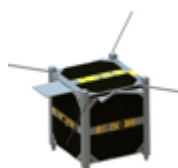


Lepenie solárnych článkov na 1. Slovenský satelit skCUBE

Magyar Martin · Elektrotechnika

01.06.2016



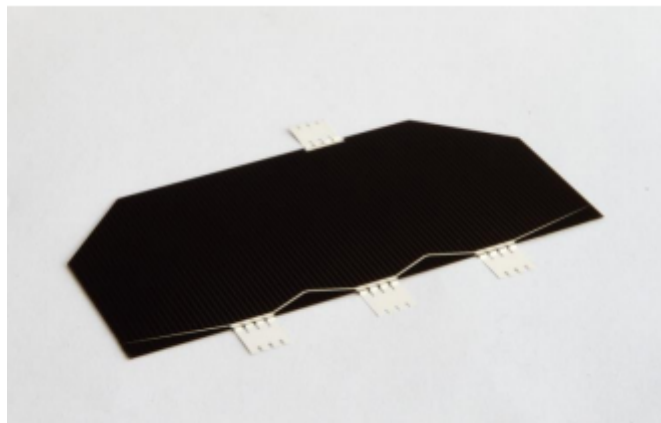
V súčasnej dobe sa stalo fenoménom vypúšťanie malých mikrosatelitov kategórie „Cubesat“ Jedná sa o malé kocky rozmerov 10x10x10cm s hmotnosťou 1kg, ktoré sú použité ako vyvažovacia záťaž rakety s primárnym komerčným alebo vedeckým satelitom. Práve toto určenie umožnilo znížiť náklady do takej miery, že vypustenie takéhoto satelitu sa stalo dostupné aj firmám, univerzitám ale aj skupinám nadšencov. Napriek tejto dostupnosti, sa na slovensku zatiaľ nikto, okrem občianskeho združenia SOSA, takýto satelit postaviť a vypustiť nepokúsil. V tomto článku popíšeme vyriešenie jedného z mnohých technických problémov – lepenie solárnych článkov. Zhrnieme možnosti ktorými sme pri riešení tohto problému prešli a popíšeme spôsob, akým sme problém lepenia solárnych článkov na cubesat skCUBE vyriešili.

1. Úvod

Pretože autori sa pri stavbe prvej slovenskej družice skCUBE [1] rozhodli, že všetky komponenty si navrhnu sami a nepoužijú žiadne nakupované polotovary, bolo nutné pri stavbe identifikovať a prekonať mnoho technických problémov. Od mechanickej konštrukcie cez elektroniku až po softvérové vybavenie. Jednou z takýchto technických výziev bolo aj lepenie solárnych článkov na steny satelitu. Pretože satelit kategórie cubesat [2] pracuje v otvorenom vesmíre bez akejkoľvek ochrany je počas svojej rotácie vystavený extrémnym teplotným cyklom. Na slnečnej strane satelitu môže povrchová teplota stúpnuť až na 40°C a na odvrátenej strane klesnúť až na -30°C [3]. Tieto teploty sa periodicky opakujú pri každom otočení alebo obehu, ktorý trvá približne 90 minút.

2. Možnosti lepenia solárnych článkov

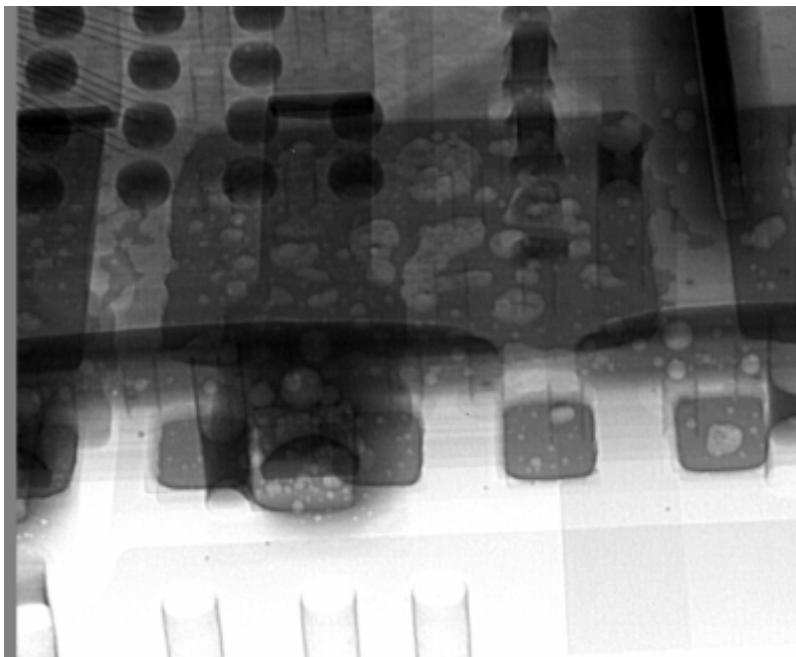
Ako solárne články sú použité vysoko účinné solárne články 3G30A firmy ArurSpace [4]. Tieto články dosahujú účinnosť až 30%. Sú vyrobené ako viacvrstvé, kde každá vrstva premieňa na energiu inú vlnovú dĺžku dopadajúceho svetla.



