tillverka kemisk pappersmassa, sodaprocessen, sulfitprocessen och sulfatprocessen. Sodaprocessen användes endast en kort tid innan den ersattes. De övriga två används fortfarande.

Sodaprocessen

Under 1850-talet kom man på att ligninet i ved kunde lösas upp genom kokning i en stark natriumhydroxidlösning vid hög temperatur. Det var den första metoden för att kemiskt frigöra cellulosa-fibrer ur ved. Den kallades sodaprocessen eller natronprocessen. Till en början var massproduktionen dyrbar på grund av den stora kemikalieförbrukningen. År 1865 patenterades ett sätt att återfå kemikalierna genom att bränna upp den använda kokvätskan. Sodaprocessen fick bara ett fåtal år i rampljuset när sulfitprocessen utvecklades och började användas. Den processen är enklare och den ger också en ljusare pappersmassa.

Sulfitprocessen

Metoden patenterades 1867 i USA av Benjamin Chew Tilghman. I Sverige experimenterade Carl Daniel Ekman vid Bergviks trämassfabrik med en likartad metod. Han lyckades 1874 lösa upp lignin i träflis med hjälp av kokning i magnesiumsulfit.

I sulfitprocessen är kokvätskan sur och bygger på kalcium-, magnesium-, natrium-, eller ammonium-salter av svavelsyrlighet. Trots det kallas denna kokvätskan ibland felaktigt för koklut. Det kan möjligen bero på att sulfitprocessen håller på att glömmas bort. Svavelsyrligheten tillverkas av svaveldioxid som man får genom att bränna svavel eller svavelkis. Kokvätska med kalciumbas tillverkas genom att vatten sipprar ner genom ett torn fyllt med kalksten medan svaveldioxid släpps in i botten av tornet och får möta vattnet. Syratornen är karaktäristiska för gamla sulfitfabriker.

Pappersmassan blir ljus och kan lätt blekas ytterligare. Tyvärr påverkas cellulosa-fibrerna också och får aning sämre hållfasthet.

Metoden fungerar bra med granved men är problematisk med andra träslag. Sulfitmetoden lämnar mycket av vedens harts i pappersmassan och klibbigt harts ställer till med stora problem i den fortsatta produktionen. Granved innehåller ganska lite harts men man har ändå försökt bli av med hartset. Ett sätt att minska hartsets skadliga inverkan är att flotta massaveden och sedan lagra den ett år eller så. Harts omvandlas då till olösliga föreningar.

En annan nackdel med sulfitprocessen är att det är svårt att återvinna kemikalier och under den första tiden metoden användes tömdes den förbrukade kokvätskan i närmaste vattendrag vilket skapade stora problem med föroreningar. Det var först när sulfatprocessen började att ta över som man började arbeta med återvinna även för sulfitprocessens kokkemikalier.

I kokvätskan samlas enkla sockerarter som bildats av nedbruten cellulosa och hemicellulosa. Sockret kan efteråt användas för att framställa etanol genom jäsnings.

Sulfitprocessen var det betydelsefulla massatillverkningssättet från 1880 till slutet på 1930-talet. Den används fortfarande men är det produceras endast en liten mängd sulfitmassa jämfört med andra metoder.

Sulfitmetoden används idag för ren cellulosa, så kallad dissolvingmassa som används för viskosfibrertillverkning (konstfiber) och som förtjockningsmedel. Sulfitmassa används också för mjukpapper och finpapper med särskilt vit yta.



Syratorn är landmärke vid alla sulfitfabriker.
Syratornet i nerlagda Edsvalla bruk.

Sulfatprocessen

Metoden uppfanns 1879 av den tyske kemisten Carl F Dahl. Munksjö pappersbruk var det första svenska bruket att använda sulfatprocessen och det gjorde de 1885. Sulfatmetoden är en utveckling av sodaprocessen som använts tidigare. Kokvätskan, eller kokluten som den kallas ibland, är starkt basisk och består av natriumhydroxid och natriumsulfid. Dahl upptäckte att om man förbrände den indunstade använda kokluten, svartluten som innehåller upplöst lignin och cellulosaester, med tillsats av bränd kalk bildas en blandning av natriumhydroxid och natriumsulfid. Hokus pokus, så får man ny koklut.

Under 1920-talet uppfanns sodapannan, som eldas med det upplösta ligninet och cellulosaesterna i svartluten för att regenerera kokkemikalierna. Sulfatprocessen blev ändå mer lönsam 1937 när sodapannan gjordes vattenkyld och fick alstra vattenånga och ge energi för brukets elbehov och uppvärmning. Pappersbruket inklusive massafabriken blev då praktiskt taget självförsörjande ur energisynpunkt.

Under 1940-talet började metoden att ta över från sulfitprocessen och idag tillverkas den absolut största delen av kemisk pappersmassa med sulfatprocessen. Pappersmassan duger för tillverkning av nästan alla typer av papper. Metoden kan dessutom användas utan större problem på alla träslag.

Sulfatprocessen skadar cellulosa fibrerna i mindre omfattning än alla andra metoder och ger därför papper med högsta hållbarhet. Pappersmassan får tyvärr en gulbrun färg som gör blekning av massan nödvändig. Massafabrikerna sprider även illaluktande gaser som bildas under processen. Man säger att gaserna luktar inte som mat utan tvärt om.

Dagens massafabriker tillverkar antingen sulfatmassa eller mekanisk massa och utvecklingen inriktas huvudsakligen på att förfinna dessa metoder.

När fibrerna är frigjorda bleks pappersmassan om det är nödvändigt. Blekning av sulfatmassan svårare att utföra än med sulfitmassa. Därefter pumpas massan uppblandad med vatten till pappersbruket. Om pappersmassan inte ska användas omedelbart eller transporteras till ett avlägset pappersbruk pressas massan till en tjock matta och torkas. Därefter gör man balar eller rullar av den torra massan.

Den kemiska massafabrikens uppbyggnad

Träflis behandlas av kokvätskan i stora kokare under högt tryck och hög temperatur. Trycket 8-9 bar och temperaturer upp till 170 °C. I massakokningens barndom användes som kokare stålcyllindrar med en volym av 100 kubikmeter eller mindre. De moderna massakokarna har volymer på flera hundra kubikmeter. Förr användes både stående kokare och liggande roterande kokare, numera enbart stående kokare. Det förekommer satsvisa kokare, där man fyller kokaren och slutför kokningen innan kokaren töms. Den moderna kokaren är kontinuerlig som inte töms helt utan matas ständigt med flis och man matar ut massa allteftersom den är färdigkokt.

