RAPPORT FOR GRAFISK UTDANNINGSFOND

TRYKKBAR ELEKTRONIKK

RUNE BJØRNESETH
CECILIA BREIVOLD

Høgskolen i Gjøvik • April 2014

Sammendrag

De siste årene har det vært stadig større interesse for å se på mulighetene til å trykke elektronikk. I denne rapporten ser vi på hva trykket elektronikk er og den nåværende bruken. Vi tar for oss både elektronikk-delen og trykk-delen av teknologien og ser på hvilke krav og tilpasninger som må gjøres for å kunne trykke elektronikk. Ut fra funnene vil vi avslutningsvis se på hvilket potensiale trykt elektronikk kan ha framover og hvilke bruksområder som er de mest aktuelle.

Innholdsfortegnelse

1 • Sammendrag

4 • Innledning

4 • Definisjon av begreper

5 • Kort historie om trykket elektronikk

5 • Sammenligning av tradisjonell elektronikk og trykket elektronikk
- 7 Additiv prosess

7 • Bruk av trykket elektronikk
- 7 Generell teknologi i trykket elektronikk
- 7 Baner/ledere
- 8 Halvledere
- 8 Passive komponenter
- 8 Strømkilder
- 8 Sensorer
- 8 Minne
- 8 Andre trykkbare komponenter
- 9 Solceller
- 9 OLED

10 • Bruksområder for trykket elektronikk
- 10 Pakningsdesign / emballasje og labeling
- 10 Logistikk
- 11 Medisin
- 11 Batterier
- 11 Plakater og reklame
- 11 Beskyttelse av opphavsrett

11 • Trykking av elektronikk

12 • Trykkmetoder
- 12 Gravure
- 13 Ink-jet
- 14 Fleksografi
- 14 Silketrykk

14 Offset
15 Kombinasjon av trykkmetoder

15 • **Blekk**
15 Blekk og metaller
16 Viskositet
16 Sintring: sammenbinding og herding
17 Nøyaktighet og flerlagstrykk

18 • **Substrater**

19 • **Bruk av trykt elektronikk i et framtidsperspektiv**

20 • **Oppsummering og konklusjon**

21 • **Referanser**

Innledning

Det er en nedadgående kurve når det gjelder tradisjonell trykking, men innen pakningsog emballasjetrykk er behovet fremdeles stort (Kipphan 2001, s. 10). Her er det et potensiale å ta i bruk trykket elektronikk.

Trykket elektronikk er relativt nytt, og dette er en kombinasjon av trykkteknologi og elektronikk. Målet med trykkbar elektronikk er å fremstille elektronikk på en billigere måte – da uten å bruke tradisjonelle metoder som inkluderer bruk av silikon. Dette feltet er langt fra ferdig utviklet, og fremdeles foregår det meste på forskningsstadiet, men både kunnskapen og interessen har økt stort de siste årene (Kipphan 2001, s. 1022). Som vi skal se, stilles det krav både til elektronikk og det trykktekniske for at resultatene skal bli vellykkede.

Definisjon av begreper

- Substrat: Materialet det trykkes på. Det vanligste substratet er papir, men andre vanlige substrater er plast, kartong, tekstil og glass.
- Viskositet: Blekkets flytegenskaper. Blekk med lav viskositet er tyntflytende, mens høy viskositet betyr at blekket har en tykkere konistens og er mer seigtflytende.
- Sintring: Sammenbinding av partikler. I sammenheng med trykkbar elektronikk omhandler dette begrepet prosessen der nanopartikler varmes opp så de smelter sammen og leder elektrisitet.
- Nanopartikler: Veldig små partikler (1–100 nm) av et materiale, størrelsen og formen til partiklene endrer egenskapene til materialene. Eksempelvis smeltetemperatur og evnen til å absorbere lys (Vert mfl. 2012).
- Kretskort: Et kort/brett hvor elektriske ledere/baner er etset ut av et kobberlaminat. Dette benyttes som et grunnlag for komponenter, hvor disse vanligvis loddes på overflaten eller monteres i hull i kortet.
- Komponenter: Deler eller byggeklosser for elektroniske kretser.
- Halvledere: En gruppe komponenter som kan styres til å lede, eller ikke lede strøm. Halvledere er grunnlaget for moderne elektronikk og benyttes i de fleste elektroniske produkter i markedet.
- Transistorer: En type halvleder som kan brukes som bryter eller forsterker, transistorer er grunnlaget for alle logiske kretser og finnes i alle moderne kalkulatorer, radioer, datamaskiner og mobiltelefoner.
- OLED: Organiske lysdioder, små lyskilder hvor det lysgivende laget er laget av organiske materialer.

Kort historie om trykket elektronikk

Det aller første kretskortet ble laget tidlig på 1900-tallet og i tiårene som fulgte var det flere gjennombrudd for elektriske kretser. De første ledende blekk og fleksible kretskort kom på 1920-tallet. Det var flere utviklinger og nye teknologier gjennom de neste 30 årene og på 50-tallet kom de første patenter for å trykke og etse baner/ledere på bøyelige materialer (Gilleo 2003).

Det som kan kalles det største gjennombruddet var den første trykkede transistoren, som kom i 1997 (Bonsor). Med dette gjennombruddet var det mulig å trykke logiske kretser. I 2003 kom den første masseproduserte trykkede transistor, og i 2005 ble den første linjen for masseproduksjon av trykket elektronikk presentert (Hanlon 2005). På denne tiden var det fortsatt meget enkle kretser med få, meget trege (1 Hz) transistorer.

I de senere år har det vært mange og viktige gjennombrudd innen flere felt som har direkte tilknytning til trykket elektronikk. Flere gjennombrudd innen nanoteknologi, ledende blekk, herdemetoder og batterier, har gjort at man nå kan trykke komponenter med bedre ytelse og at man har strømkilder som kan drive kretsene på en bedre måte. I tillegg har teknologien blitt betydelig mer miljøvennlig.

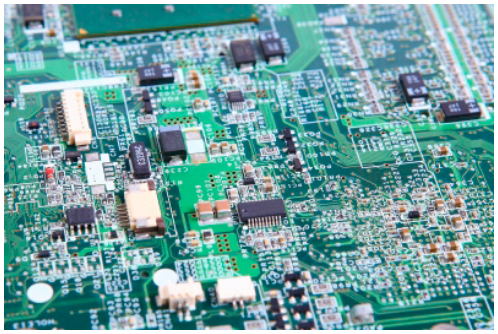
Det finnes nå flere forskergrupper som har fokus på trykket elektronikk, inkludert flere store universiteter som MIT og Berkeley. I tillegg har flere selskaper gått sammen med sine enkeltteknologier for å lage mer sammensatte kretser med bedre funksjoner. Et slikt selskap er norske Thinfilm (Thinfilm a).

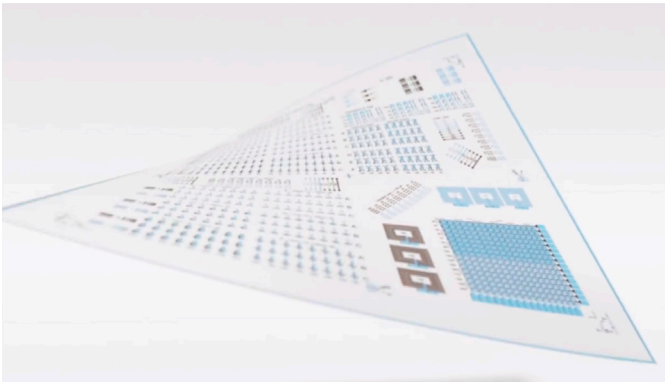
Sammenligning av tradisjonell elektronikk og trykket elektronikk

Tradisjonell elektronikk produseres ved at komponenter og kretskort lages hver for seg og settes sammen i ettertid. Komponentene kommer som overflatemonterte komponenter eller som hullmonterte komponenter, enkelte komponenter kan også være en del av selve kretskortet.

