

Stavba kombatového speciálu – stavba křídla

Technologie, kterou budu popisovat není ani nová, ani moje. Já jsem jen propracoval některé postupy podle svých zvyklostí a zejména aplikoval zkušenosti některých kamarádů, které nebyly doposud popsány a které přinesly výrazné zvýšení výsledné kvality křídel. Popsaná technologie je levná, jsou použité dostupné materiály a při jejím zvládnutí je výroba křídel rychlá a snadná. Obecně mohu říci, že je stavba křídla jednodušší než stavba trupu. Přesto musím upozornit, že pro její zvládnutí je potřebné „umět“ základní modelářské postupy, zvládnout práci s moderními lepidly a být dostatečně pečlivý. Jen tak lze totiž dosáhnout očekávaného výsledku.

Při popisu stavby trupu jsem také slíbil, že se budeme zabývat i otázkami výběru profilu pro náš model. Tím se dotkneme technického oboru, který se jmenuje Aerodynamika. Dotkneme se ho opravdu jen okrajově, jen v nezbytné míře, bez složitých vzorců a definic.

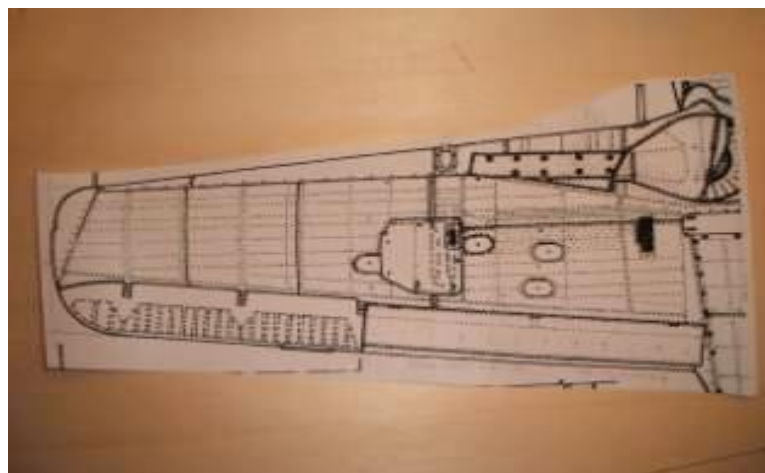
Předpokládám, že základní pojmy, jako např. hloubka křídla, štihost křídla, tloušťka profilu, prohnutí profilu, štihost křídla, úhel šípů křídla, úhel nastavení křídla, úhel vzepětí, zkroucení křídla a pod. modelář ovládá, a nebo si je vyhledá v literatuře.

1. Křídlo pro kombatový model.

Půdorysný tvar křídla je daný vzorem stíhacího letounu. Skutečné stíhací letouny z období II. Sv.V. měly ještě „dost křídel“ takže až na několik výjimek bude „dost křídel“ i pro model v měřítku 1:12 aby létal. Pravidly ACES se povolují odchylky rozpětí $\pm 5\%$ a 2 cm pro ostatní rozměry. Toto pravidlo je třeba mít na zřeteli. Je třeba si uvědomit, že křídlo má rozhodující vliv na výkony modelu. Odpor samotného křídla je až 70% celkového odporu modelu. Je proto nutné věnovat návrhu a výrobě křídla maximální pozornost.

Základní tvar křídla dostaneme zvětšením výkresu našeho letounu. Je možné nechat zvětšit výkres na planografii (např. Copsy General), použít běžnou kopírku A4 a slepit potřebný počet listů výkresu, nebo jen zvětšit výkres „tužkou“ na milimetrový papír, balicí papír a pod., jako za časů našich dědečků. Je dost pravděpodobné, že se při zvětšování dopracujeme k rozměrům, které je vhodné upravit v rámci tolerancí pravidel ACES.

(tj. rozměry typu hloubka křídla 232 mm, 133 mm apod. upravíme na 230 mm, 130 mm apod.) Jak vypadá nazvětšovaný výkres křídla letounu FW-190A provedený na běžné kopírce je vidět z obrázku. Na obrázku najdete i základní kóty které urychlují další práci.



Volba profilu křídla není snadná záležitost a předpokládá určitou orientaci v oboru Aerodynamiky, dostatek trpělivosti, času a financí pro potřebné „testování“, nebo dobrý talent k vytěžení informací od ostatních modelářů. Je třeba si uvědomit, že profil křídla má naprosto zásadní vliv na aerodynamické charakteristiky křídla. Nevhodně zvolený profil dokáže znehodnotit letové vlastnosti modelu a tím celé naše snažení při stavbě kombatového modelu.