Efter kokningen pumpas pappersmassan över till massabingar och kokvätskan tvättas ut ur massan. Numera används kontinuerliga kokare och man kan använda mindre tvättapparater som också arbetar kontinuerligt och tar hand om mindre mängd massa åt gången än om kokaren töms helt. De tvättapparaterna behöver dessutom mindre mängd vatten till tvättningen.

Därefter går massan till sileriet. Där används mycket finmaskiga silar som endast låter cellulosa fibrer och vatten att passera. Här stoppas barkrester, grus, klumpar av fibrer och andra föroreningar som skadar papperet och även pappersmaskinerna.

Slutfasen i massafabriken görs i blekeriet där massan görs mindre färgad eller vitare. Processen går ut på att ta bort det kvarvarande ligninet i massan eller att bleka färgämnen.

Blekning av pappersmassa

Blekning av kemisk pappersmassa går ut på att alla rester av lignin i massan antingen ska brytas ner eller lösas ut vilket gör massan vitare. Tidigare användes klorgas, men det skapade för människor och miljö mycket skadliga restprodukter, bland andra klorfenoler och dioxiner. Metoden slutade användas under 1980-talet. Numera används vanligtvis syrgas, väteperoxid eller klordioxid.

Blekning av mekanisk massa går ut på att bevara ligninet men att förstöra de ämnen som missfärgar papperet.

Returfibrer

Numera har insamlat använt papper blivit en viktig källa för tillverkning av pappersmassa. Till största delen består det vita insamlade papperet av tidningar, tidskrifter och kontorspapper. Returpapperet blöts upp i vatten så att cellulosafiberna frigörs från varandra. Därefter tvättas fibrerna i vatten och tvättmedel i flera omgångar så att fibrerna blir rena från bland annat trycksvärta. Massan silas så att korta, oanvändbara, fibrer tas bort. Återstoden är en ren pappersmassa som blandas ut med färskas fibrer och går sedan till papperstillverkning. Även kartonger samlas in för att ge fibrer för wellpaptillverkning. Kuvert samlas inte in för att det självhäftande lim som används till dem bildar klumpar som sätter igen fibersilarna samt orsakar felaktigheter i det producerade papperet.

Under hela papperstillverkningsprocessen utsätts fibrerna för ett slitage så att fibrer kan återvinnas högst sju gånger innan de avslutar sin tjänstgöring med att eldas upp för energiproduktion.

Pappersbruket

Pappersbruket består egentligen bara av en gigantisk pappersmaskin där nästan allt av omvandlingen av pappersmassa till papper sker. Endast förbehandlingen av pappersmassan, den så kallade mäldberedningen, och efterbehandlingen av det färdiga papperet görs utanför pappersmaskinen. Maskinerna kan vara upp till 300 meter långa eller mer och med 10-12 meter breda pappersbanor. Maskinerna kan vara flera tiotals år gamla men byggs bitvis om eller byggs på för att ständigt hållas moderna. Maskintillverkarna utvecklar



Kartongmaskin KM 8, en av världens största, vid Skoghalls bruk. Här tillverkas kartong för mjölk- och juiceförpackningar.

ständigt tillsammans med pappersbruken sina maskiner och ofta är det möjligt att bygga till förbättringar till redan existerande pappersmaskiner. Det är inte billigt att bygga om en gammal maskin men man räknar att en maskin kan användas under en tid av sjuttio år eller mer innan den slutar att vara lönsam.

Mäldbredning

Det är den pappersmassa som pumpas från massafabriken eller som kommer torkad och har blivit jämnt utblandad i vatten som förbehandlas innan den förs till pappersmaskinen. Vid beredningen används kvarnar som ruggar upp cellulosa fibrernas yta så att de binds bättre till varandra i papperet och att tillsätsämnen också häftar ihop med fibrerna. Malningen ger också fibrerna jämn och önskad längd. Klumpar av fibrer löses också upp för att papperet ska bli jämntjockt.

Tidigare användes holländare och kollergångar för malningen av pappersmassan. En holländare består av en vals med knivblad som roterar mot fasta knivblad. Massan pumpas runt i en sluten kanal av den roterande valsen och massan passerar många gånger mellan knivarna. Malningsgraden ställs in genom att anpassa spalten mellan knivarna - liten spalt ger hård malning.



En holländare. Den roterande valsen med knivarna till vänster i bilden, de fasta knivarna ligger i botten av kanalen i vilken massan pumpas runt. Foto från Wikipedia.

En kollergång har två hjul av sten som rullar i en cirkelbana med liten radie mot ett runt malbord. Malningen i en kollergång är en kombination av krossning och gnidning.

I modern tid används skivkvarnar eller koniska kvarnar som arbetar avsevärt mycket snabbare och har mycket större kapaciteter. Skivkvarnarna har malskivor som liknar raffinörers skivor medan koniska kvarnar mal mellan en konisk malvals som roterar i en likaledes konisk stator.

Pappersmassa uppslammad i vatten (den rätta beteckningen är egentligen suspension) efter mäldbredningen kallas mäld. Ordet mäld är kopplat till ordet malen, det vill säga att det gått igenom en kvarn. Eftersom fibrer från både mekanisk massa och returfiber redan är korta och har uppruggad yta brukar de sällan malas.



Kollergångar på rad. De användes för att finfördela pappersmassa till mäld. Foto från Wikipedia.

Under mäldbberedningen kan man också blanda olika fibertyper efter de olika krav som ställs på papperet. Vidare tillsätts olika ämnen under mäldbberedningen för att ge olika egenskaper åt papperet.

Fyllmedel har till uppgift att fylla ut tomrummet mellan fibrerna, öka papperets vithet, öka opaciteten eller ogenomskinligheten, förbättra kvalitén på tryck och att göra papperet billigare. Vithet och ogenomskinlighet är viktiga om det ska tryckas på båda sidorna av ett pappersark, till exempel vid boktryck. Det finns en stor mängd kemiska ämnen som är aktuella som fyllmedel, bland annat krita, kaolin (lera), titandioxid, talk, kalciumsulfat, bariumsulfat, zinksulfid. Många sorters fint tryckpapper innehåller upp till en tredjedel av fyllmedel.

Det färdiga papperets styrka i vått och torrt tillstånd kan påverkas med tillsatser vid mäldbberedningen. Limämnena minskar papperets vattenuppsugning och ökar våtstyrkan. Alun tillsätts för att förbättra limmets fäste på fibrerna. Stärkelse ökar papperets torrstyrka och styvhet.