Det finnes flere tusen varianter av komponenter – transistorer, motstander, kondensatorer, logiske kretser osv. som hver har sitt bruksområde og sine unike egenskaper. I tradisjonell elektronikk vil tilgjengeligheten av komponenter og kretskort være avgjørende for om man kan produsere. Mangler man en komponent, får man ikke produsert.

Å produsere trykket elektronikk krever kun tilgang på riktig blekk og substrat, en type blekk kan benyttes til å lage flere forskjellige typer komponenter. Istedenfor å bestille deler fra mange forskjellige produsenter, kan man trykke de forskjellige komponentene selv ved å trykke i et annet design. Kretskortet trykker man rett på substratet ved hjelp av ledende blekk.





Et tradisjonelt kretskort til venstre i forhold til et trykket fleksokort. Bildene er hentet fra http://www.freedigitalphotos.net/images/agree-terms.php?id=100130 og https://www.youtube.com/watch?v=peE8Sm5xE (07.04.2014).

Trykkprosessen kan også tilrettelegges for å endre på produktet på meget kort tid, hvor man i tradisjonell elektronikk må designe nye kretskort og bestille disse, samt nye deler. Vil man kunne designe den nye kretsen og begynne å trykke denne umiddelbart. (Gjelder hovedsaklig ink-jet).

En av de viktigste årsakene til å bruke trykkbar elektronikk i stedet for å fremstille elektronikk på tradisjonell måte, er kostnadsdifferansen (Berger 2014a). Nettopp at trykket elektronikk er billigere enn vanlig fremstilling av elektronikk, er at av hovedankepunktene for teknologien. Det samme gjelder også for muligheten til å kunne trykke på fleksible substrater (Perelaer mfl. 2010, s. 8446; Subramanian 2012).

Det finnes derimot begrensninger for trykket elektronikk. Størrelsen av komponentene vil alltid begrenses av nøyaktighen til utstyret som trykker de. De fleste kretser i dag benytter seg av transistorer, eksempelvis er prosessorene i datamaskiner, mobiltelefoner og nettbrett silikonbrikker med flere hundre millioner transistorer (Shimpi og Key 2008).

Mindre transistorer gir mindre energibruk og rimeligere produksjon da man benytter mindre materialer. Prosessorer for forbrukermarkedet er nå nede i 22 nm nøyaktighet, dette gjør at flere transistorer får plass på et mye mindre område. (Kang 2013). Man er derimot meget langt ifra å kunne trykke med så høy nøyaktighet, og følgelig vil man måtte benytte større flater for å oppnå samme ytelse.

Tradisjonell elektronikk har i mange år vært rettet mot å være raskere, mindre, høyere oppløsninger på skjermer, større lagringskapasitet og flere funksjoner. Trykket elektronikk er ikke i nærheten av å konkurrere med tradisjonell elektronikk på disse områdene, mye av dette begrenses av nøyaktigheten til utstyret. Når man i silikon bruker nanometer, må man i trykket elektronikk måle i mikrometer. Når det gjelder hastigheter er det også betydelige forskjeller, i vanlige transistorer kan man operere med flere MHz, mens trykkede transistorer oppnår hastigheter i 100 KHz området (Subramanian 2012). Dette gjør at det å trykke seg en ny laptop eller et nettbrett blir vanskelig og man må se på helt andre og eventuelt helt nye bruksområder for trykket elektronikk.

Additiv prosess

Tradisjonelle, subtraherende prosesser handler om å etse vekk kobber, men siden elektronikken nå kan trykkes, legges materialene til i stedet for å fjernes. Derimot er trykking som en additiv prosess mer lønnsom fordi materialforbruket er lavere, og det er dermed liten sløsing (Daniel). Dette er en vinn-vinn-situasjon fordi det både er kostnads-effektivt og mer miljøvennlig

	Trykket elektronikk	Tradisjonell elektronikk
PRIS	**Lav**	Høy
HASTIGHET	Lav	**Høy**
KOMPONENT TETTHET	Lav	**Høy**
PRODUKSJON	**Relativt enkel**	Meget avansert
SUBSTRAT	**Mange typer / fleksible**	Få typer / faste materialer (Bøyelige, ikke brettbare fleksikort)
OPPSTARTS-KOSTNAD	Relativt lav	Meget høy

Tabell 1: Oppsummering av trykket elektronikk og tradisjonell elektronikk.

Bruk av trykket elektronikk

Generell teknologi i trykket elektronikk

Trykket elektronikk vil generelt sett fungere tregere og kreve noe større overflater enn tradisjonell elektronikk. Den vil derimot kunne trykkes på flere typer materialer, være enklere å produsere og prisen for et ferdig produkt vil være mye lavere. Dette betyr at bruksområdene vil være i produkter som ikke krever ekstremt høye hastigheter, hvor det må reageres på tiendelssekunder istedenfor mili- og mikro-sekunder. Til gjengjeld vil man kunne lage produkter med kortere levetid, siden kostnadene er såpass lave per produkt.

Baner/ledere

Kan trykkes ved hjelp av nanomaterialer. Varmes så opp så de smelter sammen, dette

kan gjøres under smeltetemperaturen til plastikk. Gjennomsiktige ledere er også mulig, noe som øker bruksområdene ytterligere. Generelt oppnår trykkede baner ca. 70 % av ledeevnen til vanlige ledere/metaller

Halvledere

Halvledere kan trykkes, men flere av de krever flere lag med trykk, ofte med mellombehandling av materialer i form av varme. (Alt innenfor smeltetemperaturen til plastikk). Pågående forskning for å trykke på papir, men det har også blitt trykket på andre vanskelige materialer som eks. stoff. Kvaliteten på trykkede transistorer er god nok til de fleste bruksområder for trykket elektronikk.

Passive komponenter

Kondensatorer, motstander og spoler kan trykkes med relativ god nøyaktighet for verdiene av komponentene.

Strømkilder

Miljøvennlige batterier som leverer nok spenning til å drive kretser er laget. Solceller kan trykkes (Sekitani mfl. 2006).

Sensorer

Det har blitt trykket temperatursensorer, lyssensorer og elektroniske «neser». Ved World Technology Network Summit 2012, var det 24 forskjellig typer sensorer (Sutija 2012).

Minne

Trykket minne gir muligheter vanlige minnepenner ikke gir, det gir mulighet til å integrere minne i ting som samlekort, biletter og leketøy. Trykket minne gir ikke like stor lagringsplass som vanlige minnepenner, minnepenner har lagringsplass på flere gigabyte mens trykket minne har noen få bits. Det er klart, 36-bits gir muligheten til å lagre over 68 milliarder mulige tallkombinasjoner og for mange bruksområder er dette mer enn nok. I tillegg har trykket minne fordelen med at de er svært tynne og kan trykkes på flere substrater (Thinfilm b).

Andre trykkbare komponenter

- Antenner i flere typer og kan trykkes på papir.
- Høytalere
- Skjermer – se delen om OLED på side 9
- Brytere

Nå skal vi se litt nærmere om to teknologier som utmerker seg. Dette er solceller og OLED.