Obr.1 Solárny článok 3G30A firmy ArurSpace

Pre dobrý prenos tepla naprieč satelitom bolo rozhodnuté, že celá konštrukcia aj bočné steny satelitu budú vyrobené z hliníka. Tomuto rozhodnutiu bolo treba prispôbiť aj spôsob montáže a elektrického pripojenia článkov. Tieto solárne články majú jeden pól na plechových vývodoch a druhý na pokovenej a pozlátenej zadnej strane. Preto sa ponúka možnosť celý solárny článok naletovať cínovou pastou na plošný spoj a ten následne nalepiť na bočnú stenu satelitu, alebo samotný spoj použiť ako bočnú stenu. Toto riešenie má však veľa nedostatkov.

Pri tepelnom cyklovaní prvku, ktorý pozostáva z viacerých vrstiev ktoré majú rôzne tepelné rozťažnosti je dôležité zabezpečiť medzi vrstvami pružný spoj, ktorý rozloží sily pnutia medzi vrstvami. Výsledná cínová vrstva takúto vlastnosť nemá. Navyše pri letovaní veľkých plôch cínovou pastou vznikajú takzvané „Voidy“ - bubliny naplnené plynom z tavidla obsiahnutým v paste. Takýto monoblok by spôsobil vo vákuu a pri daných teplotných cykloch potrhánie len 0,3mm hrubého solárneho článku. Oproti predchádzajúcim nedostatkom nepodstatná, ale predsa len ďalšia nevýhoda je hrúbka pomocného plošného spoja, ktorý zhorší odvod tepla z tenkého solárneho článku a môže spôsobiť jeho prehrievanie a stratu parametrov. O plošnom spoji s hliníkovým jadrom sa neuvažovalo z dôvodu, že pri teplotnom zaťažovaní takéhoto plošného spoja môže dôjsť a v „pozemskej“ praxi aj dochádza k oddeleniu hliníkového základu od tenkej izolačnej vrstvy. Takýto problém by spôsobil stratu napájania satelitu a jeho nefunkčnosť.



Obr.2 „Voidy“ vznikajúce pri letovaní veľkých plôch

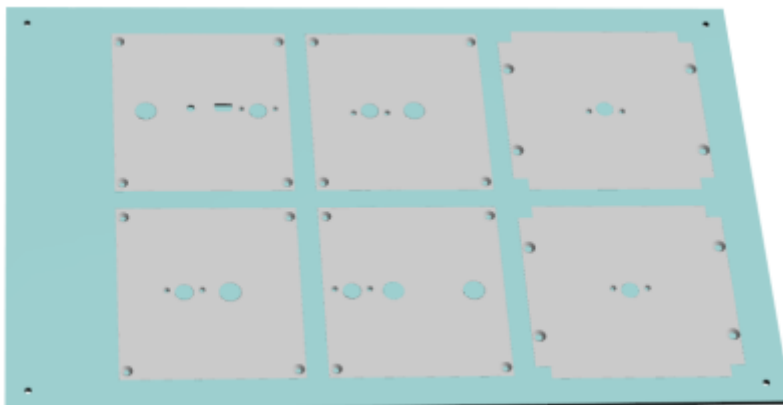
Druhou možnosťou je použiť aj výrobcom odporúčaný spôsob lepenia pomocou dvojzložkového silikónového lepidla „SILASTIC 9161 RTV RUBBER“. Toto lepidlo pozostáva z silikónového elastoméru „Silicone Elastomer SILASTIC 9161 RTV“ a katalyzátora „Catalyst Dow Corning 9162“. Po zmiešaní a vytvrdnutí tohto lepidla vznikne trvalo pružná hmota ktorá je teplotne stabilná od -50 po 250°C a vo vákuu nedochádza k splynovaniu – sublimácii niektorej zo zložiek výslednej hmoty. Táto vlastnosť je absolútne kľúčová pre všetky zložky satelitu a podlieha aj prísnej kontrole pri preberaní satelitu. Uvoľnené plyny by mohli počas letu nosiča skondenzovať a kontaminovať primárny náklad alebo iné cubesaty.