Till färgat papper tillsätts färgen vid mäldbberedningen. Även vitt papper får ibland en svag färgtillsats, här för att det mänskliga ögat ska uppfatta papperet som vitare.

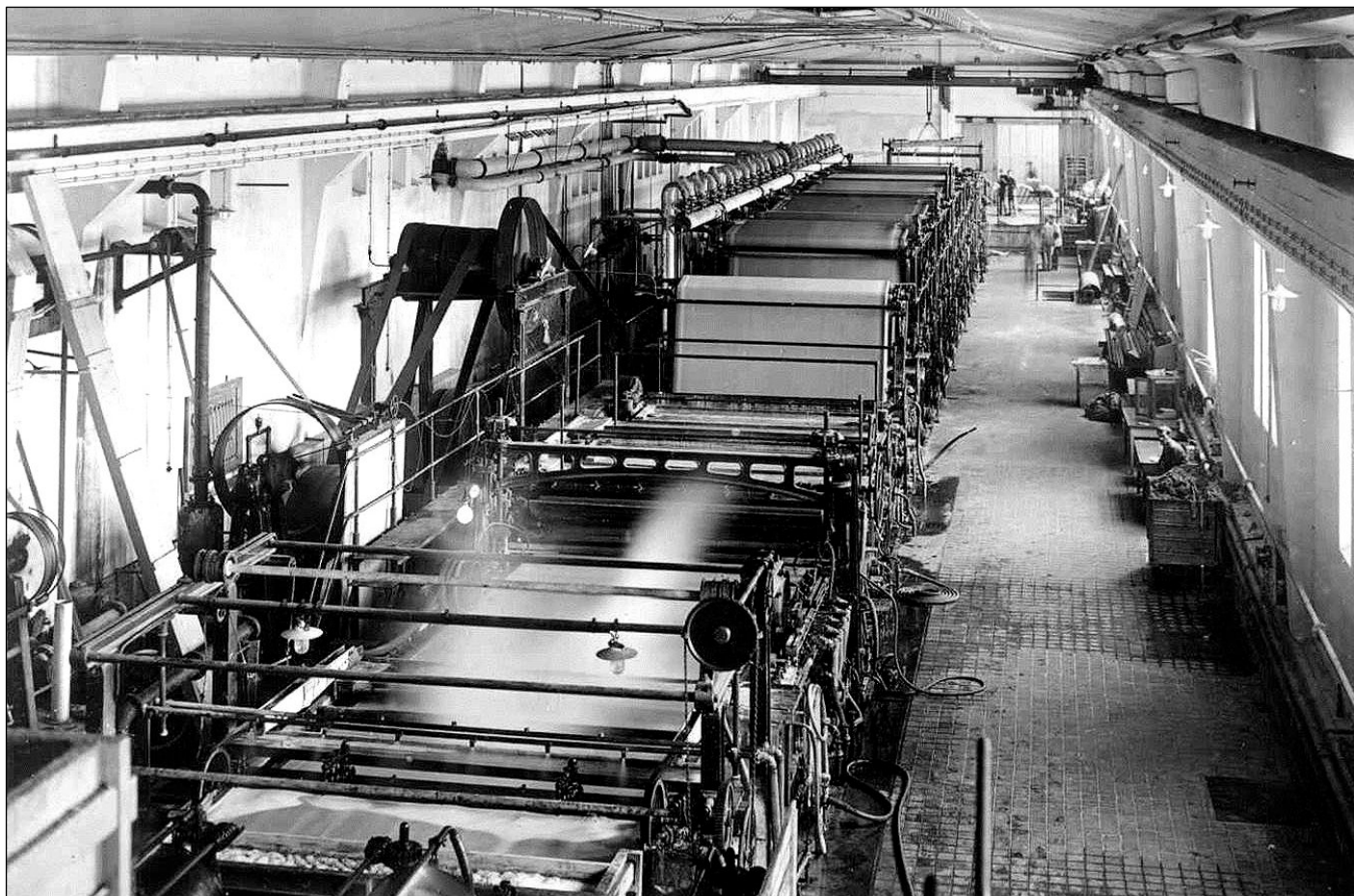
Andra tillsatser är mer inriktade på att förbättra tillverkningsprocessen för papperet. Medel för att dämpa skumbildning i mälden eller för att fyllmedel och kortare fibrer inte ska följa med vattnet ur pappersbanan under avvattningsfasen i pappersmaskinen.

Mälden passerar genom silar och andra rensningsanordningar så att alla föroreningar av kornkaraktär helt tas bort från mälden. Det är viktigt eftersom sådana föroreningar ger skador i papperet och dessutom kan skada pappersmaskinens polerade valsar, viror och andra känsliga delar.

Slutligen späds mälden ut med stora mängder vatten så att halten fibrer och övriga tillsatser till mälden uppgår till endast några få promille av vattenmängden. Man brukar beteckna koncentrationen av fiber och tillsatsämnen i vattenblandningen som dess torrhalt. Den mycket utspädda mälden har då här några promilles torrhalt.

Pappersmaskinen

Trots stora olikheter mellan olika typer av pappersmaskiner är de i princip lika. Den stora vattenmängden tas ur mällden i tre olika steg, avvattning, pressning och torkning. Pappersmaskinerna delas in i två typer beroende på antalet torkcylindrar, encylindriska eller flercylindriska. De vanligaste är flercylindriska maskiner. Encylindriska maskiner brukar benämnas yankee-maskiner, se bild på sidan 14. Yankee-cylindern måste ha en stor diameter eftersom papperets torkning måste ske under mindre än ett cylindervarv. Man kan omedelbart lätt avgöra vilken maskintyp man har framför ögonen. Flercylindriska är långa medan yankee-maskiner är korta och höga.



En flercylindrisk pappersmaskin, PM 8 vid Hallsta pappersbruk. Maskinen var i drift 1917–1975. Foto Holmen ABs arkiv.

