

TISKANA ELEKTRONIKA, OSNOVA EMBALAŽE PRIHODNOSTI

PRINTED ELECTRONICS, BASIS FOR FUTURE PACKAGING

Matija MRAOVIĆ^{1,2}, Tea TOPLIŠEK¹, Anton PLETERŠEK²

IZVLEČEK

Področje tiskane elektronike je interdisciplinarno področje, ki je močno povezano s konceptom pametne embalaže. Z njim omogočimo sledljivost in zanesljivost izdelka skozi celotno zgodovino, to je od proizvodnje, transporta in skladiščenja, do končnega prevzema izdelka, kot tudi spremljanje mehanskih in kemijskih vplivov iz okolja na embalažo oziroma njeno vsebino. Zaradi neprekinjene, popolnoma avtomatizirane masovne proizvodnje elektronike s postopki tiskanja (globoki tisk, fleksotisk, ofsetni tisk, sitotisk) in premazovanja na upogljive podlage z načinom neprekinjenega tiska z zvitka na zvitok (angl. reel to reel – R2R) in z minimalnimi posegi v sedanje proizvodne procese, predstavlja tiskana elektronika največji potencial za papirno in kartonsko embalažo.

Ključne besede: tiskana elektronika, prevodno črnilo, pametna embalaža, električni senzor, vlaga, temperatura, plin, RFID, NFC.

ABSTRACT

Printed electronics is a multidisciplinary field that is closely connected with the concept of smart packaging. Beside traceability and reliability of the products throughout the history, i.e. from production, transport and storage to final delivery it can also track the various parameters in the surrounding environment that can affect packaging or the product inside the package. Printed electronics shows the biggest potential in paper and board packaging due to continuous, automatic massive production of printed electronics (rotogravure, flexo, offset and screen printing) and coating to flexible substrates in reel-to-reel technology and minimal interference into production process.

Key words: printed electronics, conductive ink, smart packaging, electric sensor, humidity, temperature, gas, RFID, NFC.

1 UVOD V TISKANO ELEKTRONIKO

Tiskana elektronika (angl. printed electronics) predstavlja novo revolucijo na področju izdelave in načrtovanja elektronike, omogoča drastično nižanje cen in poenostavitev izdelave električnih vezij in komponent. Z razvojem prevodnih, polprevodnih in neprevodnih črnih je elektronske sisteme možno izdelati z uporabo tiskarskih tehnik in orodij.

Ločimo tri stopnje tehnologije: wafersko, tiskano in hibridno (slika 1) [1]. Waferska stopnja se od klasične tehnologije izdelave polprevodniških integriranih vezij in mikroelektronike (vakuumsko oslojevanje, fotolitografija, jedkanje) razlikuje le v uporabljenih podlagah (polimerni filmi in steklo namesto silicija). Prednost waferske stopnje je visoka ločljivost, medtem ko zaradi visoke cene in nezdržljivosti z masovno proizvodnjo, ki omogoča visokohitrostni tisk bodisi s pole na polo (angl. sheet-to-sheet) ali z zvitka na zvitok, ni primerna za papirno in kartonsko embalažo. Tiskana stopnja predstavlja neprekinjeno, popolnoma avtomatizirano masovno proizvodnjo elektronike s

postopki tiskanja (globoki tisk, fleksotisk, ofsetni tisk, sitotisk) in premazovanja na upogljive podlage (plastična folija, papir) s tiskom na tiskarskih rotacijah. Slabost tiskane stopnje je slabša ločljivost v primerjavi z wafersko stopnjo, prednost pa njena cena. Zaradi masovne proizvodnje elektronskih komponent in naprav so potrebne večje količine surovin, nujno pa je tudi povpraševanje po izdelkih. Hibridna stopnja je presek obeh stopenj, ki za podlago uporablja le upogljive, fleksibilne materiale.