Poznámka: např. moje osobní zkušenost s profily křídla pro model P-40 je následující: profil ELINA (modifikace Epler 205) – dobré, MH42 mod. Tl. 10% - vynikající, ale NACA 1410 – katastrofa. P-40 s tímto profilem je velice rychlý, nedá se s ním ale manévrovat a při obratech padá do vývrtky bez varování.

Při přípravě tohoto článku jsem srovnával nejčastěji používané profily použité na kombatových modelech. Např. v USA je velice často používán starý dobrý Clark Y a NACA 2410 v různých modifikacích. Modely s nimi létají bezvadně, jsou hodné, a to včetně letu se zastaveným motorem při nízké rychlosti. Křídla s těmito profily mají ale horší pronikavost proti větru a modely s nimi jsou pomalejší. V Evropě je na modelech pro kombat používáno profilů více. Mimo zmíněných Clark Y a NACA 2410 jsou to často profily řady Eppler, MH (Martin Hepperle), Selig, HL (Hořejší – Lněnička), Ritz ale i modernější profily řady NACA, např. NACA 64A412. Perličkou je pak profil DP (Dan PÉK), použitý na jeho modelech ME-109 H - V55. Podle Danových slov vznikl úpravou šablon pilníkem tak dlouho, až model získal požadované vlastnosti (model létá skvěle). Kolik křídel musel postavit než Me-109 H létal nechce Dan prozradit.

Shrnutí: Podle mých zjištění létá většina kombatových modelů s profily těchto parametrů:

Tloušťka profilu křídla u kořene 10 – 12%, tloušťka na konci 10%, prohnutí profilu přibližně v rozmezí 1,5 – 3 % ve 30 – 40 % hloubky. Při výběru profilu pro váš model použijte tato hodnoty jako vodítko. Sníží to možnost chyb už při samotném výběru profilu.

Pokud stavíte nový model, doporučuji použít profil, který máte vyzkoušený, jste schopni dodržet jeho tvar (to závisí na použité technologii výroby křídla) a nové profily zkoušet až tehdy, když vám model létá, a vy můžete srovnávat co s modelem nový profil dělá. Já osobně velmi preferuji profily řady MH (MH42, MH43). Tyto profily je však třeba upravit tak, aby byly v souladu s pravidly ACES (min. tloušťka profilu 10%). Oba profily mají tloušťku menší. Přepočítat tloušťku profilu v programu Profili 2 nečiní potíže.

Na závěr této krátké teoretické části bych chtěl upozornit na vhodnost zkontrolovat hloubku koncového profilu ve vztahu ke kritickému Reynoldsovu číslu (Re) profilu. Často stačí zvětšit hloubku konce křídla doslova o několik mm, abychom dosáhli podstatně lepších letových charakteristik modelu. Re číslo je bezrozměrný parametr, který popisuje poměry mezi třecími a setrvačnými silami v proudu vzduchu, který obtéká profil. Výpočet Re je velice jednoduchý:

$$Re = 68000 \cdot b \cdot V,$$

Kde: b - je hloubka profilu (m), V - je rychlost letu modelu (ms-1). (Přepočet km/h na m/s: x1000 / 3600)

Existuje určitá hodnota Re (pro každý profil je jiná) při kterém se prudce mění aerodynamické vlastnosti daného profilu. Tato hodnota se jmenuje Re krit. – kritické Reynoldsovo číslo. Nejedná se o přesně jednu hodnotu, je to určitá oblast „od-do“ kde se začínají projevovat určité jevy. Jednoduše řečeno, leží-li vypočítané Re pod touto hodnotou (resp. určitým rozmezím hodnot Re), chování našeho modelu za letu se bude prudce zhoršovat (a úplně polopatě: čím je Re větší, tím je možné od křídla očekávat vyšší vztlak a nižší odpor).

Hodnotu Re profilu nejvíce ovlivňuje geometrie profilu, zejména poměrná tloušťka profilu a tvar profilu. Výpočet minimální hloubky křídla b_{min} pro dané Re krit je opět jednoduchý:

$$b_{min} = Re \text{ krit} / 68000 \cdot V$$

Pro jednoduchost dosadíte za Re krit hodnotu 80 000. To je těsně nadkritická hodnota pro většinu profilů, které se na „kombatové“ křídlo hodí. Při poklesu Re na hodnotu 60 000 již dochází u těchto profilů ke ztrátě téměř 50% vztlaku a k prudkému nárůstu odporu. Zhoršení letových vlastností při podkritickém obtékání křídla, nebo jeho části, je nejcitelnější všude tam, kde dojde ke ztrátě rychlosti, např. při prudkých obrazech a zejména ve vertikální rovině, např. při obratu zakončeném prudkým stoupáním.