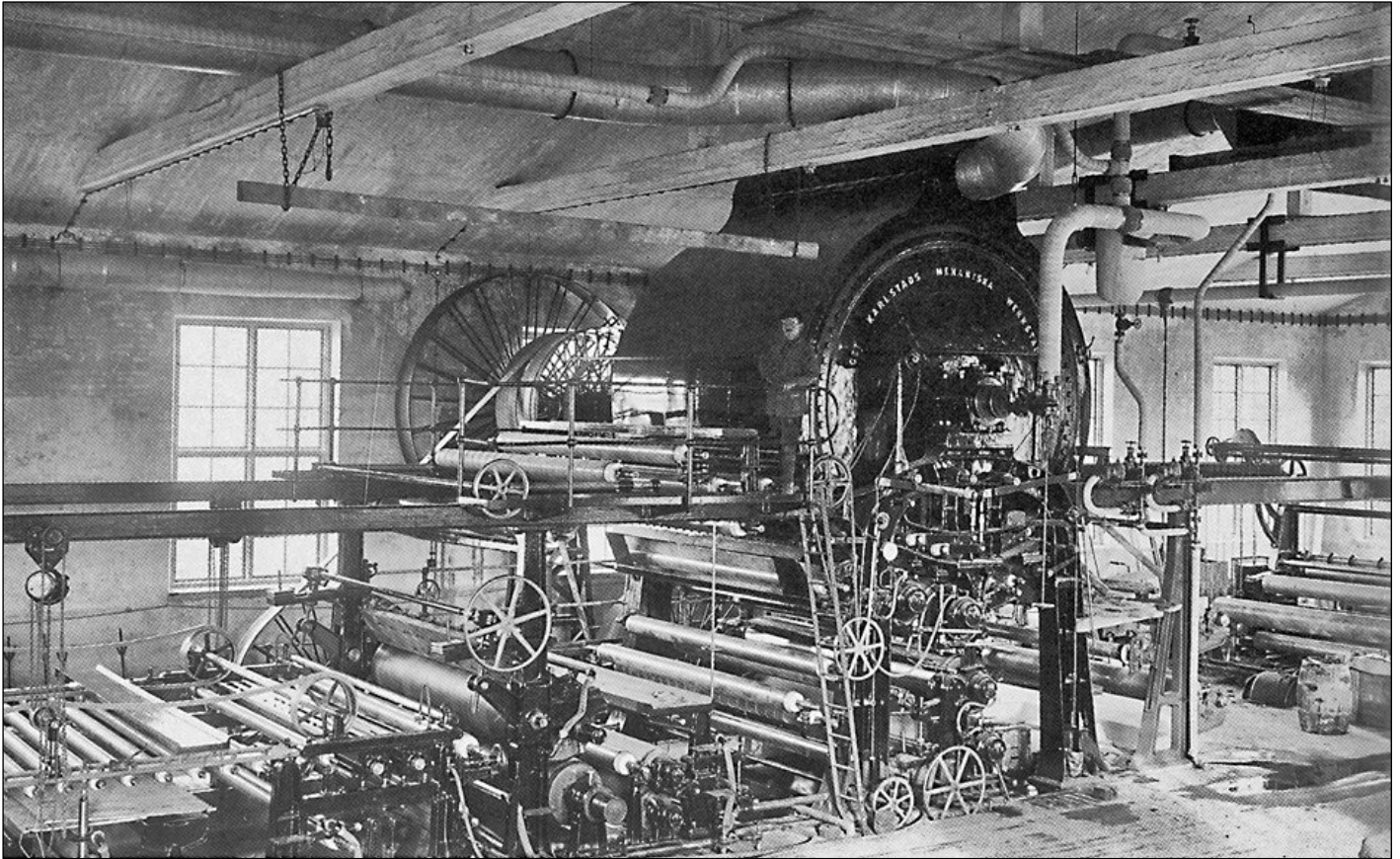
Virapartiet, avvattning

Den mycket utspädda mällden pumpas till pappersmaskinens inmatningslåda, där den rörs om så att fibrerna inte klumpar ihop sig. Från inmatningslådan rinner eller sprutas mällden ut på en vira som löper runt i avvattningsdelen i ett ändlöst band. Viran bestod tidigare av en vävd duk av mässingtråd, numera är den en duk av plast. Plastdukarna är oömmare och mer hållfasta. Vattnet börjar nu att rinna ut igenom viran och lämnar kvar fibern som börjar filta ihop sig ovanpå viran. Viran passerar också över flera suglådor, områden där vatten sugts ut från mällden. När mällden lämnar avvattningssektionen har torrhalten ökat till nära 20%.

När vattnet från mällden endast sugts ut åt ett håll kommer de finaste fibrerna att anrikas på papperets ena sida och det färdiga papperet att se slätare ut på den sidan. Det problemet löses om en vira till läggs ovanpå mällden och det placeras sugboxar även på mälldens ovansida.

Virans hastighet jämfört med den hastighet mällden sprutas ut på viran har också betydelse för papperets egenskaper. Med litet lägre mälldhastighet kommer fibrerna att orienteras i papperets längdriktning. Papperet tål högre dragbelastning i längdriktningen än i tvärriktningen. Prova gärna med ett stycke tidningspapper, riv papperet i en riktning och prova den vinkelräta riktningen. Går det lättare i en riktning kan du lugnt anta att

det är samma riktning som flertalet fibrer har orienterat sig. För många papperssorter krävs samma styrka i båda riktningarna och då måste man mycket noggrant styra flödes hastigheten från inloppslådan.



Encylindrig pappersmaskin, en yankeemaskin, med en enda stor torkcylinder. Den här var den första pappersmaskinen, PM1, som togs i drift vid Lilla Edets Pappersbruks AB andra fabriksenhet. Maskinen användes från 1927 till början av 1980-talet. Foto SCA Hygiene Products AB, Lilla Edet.

Presspartiet

När pappersmassan lämnar avvattningsområdet börjar det likna ett papper men det innehåller fortfarande mycket vatten. I denna sektion pressas det halvfärdiga papperet mellan flera par stålvalsar så att vatten pressas ut ur pappersmassan. På båda sidorna om pappersmassan löper filter som suger upp det utpressade vattnet. Filtarna passerar sedan förbi suglådor som tar hand om vattnet innan filtarna på nytt träffar på pappersbanan. När papperet har lämnat pressektionen har torrhalten ökat till 40-50 %. Fibrerna har nu häftat ihop med varandra och papperet bär sig självt i passagen mellan valsarna i fortsättningen och behöver inte stödjas av filt längre.

Det är fördelaktigt att minska vattenhalten i presspartiet. Det vatten som är kvar i papperet efter presspartiet måste förångas. Det kräver mycket värmeenergi som är dyrbar. Därför använder man numera en så kallad skopress. I den ligger mothållet mot presscylindern som ett stycke som har samma invändiga radie som presscylindern har utvändigt. Då får man en större pressyta och en större mängd vatten tas bort från papperet.