Solceller

Store fremskritt de siste årene, oppe i over 15 % effektivitet på paneler. Kommersielt tilgjengelige vanlige solcellepaneler har en rekord på 21,5 % per februar 2014 (Shahan 2014). Effektiviteten til trykkede solceller vil bli bedre etterhvert som det forskes mer på området, noe som igjen vil øke lønnsomheten. Men trykte solceller har noen tydelige fordeler ved at

- Ekstremt rimelig å produsere, samt lettere og mer robuste enn silikonbaserte paneler.
- Substratet kan tilpasses bruken, avhengig av krav til vekt, bøyelighet eller robusthet.
- Mulighet for å trykke solceller direkte på glass (Harrop 2011a).
- Mulighet for å lage solceller som er tilnærmet gjennomsiktige.

Fleksible solcellepaneler gir mange flere bruksområder. I tillegg til den lave prisen, gir dette helt nye bruksområder som tidligere ikke var mulig grunnet lønnsomhet eller fysiske begrensninger i panelene. Eksempler på nye bruksområder er: utvendig tapetsering av bygninger, sammenrullbare paneler til reise/camping og til å dekke tak på bygninger eller kjøretøy.

OLED

OLED er en form for lysdioder som ofte forbindes med de nyeste flatskjermene og mobildisplay. I dag benyttes OLED av flere større selskaper innen forbrukerelektronikk. (Eks. LG, Samsung, Sony etc.). De nåværende produksjonsmetodene er meget dyre, og OLED i forbrukerelektronikk er relativt dyrt. OLED kan også benyttes som en lyskilde, det foregår forskning på området og per mars 2014 er det mest effektive OLED-panelet målt til 156 lm/W. Dette er en bedre effektivitet enn LED-pærer som er komersielt tilgjengelige i dag (Konica Minolta 2014). Det foregår forskning på LED-pærer også, og næværende rekord er 303 lm/W (Bush 2014). Det skal nevnes at begge rekorder er oppnådd i forsøk og er ikke kommersielt tilgjengelig.

OLED har derimot noen fordeler som LED pærer ikke har:

- Kan lages ekstremt tynne (< 2 mm)
- Avgir mye mindre varme (< 30°C)
- Kan bøyes og formes
- Kan lages gjennomsiktige (LG Chem)
- Veier veldig lite (150 mm × 60 mm panel veier ~ 5 g)
- Gir jevnt lys over hele overflaten (Konica Minolta)

Det er flere fordeler med OLED som kan gjøre det til en fremtidig teknologi for trykkeribransjen:

- Kan trykkes
- Gir meget imponerende lyseffekter, selv med enkle kretser
- Kan lages i en mengde farger
- Benytter ikke tungmetaller (Bradley 2013)
- Mye forskning på området
- Har allerede blitt testet som emballasje (Knauer 2013)

Bruksområder for trykket elektronikk

Pakningsdesign / emballasje og labeling

- Lysende embalasje, eventuelt med lys-sekvenser eller som reagerer på bevegelse (se – Bacardi Bombay Sapphire electroluminescent packaging, vinner av German packaging award 2012).
- Magasinfronter som lyser når de står i butikkhyllene.
- Forskjellige typer aktiv og smart/intelligent pakningsdesign. Aktiv pakningsdesign reagerer på signaler når de sendes ut. Intelligent pakningsdesign reagerer selv på skiftende omgivelser og kommuniserer dette enten til forbrukeren eller andre personer i kontakt med produktet (Butler 2003).
- Emballasje og etiketter som kan endres etter produktet er satt i hyllene. Kan eksempelvis endre sin egen pris når produktet nærmer seg utløpsdato (Subramanian 2012).
- Temperatursensorer og elektroniske «neser» som forteller om produktet er dårlig.

Logistikk

- RFID, Radio Frekvens IDentifikasjon, brukes blant annet til å merke kjæledyr med en RFID brikke i nakken (Dyreidentitet). Brukes også i logistikk av blant annet Nortura, Tine og COOP. RFID brukes i hovedsak på paller og «Gildekasser», ved hjelp av trykket elektronikk vil dette kunne være på individuelle produkter (Vevle 2012).
  - Muligheten innen sporing, logistikk og smart labeling til å bruke RFID er en av de største pådriverne for trykket elektronikk. En RFID-brikke består av data som er lagret i brikka, ei antenne for å motta og sende signaler og et batteri dersom det er en aktiv- eller semi-aktiv RFID (Bonsor og Fenlon).
  - RFID brukes for å identifisere et produkt og er i utgangspunktet enveiskommunikasjon (Chandler).
- NFC, Nærfelts kommunikasjon. NFC er en videreutviklet form for RFID og gir muligheten til å ha toveiskommunikasjon. I dag benyttes NFC blant annet i mobiltelefoner, hvor teknologien benyttes for å sette opp et wifi nettverk mellom to telefoner ved berøring. NFC benyttes også som trådløst betalingsmiddel, hvor kortterminalen er utstyrt med NFC, betalingen gjøres så ved en enkel berøring med telefon eller kreditt/debetkort (Kirknes 2012).

Medisin

- Temperatur- og fukt-sensorer for å overvåke om medisinen er trygg å bruke.
- Datotimere, kan overvåke alderen på medisinen eller fortelle bruker om tidspunktet medisinen skal tas.
- Registrere om medisin er tatt og når (Xerox).
- Sensorer på kroppen til pasienter som måler temperatur, blodtrykk eller blodsukker (NanoMarkets 2012).

Batterier

Trykkede batterier som er fleksible og oppladbare har blitt laget. Disse gir designmuligheter som tradisjonelle batterier ikke har, da vanlige batterier ofte inneholder skadelige kjemikalier eller ustabile materialer som trenger god beskyttelse. Trykkede batterier har egenskaper som nærmer seg Li-Ion batterier (vanlig i bla. mobiltelefoner), men uten bruk av giftige eller ustabile materialer (Fehrenbacher 2013).

- Små fleksible engangsbatterier kan benyttes i mange sammenhenger.
- Mer miljøvennlige enn flere av batteritypene som er vanlige i dag.

Plakater og reklame

- Som spiller musikk ved trykk (Harrop 2011a; Novalia 2012).
- OLED gir også veldig mange muligheter for markedsføring.

Beskyttelse av opphavsrett

- Sporing gjennom flere forhandlerledd ved hjelp av unike koder for hvert produkt.
- Vanskeligere å kopiere produkter med elektronisk informasjon.
- Kan benyttes for å sikre markeder, eksempelvis såpedispensere som kun fungerer med et bestemt merke såpe (Savastano 2013).

Trykking av elektronikk

Det finnes en rekke trykkmetoder som brukes i stor utstrekning til trykk av vanlige trykksaker. Men de siste årene har andelen trykksaker sunket i takt med at bruken av digitale medier har økt (Kipphan 2001, s. 10). Det er et potensial for å utnytte trykkteknologien til å trykke elektronikk.

Det å skulle trykke elektronikk stiller noen krav til både trykkmetode, substrat og ikke minst blekket som brukes. Det er flere faktorer ved alle tre variablene å ta hensyn til for at resultatet skal bli vellykket. Spesielt innvirkning har trykkmetode, substratet og blekk (Kipphan 2001, s. 99). Disse variablene må matche hverandre for å få et vellykket resultat (Sridhat).

Trykkmetoder

Teoretisk sett er det mulig å trykke elektronikk ved hjelp av alle vanlige trykkmetoder. Blant de analoge trykkmetodene, er det blitt testet å trykke med både offset, fleksografi, gravure (dyptrykk) og silketrykk (screen printing). I tillegg til de digitale trykkmetodene ink-jet og elektrofotografi. Når kravene til substrat og blekk i tillegg til egenskapene ved trykkmetoden tas i betraktning, ser det ut til at det er gravure og ink-jet som er de mest brukte og egnede metodene.