Rychlost letu kombatového modelu se pohybuje v rozmezí přibližně 40 – 200 km/h. Proto nás také zajímá rychlost okolo 40 km/h, kterou se model přibližuje na přistání, a my požadujeme, aby letěl stabilně a šel řídit. Z výše napsaného vyplývá, že by se hodnota hloubky křídla neměla pohybovat pod vypočítanou hodnotou b_{min} (s výjimkou částí zaoblených koncových oblouků křídla)

Ilustrační příklad: Pro rychlost letu 40 km/h (11,1 m/s) a Re krit profilu 80 000 by koncová hloubka křídla neměla klesnout pod 90 mm. Neuvažujeme vliv turbulátorů - nalepeného šmirglu. Vypočítané Re pro koncové hloubky křídla mé P-40 se pohybuje v rozmezí 90 000 – 400 000. Křídlo je tedy ve všech režimech letu obtékáno nadkriticky, což se příznivě projevuje na letových charakteristikách modelu. A dobrá zpráva na závěr: V programu Profili V2 je jednoduchý kalkulátor na výpočet Re . Zadávají se jen hodnoty hloubky křídla, rychlost letu a v jaké výšce se model pohybuje. Dosadit tyto hodnoty zvládne i absolutní neznalec aerodynamiky. Studované hlavy prosím o shovívavost. Snažil jsem se o maximální zjednodušení problematiky s minimem potřebných vzorců k výpočtu. Uvedený postup je však pro modeláře dostatečný a ověřený.

Pokud máte zájem o další teoretické rozbory chování křídla, dovoluji si upozornit na vynikající články pana Doc. Nožičky, CSc. uveřejněné v RC modelech pod názvem „Proč některé modely létají a jiné nelétají.“ Pan docent je opravdový profík a navíc pedagog, který umí věci rádně vysvětlit, navíc přijatelným, populárním způsobem.

2: Technologie výroby křídla:

Volba technologie výroby křídla závisí především na našich možnostech. Předpokládám, že jen málo z Vás má možnost vyrobit přesný model křídla CNC technologií a budu se zabývat popisem technologie, kterou si snadno osvojíte. Touto technologií je křídlo s jádrem z pěnového polystyrenu potažené dýhou (nebo balsou, případně papírem). V případě stavby křídla pro kombatový stroj je výhodou, že se jedná o křídlo malých rozměrů, které se zhotovuje relativně snadněji než křídla pro větší modely. Stavba křídla s jádrem z polystyrenu byla již popsána mnohokrát. Pokud máte možnost čerpat informace i z jiných článků určitě doporučuji to udělat. Rozšíří to vaše znalosti o této technologii a najdete mnoho nápadů, jak si práci dále usnadnit. Vynikající jsou články pana Wagnera nebo pana Plačka uveřejněné v našich modelářských časopisech. Já jsem se snažil o maximální zjednodušení stavby s použitím minima potřebných přípravků a pomůcek.

Základem pro křídlo zhotovené touto technologií je zhotovení jádra křídla z pěnového polystyrenu.

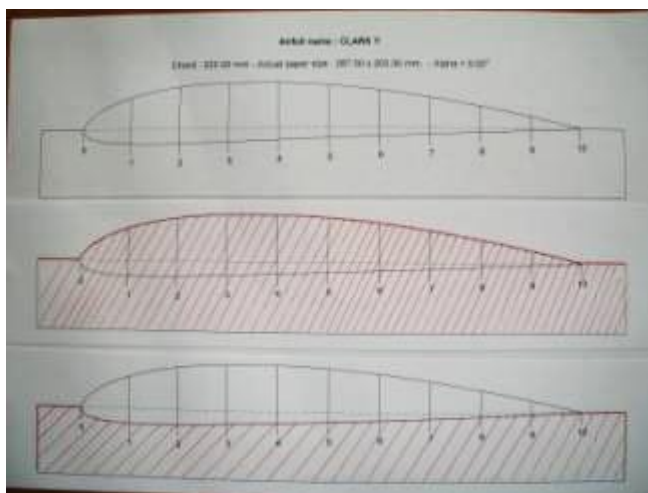
Pro výrobu jádra budeme potřebovat blok polystyrenu vhodných rozměrů, odporovou pilu (s vhodným regulovatelným zdrojem proudu) zmíněnou v předchozím díle o stavbě trupu, řezací šablony profilu křídla, nějaké závaží pro zatížení bloku polystyrenu při řezání (stačí větší pilníky) a hlavně dobrého pomocníka, který vám pomůže řezat (já „zacvičil“ manželku).