Torkpartiet

I detta parti går pappersbanan i en flercylindermaskin runt ett flertal ånguppvärmda cylindrar så att papperet värms upp och vattnet avdunstar. Vanliga torkcylindrarna har diametrar som ligger omkring 1,5 m. I flercylindermaskiner tillverkas tidningspapper och finpapper, men maskinerna är särskilt uppbyggda för sina produkter. Det går i allmänhet inte att tillverka olika papperstyper i samma maskin. Man kan emellertid variera ytvikten inom rimliga gränser. Variationen ger då olika papperstjocklekar.

Efter torkningen är torrhalten i papperet 90-95 %.

I en encylindrig maskin, yankeemaskin, är den enda torkcylindern ånguppvärmd och ganska stor. Cylindrarna har polerad yta brukar ha en diameter om 5-6 m. Förr lät man papperet torkas fullständigt på cylindern och då lossnade det av sig självt. Papperet blev glättat på den sida som låg mot cylindern.

Numera används yankeemaskiner nästan bara till mjukpapperstillverkning, hushållspapper, toalettpapper osv. Papperet får inte torka fullständigt utan skrapas av från cylindern med en kniv som benämns schaber. Papperet blir då kräppat.

Enklare papper som tidningspapper brukar endast få en kalandrering efter torkningen. Den genomförs med några stålvalsar som ligger an mot papperet. De jämnar till fibrerna som ligger i ytan av papperet och ger ett glansigare utseende. Därefter rullas papperet upp på en tambour, en tillfällig rulle. Sedan transporteras tambouren till rullmaskinen för att skäras upp till önskad bredd.

Finare papper får mer omfattande efterbearbetning som bestrykning, ytterligare kalandrering, foliering (påklistering av en tunn folie) med plast eller metall etc.

Efterbehandling

I efterbehandlingen anpassas pappersmaskinens baspapper ytterligare till kundens krav. Det kan röra papperets utseende, matt eller glatt yta, hög ljushet. Det kan också röra papperets användning: egenskaper för olika tryckmetoder, dammfritt papper. Det rör också papperets form, längden och bredden på papper som levereras i rullform eller storleken på de klippta arken om papperet levereras i buntar.



En tambour med upprullat papper. Tambouren tar upp papperet när det lämnar pappersmaskinen.

Bestrykning

Bestrykning av papperet är ämnat att påverka papperets utseende genom att ge en jämnare, slätare och klarare yta. Vid bestrykning kladdar man på en smet av pulver uppblandat med ett bindemedel på en sida av papperet, skrapar av överskottet och torkar med hjälp av varmluft eller värmestrålning. Därefter gör man precis samma sak på den andra sidan. Till största delen består bestrykningsmedlet av kaolin och krita. Även titandioxid används då den ger en ljus vit yta. Även optiska vitmedel kan ingå i bestrykningsmedlet. De omvandlar ultraviolett ljus till blåvitt synligt ljus så att ytan verkar vitare.

Obestruket papper kan även med fördel användas till tryck om det ytlimmas. Då läggs ett tunt lager av stärkelselim på pappersytan. Fibrerna i pappersytan binds bättre mot papperet vilket ger en slätare och tätare yta åt papperet. Det kommer också att damma mindre om papperet, vilket är fördelaktigt vid tryckning eftersom tryckpressarna inte behöver rengöras så ofta. Ytlimning används ofta som en grund för bestrykning. Ytlimning kan göras i slutet av pappersmaskinens torkparti eller i en separat process i efterbearbetningen.

Kalandrering

Detta är det sista steget för att ge papperet den rätta ytstrukturen. Kalandrar består av uppvärmda stålvalsar som papperet löper mellan. Med värme och tryck glättas pappersytan genom att fibrerna i pappersytan trycks fast mot ytan. Varannan vals i kalandern kan också förses med en mjuk yta och ges en hastighet som avviker något från stålvalsens. Papperet kommer då att poleras och få en mycket jämn och fin yta. Även bestruket papper kan kalandreras.

Pappersformatet

Det sista som görs på pappersbruket är att skära papperet i rätt bredd och rulla upp det på en pappcylinder. Därefter förses rullarna med ett skyddande omslag innan de transporteras till köparen. Tidigare var det mycket vanligt att leverera papperet uppklippt i ark. Fortfarande kan ark levereras men det mesta papperet lämnar pappersbruket på rulle.

Speciella pappersmaskiner

Tjock kartong för förpackningar behöver ha styrka att bära innehållet och motstå yttre påverkan. Dessutom ska det vara lätt att trycka på ytan. Sådan kartongen har ytskikten bestående av tunn sulfatmassa och ett mellanliggande tjockt skikt av mekanisk massa. En pappersmaskin med tre separata viralinjer som är placerade ovanför varandra kan direkt tillverka sådan kartong. De översta och nedersta virorna ges en mäl av, ofta kortfibrig, sulfatmassa medan den mellersta viran matas med mekanisk massa. Efter avvattningspartiet sammanförs alla tre massalagren och pressas samman. Fibrerna binder då samman massan i lagren och lagren med varandra. I övrigt fungerar dessa pappersmaskiner som de ovan beskrivna. Numera tillverkas kartong med upp till fem lager av olika pappersmassor på samma sätt.



Rullmaskinen och rullar med papper efter köparens önskemål. Foto Håkan Lundén.

Fabrikerna

Papperstillverkning sker i två separata fabriker, massafabriken (massabruket) och pappersfabriken (pappersbruket). I vanligt svenskt tal brukar tillverkningsenheter som gör papper helt enkelt kallas pappersbruk även om de också har egen massatillverkning. Massafabriken och pappersfabriken kan ligga på stort avstånd från varandra eller sammanbyggda som enhet. I de fall fabriken är sammanbyggda talar man om integrerade pappersbruk. Det finns många faktorer som talar för integrerade pappersbruk. Bland annat energiöverskottet från sodapannan kan värma upp torkzonen i pappersmaskinerna, transporterna mellan enheterna förenklas och en gemensam rening av avloppsvattnet kan utnyttjas.

Ett integrerat pappersbruk kan hålla sig med flera olika massafabriker eftersom det till flera pappers- och kartongmaterial går åt olika massatyper. Man brukar ibland säga att bruket har flera massalinjer.