Gravure

Gravure er en dyptrykksmetode der trykkbildet enten graveres eller etses inn i en stålsylinder belagt med kobbersjikt. Gravure er egnet for å trykke store opplag fordi det er en relativt dyr trykkmetode sammenlignet med offset eller digitaltrykk. Metoden er dyr fordi det er høye oppstartskostnader med å produsere sylindrene med trykkbildet. De typiske produktene for dyptrykk er magasiner, trykk på transparentene filmer eller plast og bæreposer (Kipphan 2001, s. 51–52).

En grop som er etset eller gravert utgjør et eksponeringspunkt eller rasterpunkt. Gropene varierer i størrelse og dybde og fylles med blekk. Disse kan være svært små, helt ned i under 10 µm, noe som gir svært stor nøyaktighet (Subramanian 2012).

Laser produserer de minste og mest nøyaktige rastercellene. Denne teknikken gjør det mulig å trykke tynnere, finere linjer enn ved gravering i sylinderen. Derfor er dette mer egnet for trykkbar elektronikk. Utfordringen er likevel å trykke sammenhengende linjer som er tette. Det beste er å trykke enkeltceller med riktig avstand så dette danner en linje, og ikke etse ut en lang sammenhengende linje (Clark 2010, s. 11–12).

For å få et vellykket resultat ved hjelp av dyptrykk, er det flere faktorer som er svært sentrale. Spesielt er det substratet med sin overflate og hvordan denne tar til seg blekk, blekkets viskositet, cellenes størrelse og form, press og trykkhastighet (Clark 2010, s. 9; Kipphan 2001, s. 45). Når substratet passerer under sylinderen overføres blekket til substratet. Ved dyptrykk gnis ikke blekket mot substratet, som i offset eller høytrykk, og er en årsak til bedre nøyaktighet. Fleksible substrater som papir og polymerfilmer er de vanligste substratene, men det har også blitt trykket på mer rigide underlag som glass (Hrehorova mfl. 2011).

En av fordelene som fremheves med gravure, er blekkets egenskaper. Blekket som brukes er nokså tyntflytende og har lav viskositet (Kipphan 2001, s. 137). Senere skal det sees på hvilken betydning blekkets viskositet har for å kunne trykke elektronikk.

Men gravure har sine mindre gode sider også. Trykkhastigheten er raskere enn noen av de andre trykkmetodene (Kipphan 2001, s. 392). På grunn av den høye hastigheten, er det ikke sikkert alle cellene fylt med blekk overføres til substratet, og det kan forekomme «missing dots» (Kipphan 49). Sett i forhold til å trykke elektronikk er dette et kritisk punkt. Et manglende eksponeringspunkt vil resultere i at kretsen ikke lukkes

og dermed ikke er vellykket. På den andre siden kan for lav viskositet gi linjer som er tynne og leder elektrisiteten dårlig (Clark 2010, s. 21).

Det finnes to ulike typer dyptrykk. Enten direkte trykk eller en offset-basert indirekte metode. Uansett hvilken metode som brukes, vil det være en punktøkning. Punktøkningen gjør at dråpen med blekk endrer fasong og størrelse når den er trykket sett i forhold til utgangspunktet. Indirekte gravure-trykk har likevel en betydelig større punktøkning enn direkte-trykk der blekket kun overføres én gang før det sitter på substratet. Med indirekte gravure-trykk har punktøkningen vært på hele 145 % (Clark 2010, s. 20). Dette er noe det må tas hensyn til i forhold til hvilken størrelse og avstand det skal være mellom rasterpunktene for å få korrekt resultat.

Ink-jet

Ink-jet er trykkmetoden som er studert mest for bruk innen trykt elektronikk. Ink-jet er den digital trykkteknologi der blekket sprøytes på substratet ved hjelp av noen små dyser. Trykket får stor oppløsning med blekkdråpestørrelser helt ned i 10 µm (Subramanian 2012).

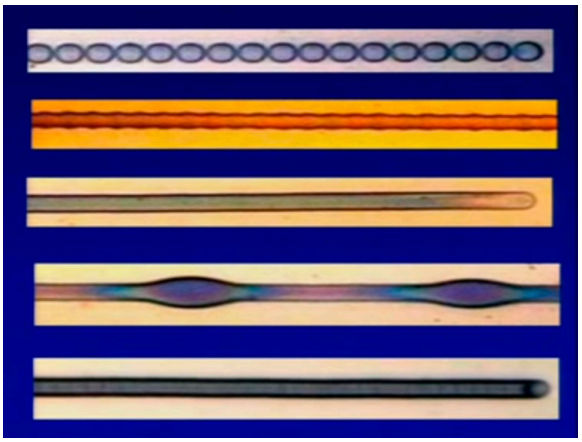
En fordel som påpekes med ink-jet er at det er en digital trykkmetode. Dette gjør ink-jet til en mer fleksibel og hurtigere metode fordi trykkbildet kan endres mellom hvert trykk og klargjøringen til trykk går raskt. Dette gjør prosessen billig i forhold til analoge trykkmetoder som trenger klargjøring av trykkplater.

Sammenliknet med gravure er dette en noe treg trykkmetode (Kipphan 2001, s. 64). Men det har vist seg at å trykke med lavere hastighet kan gi et bedre resultat (Clark 2010, s. 2).

Blekket som brukes har i likhet med gravure lav viskositet. Selv om dette er ønskelig i trykking av elektronikk, er dette samtidig også en utfordring. Blekkdråpene sprøytes på substratet, og på et ikke-absorberende substrat kan blekkdråpene flyte ut i hverandre og dermed ikke trykkes på ønskelig måte (Kipphan 2001, s. 141–142; Subramanian 2012).

En avgjørende spesifikasjon er avstanden mellom dråpene for å danne et mønster/linje som leder elektrisiteten godt. Er denne avstanden feil, vil ikke linjen med blekkdråpene danne en form som klarer å lede elektrisiteten. Det kan enten være at det blir hull i kretsen, eller at linjen blir klumpete og ujevn (Subramanian 2012).

Under trykking med ink-jet er det ikke kontakt mellom dysene og substratet. Dermed kan det trykkes med mange ulike



Ulike linjemønstre som kan dannes ved bruk av ink-jet, og dette påvirker ledeevnen. Bildet er hentet fra https://www.youtube.com/watch?v=806JGh4LPS (23.03.2014).

typer blekk og på mange ulike substrater (Daniel; Sridhar, Blaudeck og Baumann 2011). Det fungerer også å trykke på tredimensjonale flater (Xennia Technology). Ink-jet kan i tillegg til papir, trykke på ikke-porøse substrater. Det vil si ikke-absorberende substrater som metall, plastikk og film (Thackray og Hindagolla).

Ink-jet ser svært lovende ut for å trykke antennen til RFID-brikker direkte på plast eller papir. Dette vil redusere kostnadene med å bruke RFID betraktelig i forhold til i dag (Berger 2014).

Fleksografi

Denne trykkmetoden brukes allerede innen paknings- og emballasjebransjen. Trykkmetoden kan brukes for å trykke på mange ulike substrater, som papir, kartong, plast og metall. Fordelen med fleksografi er et det kan benyttes mange ulike substrater og blekk tilpasset disse substratene (Kipphan 2001, s. 47–48). Blekket som brukes må være tyntflytende, altså ha lav viskositet (Kipphan 2001, s. 139). Fordelen med dette er at det tørker relativt raskt.