Polystyren zakoupíte např. ve stavebninách, v Bauhauzu, Obi, Globusu a podobných obchodech. Upozorňuji, že ne každý polystyren, který se Vám dostane do ruky bude vhodný pro

výrobu křídel. Pokud to je možné, snažte se zakoupit polystyren od firmy BACHL (má pobočku v Brně a dodává na český trh). Tento polystyren má z modelářského hlediska velmi dobrou a hlavně stále stejnou kvalitu vhodnou pro jádra křídel. Cena desky o tloušťce 5cm a rozměrech 50 x 100 cm je asi 35 Kč. Z bloku je možné vyřezat dvoje křídla modelu kategorie 2,5 ccm. Vybíráme střední hustotu, nebo chcete-li tvrdost. Je-li materiál příliš měkký, jádro bude sice lehké, ale při lepení potahu se bude deformovat (stlačovat). Naopak příliš tvrdý polystyren znamená těžká křídla.

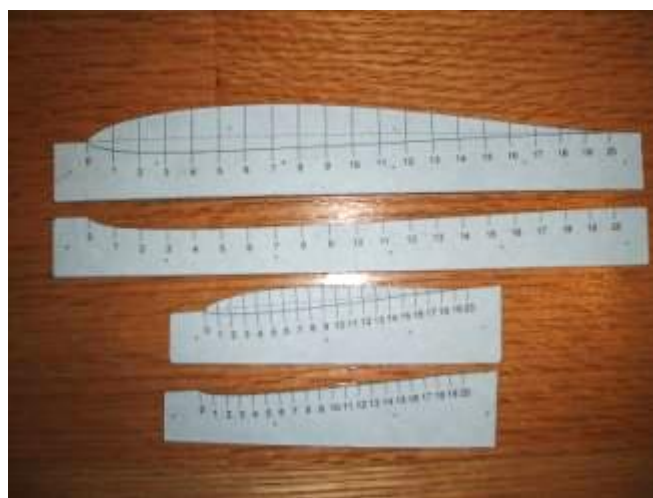
Dalším krokem je výroba řezacích šablon pro vyříznutí jádra křídla. Předpokládám, že dnes má asi každý doma k dispozici nějaký ten počítač a tiskárnu. Pro vykreslení šablon je vhodné použít některý z volně dostupných počítačových programů. Je jich na Webu poměrně dost. Pokud mohu poradit, používejte italský program PROFILI V2. V současné době je to asi nejkomplexnější a nejlepší program pro modeláře. Základní verze programu je volně ke stažení na www.profil2.com. Po případné registraci plné verze, která stojí 10 €, získáte opravdu užitečný modelářský SW s mnoha funkcemi.

Šablony vytiskneme na papír (výhodné je použít papír na tisk samolepících etiket). V nastavení programu zvolte tisk šablony bez tloušťky potahu. Potahovat budeme dýhou, nebo papírem, tloušťka těchto materiálů je srovnatelná s prořezem horkého drátu. Po mnoha pokusech ušetřit si práci jednodílnou šablonou jsem se vrátil k původní dvoudílné šabloně, která je na obrázku. Důležitou částí šablon jsou očíslované rysky, které umožní řezání povrchu ve stejném procentuálním místě hloubky profilů kořenové i koncové šablony. Bez těchto rysek se jádro nedá prakticky uříznout.



Při výběru materiálu na šablony musíme myslet především na teplotu řezacího drátu, který se nesmí do šablony propalovat. Nevhodným materiálem je překližka, termoplasty apod. Vhodným materiálem je kuprexit, a asi nejvhodnější je umakart (kartit). Umakart se však již nedá koupit, protože se vyráběl z formaldehydových pryskyřic, které jsou zdraví škodlivé. Dá se ale sehnat např. z přestavovaných jader panelákových bytů apod. Nedoporučuji šablony z kovových materiálů. Odvádějí z drátu teplo. Do šablon vyvrtáme otvory pro špendlíky, kterými se šablona připevní na polystyren (počet děr je třeba zvolit takový, aby šablona bezpečně držela na bloku polystyrenu). Vhodný průměr děr pro špendlíky je 0,8 mm.