Po technickej stránke je toto riešenie ideálne, má však niekoľko praktických komplikácií pri realizácii. Je potrebné naniesť rovnomernú tenkú vrstvu silikónového lepidla. Do tejto vrstvy presne umiestniť solárny článok tak, aby pod ním neostala vrstva vzduchu a potom zabezpečiť, aby sa vo výveve pri odsávaní vzduchu tieto solárne články nepohli. Jediným spôsobom ako to dosiahnuť, je množstvo prípravkov, ktoré musia byť unikátne pre každú jednu zo šiestich strán satelitu, pretože žiadne zo strán nie sú rovnaké. Postup je znázornený na nasledovných obrázkoch. Ako prvé by bolo potrebné urobiť základňu, do ktorej by sa poukladali opracované hliníkové polotovary bočných stien. Pretože každá stena je iná, nestačil by jeden univerzálny prípravok.



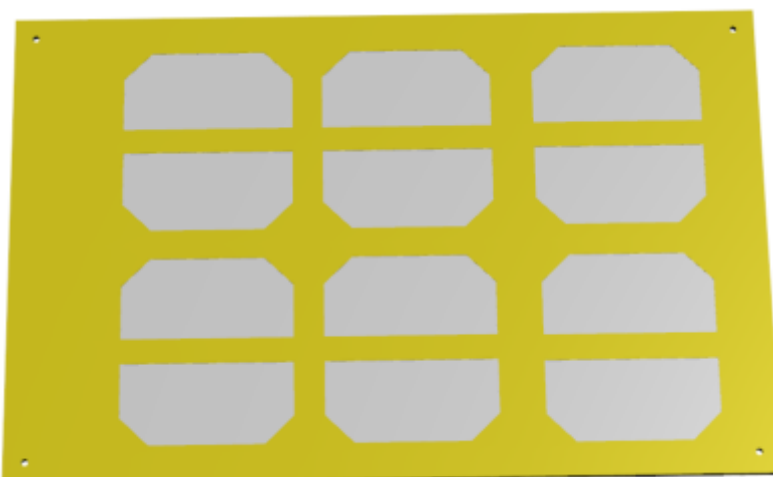
Obr.3 Základná šablóna na umiestnenie panelov

Do pripravenej základne by sa poukladali bočné steny.



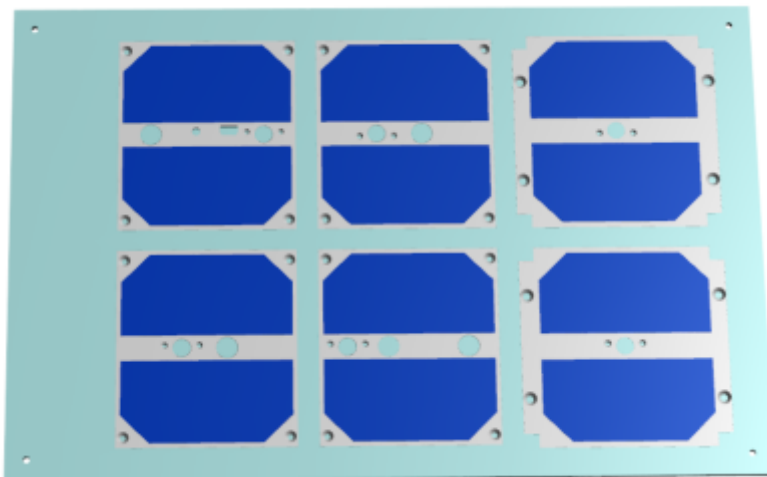
Obr.4 Bočné panely satelitu umiestnené na základnej šablóne

Na tento polotovár by sa umiestnila šablóna s presne vypálenými otvormi pre nanášanie lepidla. Po mnohých pokusoch sme určili optimálnu vrstvu lepidla na 0,3mm. Pretože bežné nerezové šablóny na nanášanie cínovej pasty sú do hrúbky 250 μm , museli by sme použiť dve 150 μm šablóny na sebe.