Silketrykk

Her presses blekket gjennom en duk med små hull der blekket skal gjennom. Silketrykk brukes til å trykke på tekstiler, leker, plakater i storformat, kretskort og emballasje (Kipphan 2001, s. 58). Silketrykkets fordel over de andre trykkmetodene er det store utvalget substrater og størrelsen og formen på trykksaken. Ved hjelp av denne trykkmetoden er det mulig å trykke på glass, plast, metall, tekstiler, i tillegg til papir. Denne metoden brukes også spesielt for å trykke kretskort (Kipphan 2001, s. 140).

Svakheten er nokså lav oppløsning der de minste rasterpunktene har en størrelse på 50 µm. Blekket som brukes har også relativt høy viskositet (Daniel).

Offset

Offset er en av de vanligste trykkmetodene og er basert på det litografiske prinsippet om at vann og fett frastøter hverandre. Denne metoden brukes hovedsakelig for å trykke på papir, kartong eller aluminium (Den norske emballasjeforening).

Til tross for at offset er en mye brukt trykkmetode for vanlig trykk, viser forskingen som foreligger at offset har noen svakheter som gjør metoden lite egnet til å trykke elektronikk. Et hovedargument for dette er blekkets begrensninger fordi det må ha høy viskositet (Kipphan 2001, s. 137).

Det bør også nevnes at ved offsettrykk gjennomgår papiret en voldsom prosess gjennom maskineriet, og det kan være vanskelig å opprettholde presisjonen fordi substratet blir dratt i. At det også brukes vann i trykkprosessen gjør at substratet er enda mer utsatt for endringer i fasongen. Dette forårsaker fort at resultatet blir dårligere på grunn av vanskeligheter med å opprettholde presisjonen.

Tørroffset har en fordel i forhold til tradisjonell offset. Det brukes ikke vann i denne

prosessen, og det er mulig å trykke med høyere oppløsning. Men derimot er det en ulempe at blekket som brukes har høyere viskositet enn vanlig offset. Dette fører også til en fare for at ikke alt blekket overføres til substratet i trykkprosessen (Johansson mfl. 2011, s. 304–305). I likhet med gravure kan blekkdråper som ikke overføres føre til hull i kretsen og at den ikke leder elektrisitet.

I likhet med alle analoge trykkmetoder, er det både mer kostbart og tidkrevende å gjøre i stand for trykk sammenliknet med digitale trykkmetoder som krever mye mindre forberedelser. Av den grunn finnes det et ønske om å gå vekk fra denne trykkmetoden (Kang mfl. 2010, s. 1213).

Kombinasjon av trykkmetoder

Mulighetene ligger også i å kombinere ulike trykkmetoder. Dette kan være med å bruke de ulike trykkmetodenes beste sider for å optimalisere trykket. Det har for eksempel blitt testet å trykke med en kombinasjon av gravure, ink-jet og silketrykk (Clark 2010, s. 13).

Blekk

Det viser seg at blekket er av svært avgjørende betydning for trykking av elektronikk. Krav som stilles til blekkets egenskaper og innhold er bestemmende faktorer for å hvilke trykkmetoder og substrater som kan brukes. Blekkets karakteristikk er en av grunnene til at ink-jet og gravure anses som de mest relevante trykkmetodene.

I tillegg til sine vanlige komponenter, må blekket inneholde et ledende materiale for å lede elektrisitet (Kipphan 2001, s. 130). Det ledene stoffet er enten polymer eller metall. Metall leder bedre enn polymer, og derfor foretrekkes dette. Ved bruk av metall, gjelder det å velge det metallet som leder elektrisitet bra, men som heller ikke er dyrt å produsere (Perelaer mfl. 2010, s. 8447).

Blekk og metaller

Det vanligste innen trykket elektronikk, er at blekket inneholder metall, og da enten gull eller sølv. Av disse to er sølv det mest brukte, hovedsakelig på grunn av en litt lavere pris enn gull (Perelaer mfl. 2010, s. 8447). Begge metallene er edle metaller som har relativt god ledeevne og som ikke skaper noen problemer i forhold til oksidering i luft (Berger 2008).

Ulempen med gull og sølv, er at det fort blir dyrt å bruke hvis man virkelig vil utnytte potensialet til å trykke billig elektronikk (Berger 2008). Områdene det forskes på omhandler å klare å bruke billigere metaller som også leder elektrisiteten bedre. Spesielt gjelder dette kobber, aluminium og nikkel (Berger 2014a). Utfordringen med slike ikke-edle metaller er at de er ustabile og oksiderer lett i luft. For å kunne utnytte potensialet innen trykkbar elektronikk fullt ut, trengs det blekk som er stabilt uansett

omgivelser (Berger 2008).

Spesielt aktuelt er hvilke muligheter det er til å bruke kobber i stedet for gull eller sølv. Kobber er både billigere og leder bedre, men det er vanskelig å trykke kobber fordi dette oksiderer i kontakt med luft. Det som har vært prøvd ut, er å trykke med kobber i et rom uten oksygen og heller med nitrogen, for så å dekke trykksaken med et lag av enten organisk polymer, alkene chains, amorf (strukturløs) karbon / karbon-baserte materialer, silisium eller andre metaller, eller uorganiske materialer. Dersom det legges et slik lag over, forhindres oksideringsprosessen. Det viser seg også at kobberet leder godt selv med dette beskyttelseslaget (Magdassi, Grouchko og Kamyshny 2010, s. 4626–4628). En måte å stabilisere på, er å legge på et lag med grafén (karbon). Dette ser ut til å kunne stabilisere ikke-edle metaller (Berger 2008; Luechinger, Athanassiou og Stark 2008).

Med ink-jet som trykkmetode er det flere muligheter når det kommer til hva som kan være de ledende bestanddelene i blekket. Både nanopartikler, organiske metallkomponenter eller ledende polymer kan brukes. Men det gjelder her også at nanopartikler med metall ser ut til å lede elektrisiteten best (Berger 2014).

Viskositet

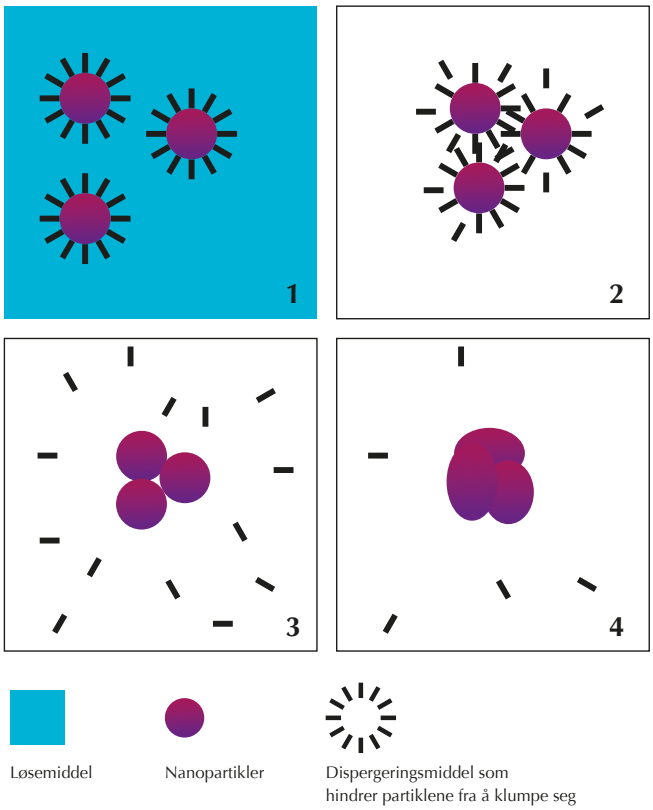
Viskositet har med blekkets tykkelse og flytegenskaper å gjøre (Berger 2013; Thai og Tupe 2011). Dette er en faktor som i stor grad bestemmer hvilke trykkmetoder som kan brukes og henger nøye sammen med hvilket substrat det trykkes på.