Olika papperstyper

Först ska nämnas att papperstillverkning och försäljning är global och därför är de termer som används oftast engelska. I branschens använda svenska språk har många fackuttryck tagits direkt från engelskan. Här i denna beskrivning tas de svenska termerna upp tillsammans med de engelska.

Den första termen att ta upp berör inte direkt papperstillverkningen, men hör ändå dit. Pappersmassa kallas i engelska språket pulp.

Det viktigaste mått som används för att beskriva papperets egenskaper är ytvikten, det vill säga hur många gram en kvadratmeter av papperet väger. Ytvikten säger något, men inte allt, om papperets tjocklek. Tjockleken påverkas av hur hårt cellulosa fibrerna är hoppresade och mängden fyllmedel som lim, lera, vitmedel och bestrykning. Bulk är ett mått på papperets tjocklek. Bulk är den volym ett gram av papperet har. Högre bulk innebär ett tjockare papper.

Kopieringspapper som används som standard i kopiatorer samt laser- och bläckstråleskrivare brukar ha en ytvikt på 80 gram. Det kan användas som referens när man jämför olika typer av papper.

Träfritt papper innehåller låg andel vedämne, lignin. Ett träfritt papper innehåller minst 90% kemisk massa. Därför blir papperet vitare och kommer inte att gulna med tiden.

Högkvalitativt papper tillverkat av vit pappersmassa för lång livslängd kallas finpapper (bond paper). Exempel på finpapper är arkivpapper, skriv- och ritpapper samt kopieringspapper.

Återvunnet (recycled) papper består av fiber från insamlat papper uppblandad med färsk fiber. Det papperet blir svagare så att om ett slitstarkt papper behövs bör återvunnet papper inte väljas. Returfiber används mest vid tillverkning av tidningspapper, mjukpapper, en del kartong och papperet till wellpapp.

Mjukpapper (tissue) är det tunnaste papperet med den lägsta ytvikten som kan vara ned till 6-8 gram. Mjukpapperet är poröst och fibrerna är löst hopfildade. Det har liten hållfasthet men det ska vara mjukt och kunna suga upp vätskor. Det används till servetter, pappershanddukar, toalett- och hushållspapper samt pappersblöjor. Oftast består den färdiga konsumentprodukten av flera skikt mjukpapper.

Tidningspapper (newsprint) är ett papper avsett för dagstidningar där man har låga krav på åldersbeständighet och hållfasthet. Det är tillräckligt om papperet håller i pappersmaskinen och tryckpressen. Papperet är obestruket. Förr användes enbart mekanisk massa, men numera innehåller papperet en stor andel returfiber. Ytvikten för standard tidningspapper håller sig runt 45 gram.

Journalpapper liknar tidningspapper men det är vitare och mer glansigt. Det är avsett för tidskrifter och kataloger. Journalpapper ska vara elegantare och mer hållbart än tidningspapper. Det kan också vara bestruket.

Smörpapper är ett tunt halvgenomskinligt papper som inte släpper igenom fetter. Det tillverkas av kemisk massa som mals kraftigt och papperet kalandreras så att porerna i papperet blir så små att fetter inte kommer igenom. Smörpapperet används till att packa in feta varor och bakverk. På engelska kallas papperet greaseproof.

Kraftpapper (liner) är ett kraftigt och hållbart oblekt papper gjort av sulfatmassa. Det används som omslagspapper och utsidorna på wellpapp. Det vågformiga inre papperet i wellpapp är betecknad i engelska som fluting.

Kartong (board) är ett kraftigt, styvt, papper normalt med ytvikt 150-300 gram. Den kan bestå av ett eller flera sammanguskade lager. Sammanguskning innebär lagren bärs upp på egna viror och sammanförs före pressavsnittet i pappersmaskinen. Lagren binds samman utan lim, enbart av fibrerna. I flerlagerkartong är det mer regel än undantag att man har olika massasorter i de olika lagren.

Papp är som kartong men har vanligen ytvikt större än 600 gram.

Miljöfrågor

Massa- och pappersbruken krävde, i varje fall förr, mycket vatten och därför lades de nära åar eller sjöar. Avloppsvattnet förorenades av kemikalier och cellulosafiberrester och skapade stora miljöproblem när det pumpades ut orenat till åarna eller sjöarna. Redan under 1900-talets första hälft blev problemet påtagligt och det började ställas krav på rening av brukens avloppsvatten. Diskussionerna kring problemet var omfattande, men det saknades lösningar för att minska utsläppen. Tidskriften *Industria* presenterade dock en lösning, då om än mer humoristisk än realistisk. "Vattenanvändare ska i lag åläggas hämta sitt vatten nedströms och släppa sitt avloppsvatten uppströms." Numera, med stränga miljöregler, har nästan resultatet uppnåtts. Fabrikerna renar sitt eget vatten och återanvänder processvattnet.

I vatten utanför massa- och pappersbruk som varit i drift före 1920-30 eller så finns det bankar av cellulosa fibrer. Det har inte skapats något hårt sediment utan bankarna är mera slamliknande och de innesluter en stor del av de giftämnen som har släppts ut från bruken. De ruggigaste miljögifterna är kvicksilver, kadmium och klorerade kolväten. De är restprodukter från processerna vid pappersframställning men också spill av kemikalier som använts. Exempelvis användes kvicksilverföreningar för att minska slembildning i mällden och klogas för att bleka massan vilket skapade giftiga klorföreningar. När man rör om i slambankarna exempelvis då bankarna ska muddras bort frigörs giftämnena och sprids. Detsamma gäller när bankarna flyttar sig på grund av strömmar i vattnet eller om bankarna utsätts för skred. På litet längre sikt kan landhöjningen utefter norrlandskusten orsaka att bankarna lyfts ovanför vattenytan och giftiga ämnen sprids av vindar. Här har det skapats tidsinställda bomber, men det är oklart vilken tid som har ställts in. Det vore bra om det utvecklades metoder att ta hand om miljögifterna medan tid är.

I de moderna eller moderniserade bruken har många av de farliga kemikalierna tagits bort och de kemiska processerna hålls slutna så att inget eller mycket litet läcker ut i omgivningen. Exempel är sulfatprocessen där kemikalierna ständigt återanvänds.

Fortfarande kräver papperstillverkning stora vattenmängder, den största delen av vattnet renas numera i pappersbruken och återanvänds. Det betyder att i praktiken har kärnan i det gamla förslaget i tidskriften *Industria* uppnåtts, även om lagstiftningen inte finns. Resterande delar av det använda vattnet renas ordentligt



Vattenreningsanläggningen vid Hallsta pappersbruk. Foto Håkan Lundén.

innan det återförs till naturen. Vanligtvis brukar det avloppsvatten som återlämnas till naturen vara renare än vattnet som tas in.