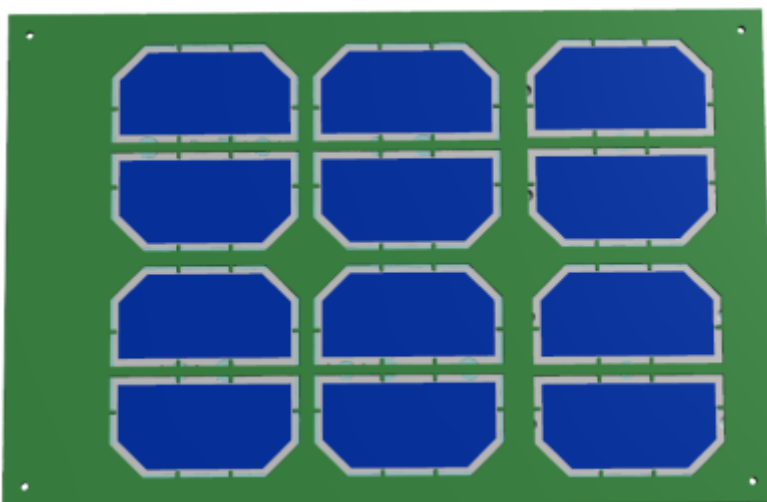
Obr.5 Umiestnenie 300 μm šablóny na nanášanie lepidla

Po nanosení lepidla stierkou, a odobratí šablóny ostane na hliníkových paneloch nanosená vrstva lepidla.



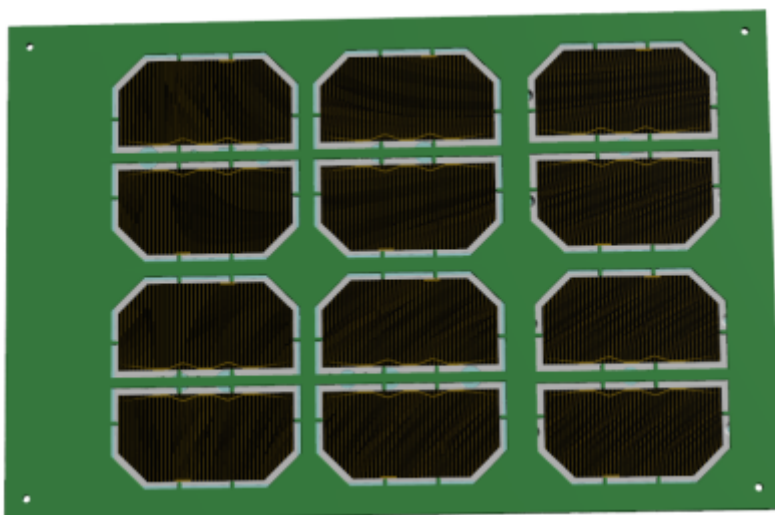
Obr.6 Vrstva lepidla nanosená na stenách satelitu

Aby sme zabezpečili, že sa nám solárne články počas odsávania vzduchu vo výveve nepohnú, umiestnili by sme ďalšiu šablónu vyfrézovanú z hliníku. Tá by pridržovala solárne panely počas odsávania vzduchu na definovanom mieste. Do tejto šablóny by sa poukladali samotné solárne články.



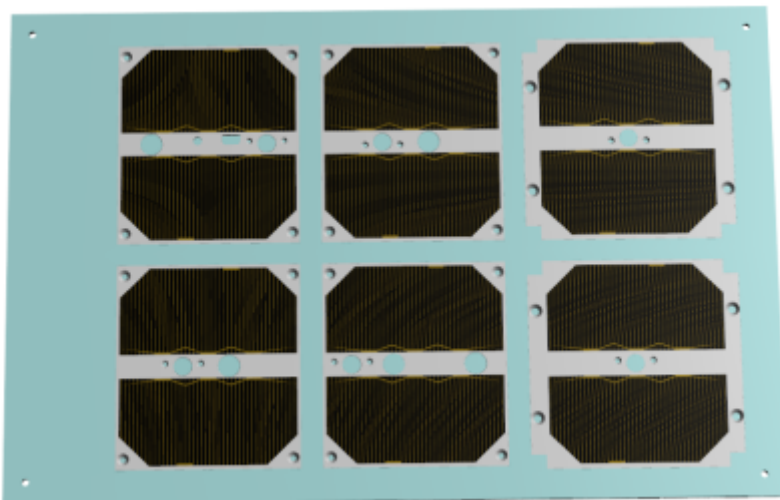
Obr.7 Položenie šablóny na umiestnenie solárnych článkov

Po pozícií v šablóne by sa poukladali samotné solárne články.