Sett i sammenheng med at de mest egnede substratene har en overflate med lav eller ingen absorpsjon, må blekket ha lav viskositet, altså være nokså tyntflytende. Blekk med lav viskositet bruker kortere tid på å tørke. Et blekk med høy viskositet, slik det brukes i offset, er mer seigtflytende og bruker lenger tid på å tørke eller trekke inn i substratet. Dette er derfor problematisk å bruke når det skal trykkes på ikke-absorberende substrater. Derimot er blekk som tørker ved å oksidere i luft mer praktiske for trykk på ikke-absorberende substrater (Kipphan 2001, s. 138).

Ink-jet og gravure er de to metodene som har det mest tyntflytende blekket, og dette er en viktig årsak til at disse to trykkmetodene fremheves som de mest egnede for å trykke elektronikk (Kipphan 2001, s. 131).

Sintring: sammenbinding og herding

Et essensielt steg for å få nanopartikler til å lede elektrisitet, er at de må smeltes sammen. Tidligere har dette vært en av utfordringene med å bruke nanopartikler for å få disse til å smelte sammen. Det holder ikke å bare trykke med blekk som inneholder nanopartikler. For at disse skal feste seg sammen med hverandre, må hele trykksaken varmes opp slik at nanopartiklene i blekkdråpene smelter sammen. De må med andre ord herdes eller bindes sammen for å kunne lede elektrisitet (Perelaer mfl. 2010, s. 8447). Dette foregår ved hjelp av sintring.



1. Nanopartikler i fordelt i løsemiddel
2. Fordamning av løsemiddel i varme
3. Oppløsning av andre tilsetningsstoffer
4. Sintring eller sammenbinding av nanopartiklene

Sammensmelting av nanopartikler i blekk. Illustrasjon: Cecilia Breivold

Det er viktig at sammenbindingstemperaturen ikke overstiger substratets smeltepunkt. Polymersubstrater tåler ikke temperaturer på over 150°C, noe som ofte overstiges og kan skape problemer med å bruke slike substrater (Sridhar, Blaudeck og Baumann 2011).

Nanopartikler har da riktignok nokså lav smeltetemperatur (Kang mfl. 2010, s. 1213). Nå har det blitt slik at sintring av nanopartiklene kan foregå på temperaturen under 100°C, noe som gjør at verken papir eller plastikk tar skade av denne lave temperaturen, men likevel varmt nok til at partiklene gjennomgår de nødvendige forandringene.

Vanninnhold i blekk har betydning for temperaturen hvor sintring skjer. Mindre vann betyr mye lavere sammenbindingstemperatur – helt ned i 80°C. Dette igjen kan jo da være en fordel med tanke på bruk av substrater (Perelaer mfl. 2010, s. 8448). Ut fra dette gir det seg selv at offset som bruker vann i trykkprosessen derfor er mindre egnet enn trykkmetoder uten bruk av vann.

Det kan også være nyttig å vite at jo mindre størrelse man klarer å trykke eller færre lag med blekk, jo lavere temperatur trengs det for å herde trykksaken (Kang 2010, s. 1215). Avveiingen må dermed tas i forholdet mellom herdetid og temperatur kontra hvor godt elektrisiteten skal ledes.

Ulike blekktyper fra ulike produsenter har også sine egne egenskaper som krever ulike metoder for å herde eller binde sammen partiklene i blekket. Dermed kan både herdetemperaturen og tiden som trengs, variere mellom ulike blekkprodusenter.

Nøyaktighet og flerlagstrykk

En utfordring for å få til å trykke elektronikk, er kravet til nøyaktighet. Spesielt for ink-jet kan det være vanskelig å få til nøyaktig plassering av alle blekkdråpene (Subramanian 2012). I vanlig trykk er dette et mindre problem fordi det menneskelige øyet ikke

ser små glipper eller hull i trykket. Når det skal trykkes elektronikk blir dette derimot mer prekært og et stort problem, fordi kretsen blir brutt dersom nøyaktigheten ikke er stor nok og blekket ikke produserer en helt sammenhengende linje (Clark 2010, s. 4).

Trykt elektronikk leder elektrisiteten noe dårligere enn tradisjonell elektronikk fremstilt av silikon. Dette henger sammen med tykkelsen på linjene som trykkes. Tykkere linjer øker sin ledeevne på bekostning av økt materialforbruk og produksjonstid (Perelaer mfl. 2010, s. 8446). Det må foretas en avveiing av hva som er den mest ideelle tykkelsen på en linje som skal lede elektrisitet.

Tykkelsen på trykket må verken være for tynn eller tykk. Med få trykk er det fare for at linjen som leder elektrisiteten har hull i seg som gir en åpen krets. Hvis det derimot trykkes flere ganger, reduseres faren for at slike hull skal oppstå. Derimot er det en mulighet for at det dannes sprekker som dermed skaper brudd i kretsen på denne måten. Det er vanskelig å anta hvor mange trykk som er det mest optimale, men med flere enn 10 trykk, øker sjansen for sprekker betraktelig (Kang 2010, s. 1215–1219).

Selv om det ser ut til at det kun er nødvending med ett trykk for å få enklere elektroniske komponenter til å fungere, trenges det for å trykke transistorer og halvledere trykk i flere omganger. Her øker kravet til nøyaktighet for å få de ulike lagene til å legge seg riktig oppå hverandre. Er det mispas mellom trykkene vil det ikke ledes elektrisitet. En utfordring her er også at løsemiddelet i blekket kan løse opp det laget som allerede er trykket.

Substrater

Substrater har ulike egenskaper som påvirker hvordan blekket oppfører seg i kontakt med underlaget og dermed også hva som kan brukes for å trykke elektronikk. Innenfor feltet med trykket elektronikk har det blitt testet å trykke på et flere ulike substrater. Både papir, plast, glass, gummi, bomull og glass har blitt prøvd ut (MIT Technology Review 2013).

Papir er det vanligste substratet innen trykk. Papir absorberer blekket, noe som fører til at blekkdråpene sklir noe utover. Dette kan skape noen problemer dersom blekkdråpene absorberes så mye at de ikke får den formen som er nødvendig for å lede elektrisitet.

Derimot kan det virke som at papir med en jevnere, bestrøket overflate er mer egnet. På glanset fotopapir er det blitt testet å trykke RFID-brikker med vellykket resultat (Magdassi, Grouchko og Kamyshny 2010, s. 4634). Papir med lav grad av gjennomtrengelighet og høy grad av porøsitet ser ut til å lede elektrisitet bedre (Wood mfl., s. 7).

Plastikk fremheves gjerne som det mest velegnede substrater. Dette er svært fleksibelt og endrer ikke fasong eller størrelse for blekket som blir påført. Fleksibiliteten i plastikk gjør det mulig å trykke lette, tynne og fleksible elektroniske produkter på et transparent

underlag (Berger 2014b).

Generelt anses ikke-absorberende substrater som de mest egnede for trykket elektronikk (Subramanian 2012). Ikke-porøse substrater eller ikke-absorberende substrater stiller andre krav til blekk enn absorberende. Siden disse substratene ikke trekker til seg blekket, må blekket være tyntflytende og tørke raskt. Dermed kan det med bruk av disse substratene være vanskeligere å kontrollere hvordan blekket oppfører seg i kontakt med underlaget (Thackray og Hindagolla).