I början av sulfitmetodens användning tappades den använda kokvätskan ut i närmaste vattendrag och dödade fisk och andra levande organismer i vattnet. Svårigheten att bli av med kokvätskan är ett av skälen att intresset för sulfitmetoden är lågt. De få sulfitbruk som idag finns i drift regenererar dock sin kokvätska. Sulfatmetoden och återanvändning av kokluten är fördelaktigast ur miljösynpunkt.

Tillverkning av kemisk pappersmassa orsakar ibland också gasutsläpp från massabruken. Vid sulfitmetoden kan svaveldioxid läcka ut i luften och orsaka besvär. Gasen är starkt irriterande på andningsorganen och orsakar korrosion på många metaller. Sulfatmetodens gasutsläpp består av kraftigt illaluktande svavelhaltiga organiska föreningar. De luktar som på torsdag eftermiddag efter lunch på ärtsoppa. För övrigt är dessa gaser ofarliga men obehagliga.

På de flesta bilder av pappersbruk syns en mängd utsläpp i luften. Det är vattenånga som kondenserar och bildar stora vita plymer i luften. Exempelvis producerar torkpartiet i pappersmaskiner stora mängder het, fuktig luft. Även om man använder luftens värmeenergi i fjärrvärmesystem och för annan uppvärmning samt kondensvattnet i processvattnets kretslopp läcker det ut lite varmluft och vatten. Även andra torkanläggningar och anläggningar för indunstning (att bli av med vattnet i en lösning genom kokning) släpper också ut vattenånga.

Pappers- och massaindustri i Sverige

I Sverige startades papperstillverkning för hand på 1500-talet i små pappersbruk. Från början tillverkade alla papper av fibrer från linnelump. På sent 1700-tal började det finnas lump av bomull tillgänglig och pappersbruken började använda också den lumpen som fiberkälla. Pappersbruken placerades vid forsar i södra Sverige för att kunna driva den stamp eller den holländare som frigjorde cellulosa fibrerna ur tygbitarna i lumpen. Pappersbruken var små och hade ett oftast få anställda men det fanns många bruk.

Dåtida transporter fungerade dåligt varför lumpinsamling i mycket hög utsträckning gjordes lokalt och dessutom saknades den nu moderna köp-slit-släng-mentaliteten vilket ofta resulterade i lumpbrist.

Sveriges första pappersmaskin sattes upp 1832 vid Klippans pappersbruk och därefter kom relativt snabbt ytterligare maskiner. Produktionen ökade snabbt eftersom papper tillverkades i löpande bana i stället som tidigare arkvis för hand. Men om pappersmängden ökade efter maskinen krävdes naturligtvis mer pappersmassa. Lumpbrist bemöttes under en kort tid, omkring 1830-1850, med använda halm som utgångsmaterial. Halmen kokades i lut och behandlades i en stamp eller holländare för att därefter användas till pappersmassa som blandades med lumpmassa.

I mitten av 1800-talet började man intressera sig för att ved som råvarukälla för pappersmassa. Först ut var kemisk massa genom sodametoden med start omkring 1855. Tyvärr var kemikalieåtgången stor och kemikalierna dyrbara. Metoden kunde användas utan konkurrens endast några få år för i slutet av 1850-talet började massa produceras av träsliperier. Tillverkning av slipmassa blev snabbt populär, i synnerhet när den svenska järnhanteringen i slutet av 1800-talet nära nog blev utkonkurrerad av engelska företag. Hyttor och smedjor blev nedlagda men kvar blev forsarna och skogen. Många små järnbruk konverterades då till träsliperier då efterfrågan på pappersmassa bara ökade.

På Bergviks trämassefabrik startades i mitten av 1870-talet experiment att koka trä i en sur lösning av magnesiumsulfid och 1879 var det som senare kallades sulfitmetoden fullt utvecklad för industriellt bruk. Nu blev det möjligt att producera större mängder vitt hållbart papper. Ångmaskiner och senare elmotorer drev maskinerna och man kunde göra sig oberoende av vattenkraft. Nu började massa- och pappersbruken bli stora anläggningar. Sulfitmetoden var dominerande inom kemisk massaproduktion ända fram till 1940. I dag finns det endast tre sulfitmassabruk i Sverige och de används mest för att producera ren cellulosa, så kallad dissolvingmassa. En liten del går till mjukpappersproduktion och papper med höga krav på vithet.

Sulfatprocessen är en efterföljare till sodaprocessen och har blivit helt dominant över sulfitprocessen. År 1885 startades det första sulfatbruket i Munksjö. Riktig fart i byggandet av sulfatmassabruk blev det på 1920-talet då sodapannan började användas. I sodapannan bränns den begagnade kokluten och kemikalierna regenereras. När sedan sodapannan i slutet av 1930-talet gjordes om till ångpanna som drev elverk och gav

värme kunde de integrerade pappersbruken bli självförsörjande på energi. Från 1950 och framåt har i princip den svenska pappersindustrin baserats på sulfatmassa utom tidningspappersproduktionen som använt mekanisk massa.