Tiskani elektronski ceno določajo prevodna črnila. Danes se največ uporablja črnilo s srebrovimi nanodelci, ki omogoča dobro prevodnost, uporabno je v vseh

tiskarskih tehnikah, zelo preprosto za sušenje (infrardeče ali vroč zrak) in, kar je najbolj pomembno, nanodelci v črnilu ne oksidirajo. Poznamo tudi črnilo na zlati osnovi, ki je dražje, in cenejšo alternativo, črnilo z bakrenimi nanodelci, ki pa zahteva lasersko ali stroboskopsko fotosušenje, ki je zelo dovzetno za oksidacijo. Poleg omenjenih so na trgu tudi črnila na ogljikovi osnovi in različna polimerna črnila (prevodna, polprevodna in dielektrična), ki so namenjena posebnim tiskarskim tehnikam. Vodilni podjetji na področju črnih za namene tiska elektronike sta DuPont in SunChemical [2, 3].

Velik izziv trenutno predstavlja stik med natisnjenimi prevodnimi vezicami in



Slika 1: Stopnje tiskane elektronike: (a) waferska, (b) tiskana in (c) hibridna stopnja [1]
Figure 1: Levels of printed electronics technology: (a) wafer, (b) printed and (c) hybrid [1]

diskretnimi elektronskimi elementi. Razvoj je usmerjen v prevodna lepila (epoksi) in prevodne samolepilne folije, kot tudi na vroči tisk slojev, namenjenih stiku s čipom, na katere je pozneje možno ročno spajkati elemente.

Tiskana elektronika danes zajema fotovoltaike, upogljive displeje, OLED osvetlitev, elektronske komponente in naprave ter integrirane pametne sisteme (različni električni senzorji z RFID podporo). Do leta 2014 se pričakuje, da bodo pametne sisteme sestavljali matrika senzorjev, napreden tiskan spominski modul, izboljšane tiskane baterije in komponente za brezžično interakcijo.

2 PAMETNA EMBALAŽA

Koncept pametne embalaže uvrščamo v hibridno stopnjo zaradi čipa za RFID komunikacijo in tiskanih elementov. Glavna funkcija embalaže je varovanje izdelka, nosi pa lahko tudi navodila za uporabo in informacije o izdelku ali pa služi kot reklama. Pametni sistem, integriran v embalažo, je uporaben, če ne kar nujen. Nudi zanesljivost, sledljivost, identifikacijo, spremljanje življenjske dobe, ponarejanje, nepooblaščen odpiranje in drugo. Zaradi visoke cene je takšna embalaža še vedno precej neuspešna. S tiskano elektroniko, njeno masovno proizvodnjo, novimi in cenejšimi materiali in procesi pa se odpirajo nove možnosti izdelave in uporabe pametne embalaže.

Pametna embalaža je privlačna tudi zaradi možnosti brezžične komunikacije. Z vgrajenim RFID sistemom je možno avtomatizirano preštevanje artiklov ali spremljanje fizikalnih in kemičnih parametrov na daljavo. Trenutno so takšni sistemi sestavljeni iz tiskane antene in/ali tiskanega senzorja in klasičnega čipa, ki omogoča polno RFID komunikacijo. Primer takšnega čipa je mikroprocesor, SL-900A IC za pametne značke, slovenskega proizvajalca IDS, d. o. o. iz Ljubljane [4]. Gre za sodoben mikroprocesor, ki poleg preproste uporabe RFID komunikacijskega protokola omogoča tudi priklop senzorjev in izvajanje napredne programske kode po meri [5]. Obstajajo tudi tako imenovani chip-less RFID tag-i ali značke, ki so v celoti natisnjeni. Medtem ko je RFID zanimiv za industrijo, velike sisteme (veleblagovnice) in skladišča, je za navadnega potrošnika zanimiva nova tehnologija, imenovana NFC (angl. near field communication), ki v osnovi temelji na RFID standardu in predstavlja nadgradnjo za pametne telefone in naprave. Omogoča brezkontaktno komunikacijo kratkega dosega med aktivnimi napravami in komunikacijo s pasivnimi napravami, ki se napajajo iz radijskega signala aktivne naprave.

3 TISKANI SENZORJI

Z uporabo prevodnih črnin in ustreznimi tiskarskimi tehnikami se elektronske elemente že lahko natisne na papir [6], karton, plastično folijo [7] in druge upogljive podlage, kar je razširilo in pocenilo področje pametne embalaže. Razviti so že senzorji za vlago, temperaturo in plin.