Obr.8 Položenie solárnych článkov do šablóny na vrstvu lepidla

Po odsatí vzduchu a vytvrdnutí lepidla, máme solárne články prilepené k podkladovému hliníkovému panelu



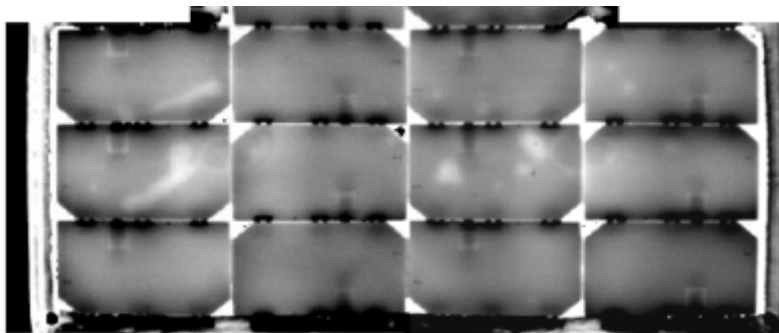
Obr.9 Výsledok - Solárne články nalepené na stenách satelitu

Z hore uvedeného je vidieť, že technická realizácia lepenia je veľmi zložitá a drahá. Ale ani tento spôsob lepenia nezabezpečí kvalitné prilepenie. Problém je, že solárny článok sa musí položiť do lepidla kolmo. Článok sa nemôže pritláčať od kraja a tým postupne vytláčať vzduch spod solárneho článku, pretože by sa zároveň vytlačalo aj riedke lepidlo. Pretože sa lepidlo nanáša stierkou, ktorá sa pri nanášaní veľkej plochy v strede prehne, zostane v strede plochy nepatrne menšia hrúbka lepidla. Kolmé polozenie solárneho článku do lepidla uzavrie pod článkom bubliny, ktoré kvôli viskozite lepidla nedokáže odstrániť ani výveva. Tieto bubliny môžu spôsobiť vo vesmírnom vákuu prasknutie článku. Jediným riešením by bolo lepiť články manipulátorom priamo vo vákuu.



Obr.10 Pokus zlepenia dvoch skiel silikónovým lepidlom a ukážka uzavretej bubliny

Na nasledujúcom obrázku sú profesionálne lepené články, na ktorých je pri termografii jasne vidieť bubliny.

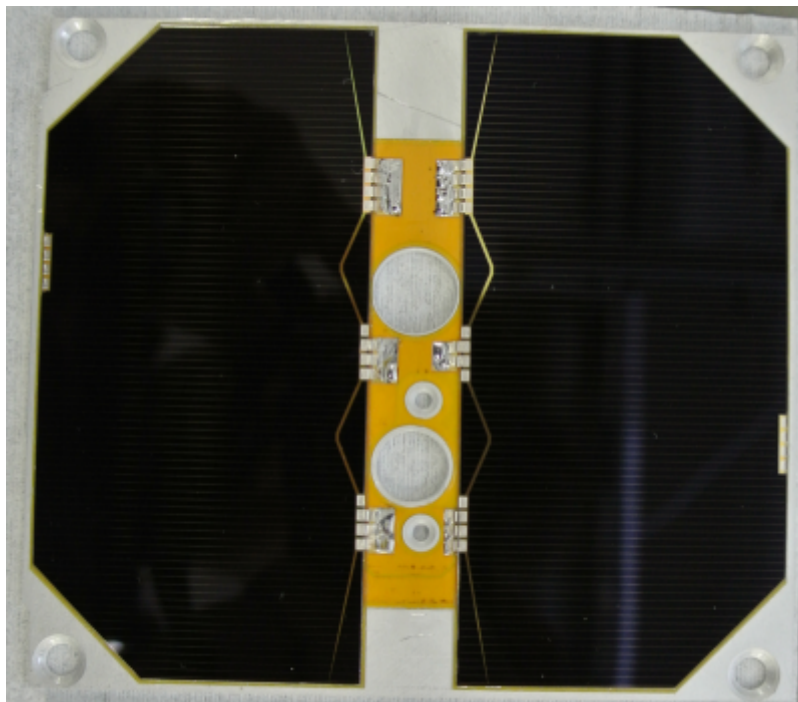


Obr.11 Ani profesionálne lepenie článkov nezaručí 100% výsledok [5]