Trykkmetode	Styrke	Svakhet
GRAVURE	▪ Blekk med lav viskositet ▪ Høy oppløsning ▪ Hurtig	▪ Missing dots ▪ Dyrt å fremstille trykksylinderne
INKJET	▪ Blekk med lav viskositet ▪ Digitaltrykk ▪ Kan trykke på mange substrater	▪ Noe lav oppløsning ▪ Langsom
OFFSET	▪ Høy oppløsning	▪ Blekk med høy viskositet ▪ Vann i trykkeprosessen ▪ Punktøkning
FLEKSOGRAFI	▪ Kan trykke på mange substrater	▪ Lav oppløsning med utdradde kanter (fleksokanten)
SILKETRYKK	▪ Kan trykke på mange substrater ▪ Blekk med lav viskositet	▪ Lav oppløsning

En mulighet som fremheves er å bruke plastikk til å trykke elektronikken på, før denne påsettes andre gjenstander som har substrater som er lite egnet til å trykke elektronikk på eller som har en fasong som vanskeliggjør det å trykke direkte på gjenstanden. Å bruke plastikk kan være en måte for å sikre et godt trykk på et substrat som det er enkelt å trykke på siden plastikk er fleksibelt, tynt og kan være transparent. Dermed kan plastikk med trykket elektronikk nesten usynlig settes på gjenstander uansett fasong og størrelse (Nanowerk 2011).

Tabell 2: Oppsummering av trykkmetodenes styrker og svakheter

Bruk av trykt elektronikk i et framtidsperspektiv

Det kan være vanskelig å fastslå helt eksakt hvordan trykket elektronikk kommer til å brukes i framtiden. Men sett utfra den økende andelen forskning og stadig forbedringer som øker potensialet, kan det virke som trykkbar elektronikk er et produkt det er verdt å satse på. Mulighetene er mange både for å produsere produkter som øker sikkerheten til folk (medisiner), forenkler operasjoner innen logistikk og ved bruk på pakninger og emballasje. Dette anser vi som de mest relevante bruksområdene.

Et konkret eksempel på relevant bruk av trykt elektronikk i fremtiden, er smart labeling. Smart labeling går ut på å trykke elektronikk på tynne, gjennomsiktige og fleksible (thin film) filmer. Slik smart labeling kan for eksempel gjøre at man slipper datomerking, fordi elektronikken på matvaren selv registrerer omgivelsene og hvordan disse påvirker holdbarheten (Butler 2003). Som eksempelet med smart labeling på matvarer viser, vil dette føre til mer trygghet for brukerne, samtidig som arbeidet med å gå gjennom datovarer reduseres og mat ikke trenger å kastes før det faktisk er dårlig.

Oppsummering og konklusjon

Vi har i denne rapporten sett at det ligger et stort potensiale i å utnytte trykketeknologien for å produsere elektroniske komponenter. Dette er både kostnadseffektivt og hurtig, og bruksområdene er mange. Foreløpig foregår mye på forskningsstadiet. Utfordringen gjelder spesielt at trykk ikke leder elektrisk like godt som silikonbasert elektronikk (Chang, Ge og Sanchez-Sinencio 2012, s. 582).

I forhold til trykking i dag er det fremdeles noen utfordringer som kan skape litt problemer. Spesielt gjelder dette å produsere blekk som er stabilt og leder godt. Trykkemessig kan det mest anvendelige substratet se ut til å være plastikk – gjerne gjennomsiktig – for så å sette dette på papiret, emballasjen eller andre materialer (Harrop 2011b). Det viktigste er likevel at oppløsningen på trykket er høyt og at blekket har lav viskositet. Disse kravene gjør at ink-jet og gravure er de beste trykkmetodene.

Til tross for at elektrisiteten ledes noe dårligere, er den lave produksjonsprisen en svært stor fordel sett i forhold til tradisjonell fremstilling. Dette åpner for at billigproduserte elektroniske komponenter kan tas i bruk i mye større grad enn det er i dag og implementeres i eksisterende produkter. Trykket elektronikk er foreløpig ikke et stort kommersielt marked, men mulighetene er absolutt til stede. Det er også flere større aktører på banen enn det tidligere har vært, og produktene som begynner å ta form er mildt sagt imponerende. Spesielt ligger det et potensiale innen logistikk og emballasjedesign. Men også det å trykke solceller er et område som anses som svært relevant bruksområde.

Referanser

Berger, Michael (2008). *Low-cost nanotechnology substitute for gold and silver in printable electronics* [online]. URL: http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=7705.php (17.03.2014)

Berger, Michael (2013). *Inkjet printing of graphene for flexible electronics* [online]. URL: http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=31868.php (17.03.2014)

Berger, Michael (2014a). *Conductive nanomaterials for printed electronics applications* [online] Nanowerk. URL: http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=34566.php (17.03.2014)

Berger, Michael (2014b). *Nanopaper optimized for solar cells* [online]. URL: http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=34078.php (17.03.2014)

Bonsor, Kevin *How Printable Computers Will Work* [online]. URL: http://computer.howstuffworks.com/printing-computer1.htm (06.04.2014)

Bonsor, Kevin og Wesley Fenlon *RFID Tags Past and Present* [online]. URL: http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/high-tech-gadgets/rfid2.htm

Bradley, David (2013). *OLEDs ditch the heavy metals* [online]. URL: http://www.rsc.org/chemistryworld/2013/06/oleds-replace-heavy-metals-smart-phones (30.03.2014)

Bush, Steve (2014). *L+B: Cree tight-lipped about 300 lm/W record* [online]. URL: http://www.electronicsweekly.com/news/general/lb-cree-tight-lipped-300-lmw-record-2014-03/ (30.03.2014)

Butler, P. (2003). *Smart Packaging - Intelligent Packaging for Food, Beverages, Pharmaceuticals and Household Products* [online]. URL: http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2152 (16.03.2014)

Chandler, Nathan *What's the difference between RFID and NFC?* [online]. URL: http://electronics.howstuffworks.com/difference-between-rfid-and-nfc.htm (06.04.2014)

Chang, J., Tong Ge og E. Sanchez-Sinencio (2012). Challenges of printed electronics on flexible substrates. I: *IEEE Xplore* [online], s. 582–585. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6292087&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F6276898%2F6291930%2F06292087.pdf%3Farnumber%3D6292087 (17.03.2014)

Clark, Donna Ariel (2010). *Major Trends in Gravure Printed Electronics*. California: California Polytechnic State University

Daniel, Jurgen *Printed Electronics: Technologies, Challenges and Applications* [online] Palo Alto Research Center. URL: https://http://www.parc.com/content/attachments/printed-electronics-technologies.pdf (17.03.2014)

Den norske emballasjeforening *Trykk* [online]. URL: http://www.emballasjeforeningen.no/trykk

Dyreidentitet *ID-merking* [online]. URL: http://www.dyreidentitet.no/idmerking.html (30.03.2014)

Fehrenbacher, Katie (2013). *A new battery that could revolutionize wearables* [online]. URL: http://gigaom.com/2013/01/08/a-new-battery-that-could-revolutionize-wearables/ (06.04.2014)

Gilleo, Ken (2003). *The Circuit Centennial* [online]. URL: http://www.et-trends.com/files/Circuits_100Years.pdf (06.04.2014)

Hanlon, Mike (2005). *Breakthrough in printed electronics* [online]. URL: http://www.gizmag.com/go/4749/ (06.04.2014)