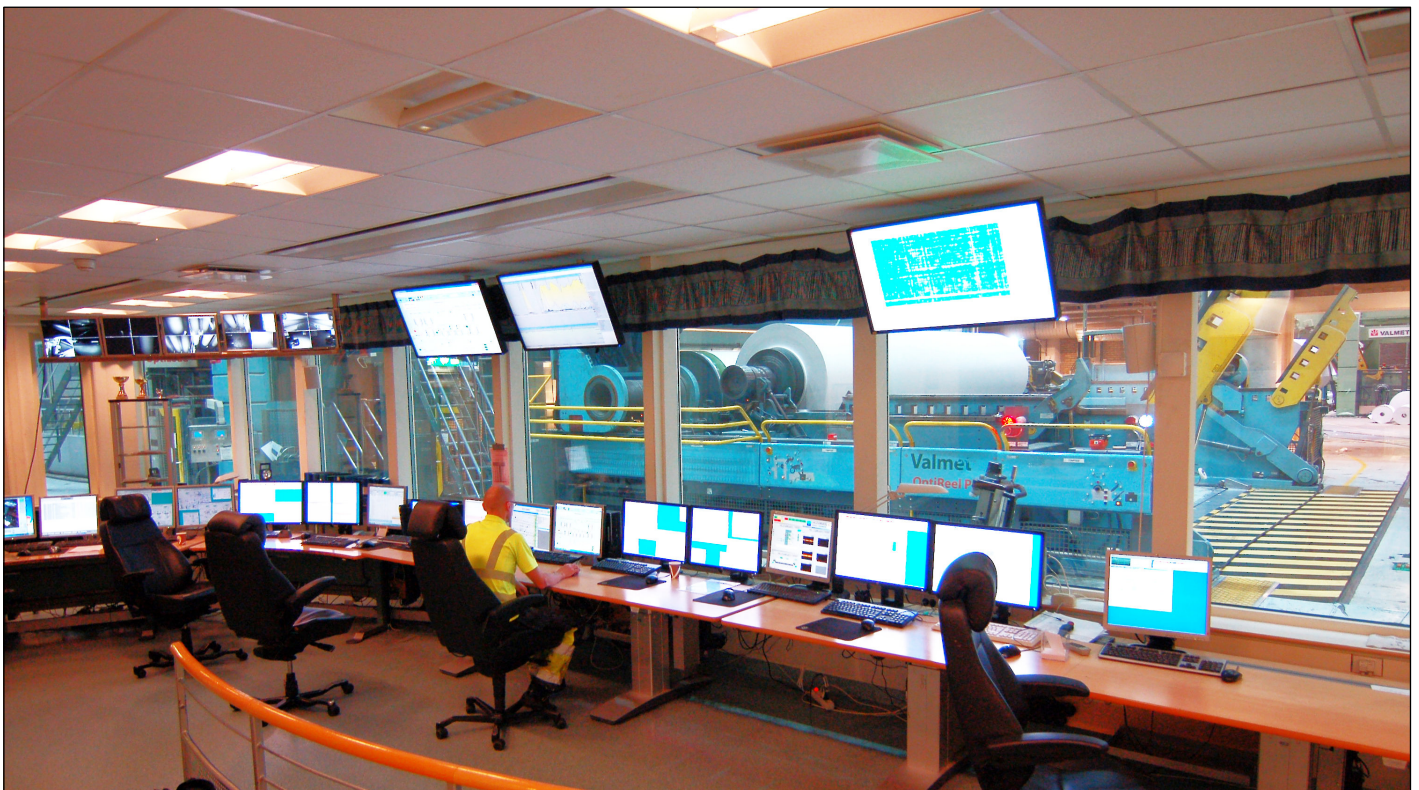
Investeringarna i dagens pappersbruk är enorma. Enbart en pappersmaskin kostar i dag flera miljarder kronor. Vidare är kostnader för exempelvis miljöförbättrande åtgärder väldigt stora. Detta har gjort att från 1960-talet och framåt mindre pappers- och massatillverkare köpts upp och lagts ner. Skogen var den värdefulla delen av de små bruken. Produktionen har ändå ökat kraftigt. År 1900 fanns 74 pappersbruk i Sverige som producerade ungefär 100 000 ton papper och 50 år senare 84 bruk som producerade ungefär 1 miljon ton papper. År 2009 producerade 41 pappersbruk cirka 11 miljoner ton. Sverige exporterar ungefär 90% av sin massa- och pappersproduktion.

Produktionen har koncentrerats på ett fåtal tillverkningsenheter i Sverige, för övrigt också i resten av världen. Industrianläggningarna är ofattbart stora, men de är mycket specialiserade. Om det blir förändringar i efterfrågan av olika papperstyper är det svårt att bygga om pappersbruken till de nya behoven.

Ett exempel, med ökad datoranvändning har nyhetsförmedling och annonsering flyttats från dagstidningar till digitala medier. Förutom andra effekter har behovet av tidningspapper drastiskt minskat. Vad gör man då i ett pappersbruk som endast producerar tidningspapper? Det är en tiotusen kronorsfråga. Finner ett nytt användningsområde för tidningspapper, använder hundratals miljoner kronor för att bygga om produktionsapparaten, förlorar hela investeringen genom att lägga ner bruket eller ...

Elektronik och datorteknik har betytt mycket för all processindustri och i synnerhet för pappersindustrin. Det är möjligt att mäta, fjärrövervaka och styra hundratals processvariabler så att kvaliteten på papperet blir både jämn och hög. Sen går det rasande fort också, de allra snabbaste pappersmaskinerna levererar omkring två kilometer papper per minut. Det finns inte mycket tid för eftertanke om något fel uppstår. Datorer kan erbjuda mycket hjälp.

Den datoriserade miljön har också mycket annat att ge. Operatörerna kan sitta i ett luftkonditionerat och bullerdämpat rum med full kontroll in i minsta detalj på en enorm anläggning. De kan se vartenda mätvärde på sina datorskärmar och observera varje kritisk punkt i maskinen på TV-monitorer. Dessutom kan de se sin maskin utanför glasrutorna så de inte förleds tro att det är ett datorspel de rattar.



Kontrollrummet vid Hallsta pappersbruks största och modernaste pappersmaskin PM 11. Jämför arbetsmiljön för operatörerna vid pappersmaskinen som avbildas på sidan 13. Foto Håkan Lundén.

Under 1950-talet och framåt ökade den internationella konkurrensen kraftigt och den möttes från de svenska bruken av rationaliseringar, ökad produktion, högre papperskvalitet och sänkta priser. Det behövdes fler och större maskiner samtidigt som de strängare miljökraven också krävde stora investeringar. I synnerhet de mindre pappersbruken fick då stora lönsamhetsproblem och blev uppköpta av branschens storföretag. I allmänhet blev produktionen nerlagd i de små bruken. Vinsten för storföretagen bestod i att de fick skogarna som ägdes av de små bruken. Det hela slutade med att det i dag finns ett fåtal jättestora pappersbruk i Sverige som ägs av ändå färre koncerner. År 2013 fanns det totalt 51 massa- eller pappersbruk i Sverige som ägdes av 26 olika koncerner eller företag.

Massa- och pappersindustrin har de senaste drygt hundra åren haft mycket stor betydelse för både vår nationella och lokala ekonomi och kommer säkert att vara viktig också i framtiden. Detta trots kriser och världsekonomiska tillbakagångar. Innovationer har gett goda resultat, tänk till exempel på Tetra Pak eller pappersblöjor.



Ett modernt pappersbruk är ett enormt industrikomplex. Detta är SCA Ortvikens Pappersbruk, ett stort pappersbruk som tillverkar tryckpapper. Foto Håkan Sjödin.