Tretou možnosťou lepenia, ktorá bola nakoniec zvolená, je lepenie pomocou špeciálnej dvojstrannej pásky. V profesionálnych firmách zaoberajúcich sa vesmírnymi aplikáciami sa už používajú. Ich používanie pomaly preniká aj do oblasti Cubesatov. Je to v podstate kaptonová páska na ktorej je z oboch strán nanosené silikónove trvalo pružné lepidlo. V čase riešenia problému lepenia solárnych článkov nám nebola takáto možnosť známa, tak sme experimentálne zvolili vlastný postup, založený na rovnakom princípe ako profesionálne riešenie. Vyrobili sme si vlastnú dvojstrannú kaptonovú lepiacu pásku. Navrhli a použili sme flexibilný plošný spoj bez medi. Jadro takéhoto plošného spoja je tvorené kaptonovou fóliou na ktorú je možné naniesť vrstvu lepidla.

Hrúbku základovej kaptonovej vrstvy je možné zvoliť 25, 50, 75, 100 alebo 125 μm . Túto vrstvu sme použili ako nosnú a izolačnú časť. Zvolili sme hrúbku 25 μm . Na tento základ nám výrobca plošných spojov naniesol lepiacu vrstvu na obe strany spoja. Pretože toto lepidlo pôsobí ako pružná vrstva, ktorá roznáša pnutie medzi jednotlivými vrstvami, zvolili sme najväčšiu možnú hrúbku, ktorú výrobca plošných spojov ponúkal. Použili sme na obe strany základovej kaptonovej vrstvy lepidla 130 μm . Tieto dve vrstvy lepidla s 25 μm kaptonom nám dáva takmer 0,3mm hrubú, trvalo pružnú vrstvu na rozkladanie pnutí ktoré vznikajú pri výkyvoch teploty pri obehoch satelitu.

Pri lepení článkov sme najskôr postupným pritláčaním z kraja, bez vzduchových bublín, nalepili pásku na stenu satelitu. Potom sme na túto pripravenú plochu podobným postupom, veľmi opatrne, postupným tlakom od kraja pritlačili aj solárny panel. Tým sme zabezpečili vytlačenie vzduchu spod článku a jeho kvalitné prilepenie. Výsledný produkt je možné vidieť na nasledujúcom obrázku.



Obr.12 Výsledok lepenia dvojstrannou kaptonovou páskou

Týmto postupom sme postupne nalepili všetkých dvanásť solárnych panelov na všetky bočné panely satelitu skCube.

3. Záver

V tomto článku sme si predstavili možnosti lepenia solárnych článkov v aplikáciách Cubesat. Prešli sme postup riešenia tohto problému, ako sa riešil pri vývoji prvého slovenského satelitu skCUBE. Detailne sme si predstavili výrobcom článkov odporúčaný postup a prešli sme si všetky problémy súvisiace s aplikáciou tohto postupu v praxi. Vlastnou invenciou sme vymysleli postup, ktorý sa ukázal ako perspektívny. Perspektívny z hľadiska ceny samotného lepiaceho materiálu aj ceny a prácnosti lepiaceho postupu.

Podakovanie

Táto publikácia bola vytvorená v rámci projektu Výskum technologickej základne pre návrh aplikácií využívania obnoviteľných zdrojov energie v praxi, ITMS kód 26220220083 Operačného programu Výskum a vývoj hradený z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

1. SOSA. PRVÁ SLOVENSKÁ DRUŽICA. [Online]
www.skcube.sk
2. Wikipedia. Wikipedia - Cubesat. [Online]
<https://en.wikipedia.org/wiki/CubeSat>
3. swisscube. escgesrv1.epfl.ch - /13 - Flight housekeeping data/. [Online]
<http://escgesrv1.epfl.ch/13%20-%20Flight%20housekeeping%20data/>
4. Azurspace. [Online]
http://www.azurspace.com/images/products/0003401-01-00_DB_3G30A.pdf

-
5. Petras Karuza, David A. Hinkley. CubeSat Summer Workshop 2009 . [Online]
http://mstl.atl.calpoly.edu/~bklofas/Presentations/SummerWorkshop2009/Sat_1425_Solar%20Cell%20Installation%20Using%20Double%20Sided%20Polysiloxane%20PSA%20Film%20-%20Petras%20Karuza.pdf
-

RMC s.r.o, Trenčianska 863/66, Nová Dubnica, 01851