Vlaga in voda povzročata veliko škodo v industriji, gradbeništvu in logistiki, ključnega pomena pa sta tudi za papirno in kartonsko embalažo, zato je spremljanje le-te nujno potrebno. Danes poznamo veliko različnih načinov zaznavanja vlage: (i) mehanski higrometer, (ii) kemični senzor, (iii) SAW (angl. surface acoustic wave) senzor in (iv) električni senzor, ki meri spremembo impedance (kompleksne upornosti) električnega elementa zaradi spremembe vlage. Ta element je lahko upor ali kondenzator.

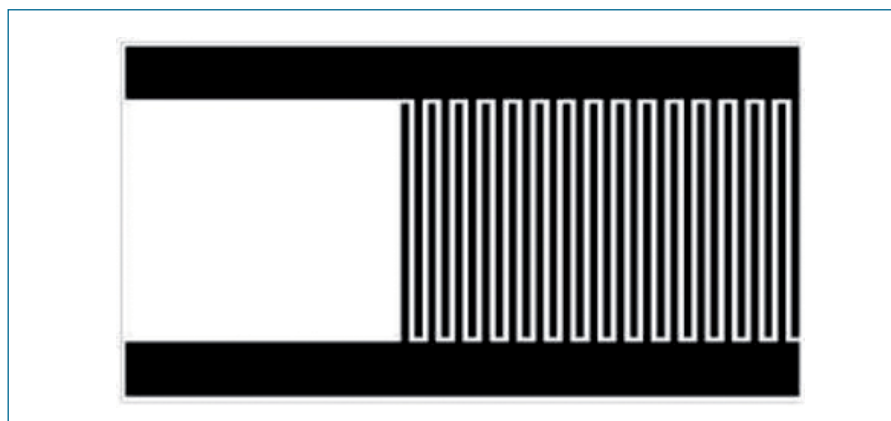
Uporovna tipala temeljijo na spremembi električne upornosti zaradi higroskopsnosti sestavnega materiala. Njihov odziv je logaritemski, kar otežuje interpretacijo signala, pri nizkih vrednostih relativne vlažnosti pa se slabo odzivajo. Prednost je v preprostosti in nižji ceni izdelave. Kapacitivna tipala temeljijo na dejstvu, da se zaradi spremembe vlage mediju spremeni dielektrična konstanta (ϵ), kar se zagna kot sprememba kapacitivnosti. Kapacitivni senzorji vlage imajo linearni odziv, uporabni pa so na celotnem območju relativne vlažnosti.

Postavitev in izdelava senzorja sta odvisni od namena. Senzor je lahko postavljen v notranjih plasteh kartonaste embalaže, kjer meri vsebnost vlage v samem kartonu, lahko pa na zunanji strani, kjer meri relativno vlažnost v okolju. Unander in Nilsson predlagata izvedbo z obliko glavnika (angl. comb sensor) (slika 2), ki je standardna in jo je mogoče zaslediti tudi v literaturi [8]. Senzor je izdelan s prevodnim črnilom v tehniki sitotiska (angl. screen printing). Med njim in podlago je nanosena plast dielektrične barve, ki pa

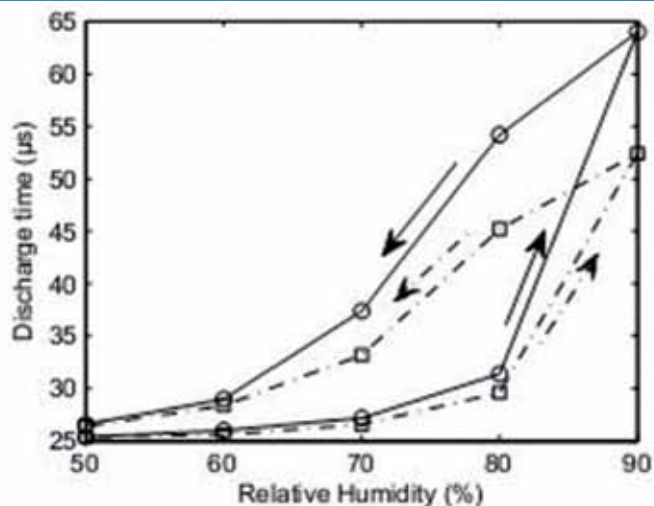
za papir in karton ni nujna, in sicer zaradi izjemno visoke volumnske in površinske upornosti papirja ($1014 \Omega - 1016 \Omega$) [9].