Harrop, Peter (2011a). *Printed electronics widens its scope* [online] Nanowerk. URL: http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=20143.php (17.03.2014)

Harrop, Peter (2011b). *The rise of flexible electronics* [online]. URL: http://www.nanowerk.com/news/newsid=20339.php (17.03.2014)

Hrehorova, E. mfl. (2011). Gravure Printing of Conductive Inks on Glass Substrates for Applications in Printed Electronics. I: *Journal of Display Technology* [online], 7(6). URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5579994&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5579994 (31.03.2014)

Johansson, Kaj mfl. (2011). *A Guide to graphic print production*. Hoboken, N.J.: Wiley

Kang, Jin Sung mfl. (2010). Inkjet printed electronics using copper nanoparticle ink. I: *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* [online], (21), s. 1213–1220. URL: http://download.springer.com/static/pdf/535/art%3A10.1007%2Fs10854-009-0049-3.pdf?auth66=1396725188_74327f0dae047b70298b7acd06b4f17e&ext=.pdf (16.03.2014)

Kang, Jonathan (2013). *In microprocessors, what does 32, 45 and 22 nanometer technology mean and how does it relate to efficiency of a chip?* [online]. URL: http://www.quora.com/In-microprocessors-what-does-32-45-and-22-nanometer-technology-mean-and-how-does-it-relate-to-efficiency-of-a-chip (30.03.2014)

Kirknes, Leif Martin (2012). *Her betaler de med NFC i dag* [online]. URL: http://www.idg.no/computerworld/article236654.ece (06.04.2014)

Kipphan, Helmut (2001). *Handbook of print media: technologies and production methods*. Berlin: Springer

Knauer, Karl (2013). «The leader of the pack». *OPE*, (2), s. 10–11

Konica Minolta *Flexible OLED lighting panel* [online]. URL: http://www.konicaminolta.com/oled/research/flex_oled.html (30.03.2014)

Konica Minolta (2014). *Konica Minolta developed the world's most efficient OLED panel at 131 lm/W* [online]. URL: http://www.oled-info.com/konica-minolta-developed-worlds-most-efficient-oled-panel-131-lmw (30.03.2014)

LG Chem *OLED Light* [online]. URL: http://www.lgchem.com/global/green-energy/oled-lighting (30.03.2014)

Luechinger, Norman A, Evagelos K Athanassiou og Wendelin J Stark (2008). Graphene-stabilized copper nanoparticles as an air-stable substitute for silver and gold in low-cost ink-jet printable electronics. I: *Nanotechnology* [online], 19(44). URL: http://iopscience.iop.org/0957-4484/19/44/445201/pdf/0957-4484_19_44_445201.pdf

Magdassi, Shlomo, Michael Grouchko og Alexander Kamyshny (2010). Copper Nanoparticles for Printed Electronics: Routes Towards Achieving Oxidation Stability. I: *Materials* [online], 3(9). URL: http://www.mdpi.com/1996-1944/3/9/4626

MIT Technology Review (2013). *Liquid Metal Printer Lays Electronic Circuits on Paper, Plastic, and Even Cotton* [online]. URL: http://www.technologyreview.com/view/521871/liquid-metal-printer-lays-electronic-circuits-on-paper-plastic-and-even-cotton/ (17.03.2014)

NanoMarkets (2012). *Medical Diagnostics: An Opportunity for Printed Electronics* [online]. URL: http://nanomarkets.net/blog/article/medical_diagnostics_an_opportunity_for_printed_electronics (06.04.2014)

Nanowerk (2011). *Inkjet printing of single-crystal films* [online]. URL: http://www.nanowerk.com/news/newsid=22501.php (17.03.2014)

Novalia (2012). *Printed poster* [online]. URL: http://www.uk-cpi.com/case-studies/novalia-printed-poster/ (23.03.2014)

Perelaer, Jolke mfl. (2010). «Printed electronics: the challenges involved in printing devices, interconnects, and contacts based on inorganic materials». I: *Journal of Materials Chemistry,* 20(39), s. 8446–8453

Savastano, David (2013). *Thin Film Signs Commercial Deal for Brand Protection Market* [online]. URL: http://www.printedelectronicsnow.com/articles/2013/03/thin-film-signs-commercial-deal-for-brand-protecti (06.04.2014)

Sekitani, Tsuyoshi mfl. (2006). *A large-area flexible wireless power transmission sheet using printed plastic MEMS switches and organic field-effect transistors* [online]. URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04154183&tag=1 (06.04.2014)

Shahan, Zachary (2014). *Which Solar Panels Are Most Efficient?* [online]. URL: http://cleantechnica.com/2014/02/02/which-solar-panels-most-efficient/ (06.04.2014)

Shimpi, Anand Lal og Gary Key (2008). *The Dark Knight: Intel's Core i7* [online]. URL: http://www.anandtech.com/show/2658 (30.03.2014)

Sridhar, Ashok, Thomas Blaudeck og Reinhard R. Baumann (2011). *Inkjet Printing as a Key Enabling Technology for Printed Electronics* [online]. URL: http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/material-matters/inkjet-printing-as.html (16.03.2014)

Subramanian, Vivek (2012). *Printed Electronic Systems: the Confluence of Printing and Semiconductors* [online] YouTube. URL: https://http://www.youtube.com/watch?v=806JGh4LPSM (17.03.2014)

Sutija, Davor (2012). *Demo Presentation of Think Thin* [online]. URL: http://www.thinfilm.no/news/videos/#videoWTN (06.04.2014)

Thackray, Mark og Suraj Hindagolla *Printing on Non-porous Substrates with Thermal Ink Jet* [online]. URL: http://www.printedelectronicsnow.com/whitepapers/download/22/IMTECH.pdf (31.03.2014)

Thai, Cindy og Rute Tupe (2011). *For your print information: Ink viscosity* [online]. URL: http://graphicartsmag.com/articles/2011/02/for-your-print-information-ink-viscosity/ (16.03.2014)

Thinfilm (a) *From printed memory to integrated printed electronic systems* [online]. URL: http://www.thinfilm.no/technology-innovation/technology/ (06.04.2014)

Thinfilm (b) *Thinfilm Memory™ adds rewritable data to virtually any object.* [online]. URL: http://www.thinfilm.no/products/memory/ (06.04.2014)

UP Media Group (2012). *Paul Eisler* [online]. URL: http://pcdandf.com/cms/halls/251-paul-eisler-pcb-fabrication-hall-of-fame/9032-paul-eisler (19.03.2014)

Vert, Michel mfl. (2012). *Terminology for biorelated polymers and applications* [online]. URL: http://pac.iupac.org/publications/pac/pdf/2012/pdf/8402x0377.pdf (06.04.2014)

Vevle, Geir (2012). *Coop og Tine gjør helautomagisk varemottak ved hjelp av RFID* [online]. URL: http://www.hrafn.com/2012/12/hrafn-coop-og-tine-gjor-helautomagisk-varemottak-ved-hjelp-av-rfid/

Wood, Laura K. mfl. *Paper Substrates and Inks for Printed Electronics* [online]. URL: http://www.wmich.edu/pci/faculty/Publication/fleming/PiraPaper.pdf (17.03.2014)

Xennia Technology *Inkjet Technology & Printed Electronics* [online]. URL: http://www.xennia.com/knowledgecentre/inkjet-knowledge-feed/2013/inkjet-technology--printed-electronics (23.02.2014)

Xerox *Xerox Scientists Develop Silver Ink to Print Plastic Circuits* [online]Xerox. URL: http://www.xerox.com/innovation/news-stories/silverbullet/enus.html (16.03.2014)