Unander in Nilsson sta za merjenje kapacitivnosti izbrala metodo praznjenja kondenzatorja. Princip merjenja vsebnosti vlage v podlagi temelji na spremembi upornosti podlage in posledično spremembi časovne konstante kondenzatorja oziroma sklopa kondenzatorjev, ki ga tvorijo kapacitivnosti med prevodnimi deli, tiskanimi s prevodnim črnilom (elektrode), dielektrikom, podlago in zrakom. Za podlago sta vzela valoviti karton in ugotovila, da se z večanjem vsebnosti vlage večja prevodnost podlage, posledica katere je višja izmerjena kapacitivnost. Relativno vlažnost sta v komori višala od 50 % do 90 % in nazaj. Opazna je histereza, saj izdelki iz celuloze hitreje absorbirajo vlago, kot pa jo oddajajo. Unander in Nilsson sta za podlago uporabila tudi dielektrik (na primer plastično folijo) in merila relativno vlago v zraku. Bistvena razlika med njima je v merjeni veličini, saj slednja meri upornost med prsti glavnika in ne kapacitivnosti, senzor pa je uporaben v območju nad 50 % relativne vlažnosti.

Courbat in skupina s politehniške fakultete iz Lozane so se ukvarjali s senzorji, tiskanimi z digitalno, kapljično (angl. ink-jet) tehnologijo, za podlago pa so uporabili papir [6]. Iz njihovega dela lahko zaključimo, da sta tiskarski postopek in proces sušenja prevodnega črnila zelo kompleksna, saj je odzivnost celotnega elektronskega sistema odvisna prav od navedenih postopkov. Njihovi senzorji so namenjeni spremljanju relativne vlage v okolici (slika 3). Za eksperiment so natisnili dva kondenzatorja v obliki glavnika na papir, prilagojen za tisk elektronike s kapljično tehnologijo tiska in meritev izvajali diferencialno. Referenčni senzor so premazali s celuloznim-acetat-butiratom (CAB), ki je bil zaradi ločenosti od okolja občutljiv le na vlažnost podlage. Z diferencialno ΔC kapacitivno v digitalno konverzijo so nato odšteli prispevek



Slika 2: Primer tiskanega kapacitivnega senzorja z obliko glavnika [8]
Figure 2: Printed capacitive sensor in the comb form [8]

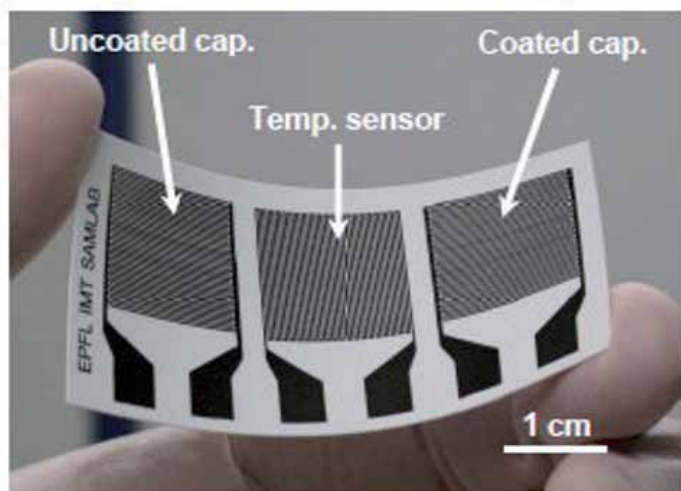


Slika 3: Odziv sensorja v odvisnosti od R. V. za sensor vsebnosti vlage. (□)–testliner, (○)–kraftliner [8]
Figure 3: Sensor for moisture content. Sensor response vs. relative humidity (□)–testliner, (○)–kraftliner [8]

referenčnega sensorja oziroma napako zaradi podlage [10]. S tem so izboljšali selektivnost in linearnost odziva.

Temperaturni sensorji so realizirani v obliki prevodnih linij (slika 4). Z uravnavanjem širine in dolžine linije, debeline nanosa in časa sušenja prevodnega črnila se lahko doseže želeno območje upornosti [6].

Oprea in sodelavci so za zaznavanje plina (n-propanol, etanol) uporabili kombinacijo dveh sensorjev za vlago in temperaturni sensor (slika 5) [10], pri čemer so sensorja za vlago premazali z ustreznima polimeroma (PEUT – polieteruretan, PDMS – polidimetilsiloksan). Z umerjanjem in obdelavo signalov so dosegli iskani odziv.



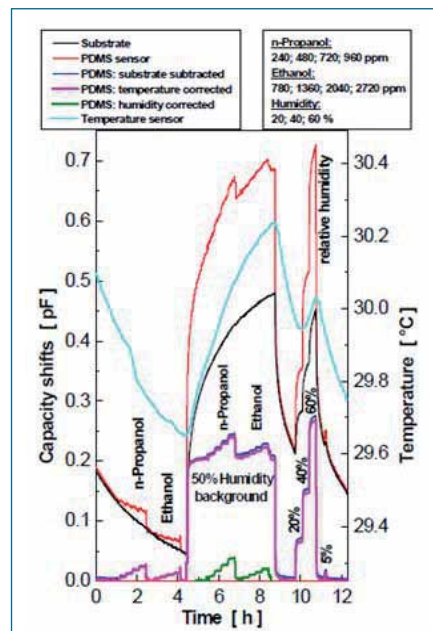
Slika 4: Kapacitivni tipali in temperaturno tipalo natisnjeni na papirju [6]
Figure 4: Capacitive and temperature sensors printed on paper [6]

Preglednica 1: Upornost prevodne barve SunChemical CRSN2442 Conductive Silver [11]
Table 1: Resistance of the conductive paint SunChemical CRSN2442 Conductive Silver [11]

Sušenje	[mOhm / □]	[μΩ•cm]
40°C / 15 min.	17	43
90°C / 2 min.	32	80
120°C / 2 min.	17	43
120°C / 10 min.	11	28
150°C / 30 min.	10	25

Sprememba upornosti prevodne barve proizvajalca SunChemical v odvisnosti od postopka sušenja je prikazana v preglednici 1. Upornost natisnjene in posušene uporabne linije je odvisna tudi od trenutne temperature okolice. V literaturi je mogoče zaslediti tudi TCR 0,0011 °C⁻¹ [5].

Precej bolj dovršena od zgoraj navedene metode je uporaba nanocevk, kot aktivni del sensorja. Nanocevkje imajo zaradi votlosti veliko površino, odlikujeta jih visoka občutljivost in hitra odzivnost pri zaznavanju plinov. Zaradi vezanja molekul različnih plinov se cevkam spreminja prevodnost, kar se da preprosto meriti.



Slika 5: Signali in postopna obdelava, prikaz luščenja različnih informacij z obdelavo signalov [10]
Figure 5: Signal processing steps [10]

Poznamo enoslojne ogljikove nanocevkje, ki so zaradi odlične električne prevodnosti vodilni material pri izdelavi prozornih prevodnih filmov. Z iznajdbo črnila za kapljični tisk je omogočeno tiskanje enoslojnih ogljikovih nanocevk [12] direktno na podlago, zato je tehnologija postala privlačna tako pri sensorjih kot tudi na drugih področjih.

Pri kapljičnem tiskanju je pomembna priprava črnila, saj lahko dolge ogljikove strukture zamašijo šobo tiskalnika. Yun in skupina iz Koreje so komercialno črnilo 30 minut centrifugirali in nekoliko razredčili, da so se izognili mašnji šobe. Nujen je tudi nadzor nad velikostjo kapljic in časa potovanja kapljic do podlage. Yun poroča o 3-odstotni spremembi upornosti pri izpostavljenosti 100 ppb želenega plina v času 10 minut in do 9-odstotni spremembi pri termično obdelanem sensorju [13]. Takšna občutljivost je nedosegljiva za tiskane sensorje, ki so premazani s polimerom. Zaradi zapletenosti postopka in tudi visoke cene so sensorji z nanocevkami uporabni le v zahtevnih aplikacijah.

4 ZAKLJUČEK

Več kot očitno smo priča nastajanju dobe tiskane elektronike in razvoju na vseh področjih znanosti in tehnologije, ki so s tem povezani. Koncept pametne embalaže tukaj ne zaostaja, lahko bi se celo reklo, da narekuje razvoj naprednejših in vedno cenejših tipal. Vendar so skoraj vse tehnologije, razen dobičkonosnih OLED displejev in do neke mere upogljivih fotovoltaičnih celic, talke svoje visoke cene. Sploh je to odločilni dejavnik pri embalaži, kjer tudi razlika v nekaj centih pomeni

življenje ali smrt, ne glede na prednosti, ki jih novost ponuja.

Prihodnost bo pestra in dela na tem področju je zelo veliko. Tiskana elektronika je izrazito multidisciplinarno področje, ki v glavnem črpa iz elektrotehnike, kemije in tiskarstva. Za kompetentno udejstvovanje je nujna skupina strokovnjakov iz vseh treh glavnih strok. V času finančne krize in varčevalnih ukrepov je še toliko bolj privlačna zaradi majhnega začetnega vložka, primerjano s klasičnimi obrati za izdelavo integriranih vezij in elektronskih naprav.

5 VIRI

[1] Organic and Printed Electronics 4th Edition, OE-A, 2011.

[2] www.mcm.dupont.com, DuPont Microcircuit Materials, avgust 2012.

[3] <http://www.printedelectronicsnow.com/articles/2012/04/the-conductive-ink-market>, september 2012.

[4] www.ids.si/prod4_IDS-SL900A.htm, avgust 2012.

[5] PLETERŠEK, A., SOK, M., TRONTELI, J. Monitoring, control and diagnostics using RFID infrastructure. J. med. syst., 2012, str. 1–7.

[6] COURBAT, J., KIM, Y. B., BRIAND, D. in DE ROOIJ, N.F. Inkjet printing on paper for the realization of humidity and temperature sensors, Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference (TRANSDUCERS), 16th International, 2011, str. 1356–1359.

[7] SUBRAMANIAN, V., CHANG, J. B., MOLESA, S. E., VOLKMAN, S. K. in REDINGER, D. R. Printed transistors and passive components for low-cost electronics applications, International Symposium on VLSI Technology, Systems, and Applications, 2006.

[8] UNANDER, T. in NILSSON, H.-E. Characterization of Printed Moisture Sensors in Packaging Surveillance Applications, IEEE Sensors Journal, August, 2009, vol. 9, 't. 8, str. 922–928.

[9] RUTAR, V. The effect of electrical properties on printing quality and runnability, COST E 32, Workshop, april 2005.

[10] OPREA, A., BARSAN, N., WEIMAR, U., COURBAT, J., BRIAND, D., in DE ROOIJ, N.F. Integrated Temperature, Humidity and Gas Sensors on Flexible Substrates for Low-Power Applications, Sensors, IEEE, 2007, str. 158–161.

[11] SunChemical, CRSN2442 Conductive Silver, september 2011.

[12] Hanwha Nanotech, HANOS ASP-100F, avgust 2012.

[13] YUN, J.-H. Fabrication of Carbon Nanotube Sensor Device by Inkjet Printing, Proceedings of the 3rd IEEE Int. Conf. on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems January 6–9, Sanya, China, 2008.

^{1,2}dr., Inštitut za celulozo in papir Ljubljana
³dr., UL, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana



Podjetje **DIMAS d.o.o.** zastopa vodilnega svetovnega proizvajalca sistemov za **centralno mazanje strojev in naprav** podjetje SKF, ki je v zadnjih letih prevzelo nemško podjetje **WILLY VOGEL**, finsko podjetje **SAFEMATIC**, argentinsko podjetje **CIRVAL** in ameriški **LINCOLN**.



Vsa ta podjetja so **specializirana** izključno za **mazalne sisteme**, integrirana v SKF pa predstavljajo eno izmed SKF petih platform: Mazalni sistemi.

Dejavnost podjetja DIMAS d.o.o.:

- Izbira in izvedba najboljših tehničnih rešitev na področju mazanja različnih proizvodnih in obdelovalnih strojev, transportnih linij, verig, jeklenih vrvi, gradbene in kmetijske mehanizacije in ostalih naprav.
- Še posebej smo usposobljeni za projektiranje, izvedbe, zagone in vzdrževanje vseh vrst mazalnih sistemov v papirništvu.
- Sodelujemo z vsemi slovenskimi papirnicami, prevzemamo in izvajamo večje in velike projekte na ključ tudi izven Slovenije (Nemčija, Avstrija, Hrvaška).



DIMAS, d.o.o.

Seškova cesta 20, 1215 Medvode
Tel: + 386 (0)1 3617 240 | Fax: + 386 (0)1 3617 245
E-mail: info@dimas.si | www.dimas.si