Šablony vyřízneme a opracujeme běžným postupem. (Pozor, pracujeme-li v panelákové dílně. Řezání těchto materiálů lupenkovou pilkou dělá děsnej kravál. Sousedí to nemusí milovat (můj případ). Proto řežte raději odpoledne než večer ve 21:00 hod.)



Na závěr doporučuji vyleštit jemným smirkem řezné plochy šablon v podélném směru tak, aby na této ploše nebyly žádné vrypky, které by mohly zbrzdit drát při řezání. V místě zastavení (zaseknutí) drátu se na

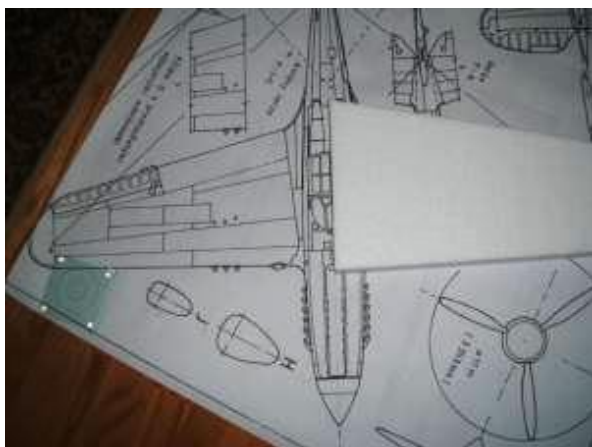
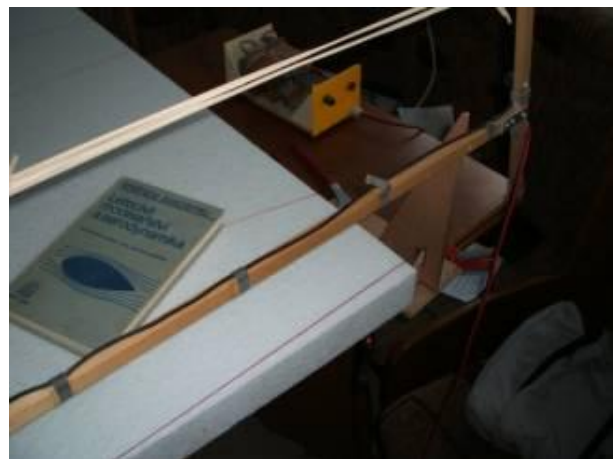
řezaném jádru okamžitě propálí zářez. Jak vypadají hotové šablony je opět na obrázku. Povšimněte si prosím úhlu natočení koncových šablon vůči rovině podložky. Tím vytvoříme na jádru křídla negativní překroucení, tzv. negativy. Negativní překroucení konců křídla děláme -2° až -3° . Takto zkroucené křídlo má podstatě lepší vlastnosti ve všech režimech letu.

Dalším krokem je řezání půdorysného tvaru křídla. Musíme uříznout půdorys zvětšený o části sloužící k vedení drátu na šablony. Abychom řezali alespoň trochu kolmo a řez byl rovný a hladký, budeme potřebovat vodící opěrky. Jelikož se jedná o pomocné práce, mohou být ze silnější překližky, vypalování zářezů až tak nevádí, můžeme je kdykoliv zabrousit. Jak takové opěrky vypadají je patrné z obrázku. K řezací desce – stolu se přichytí svěrkami. Při vlastním řezání je výhodné podložit desku polystyrenu třeba videokazetami (jsou stejně vysoké), abychom řezali někde uprostřed opěrek a nepopálili horkým drátem třeba desku stolu. Na to jsou manželky a maminky dost (slušně řečeno) citlivé. Důležitým krokem je kontrola „pravých úhlů“ desky polystyrenu. Pravoúhlost zkontrolujeme velkým úhelníkem a nepřesnosti upravíme. Tuto operaci doporučuji nepodcenit. Pokud to uděláte nedbale, bude problematické nakreslit půdorys křídla.



Dalším krokem je přenesení půdorysu křídla na desku polystyrenu. Nejdříve si změříme na plánu úhel šípů náběžné hrany a vyneseme ho na desku polystyrenu. Pak přeneseme rozměry šablon koncového a kořenového profilu i s přídatky na vedení drátu. Druhou polovinu křídla nakreslíme opačně k první, tj. ke koncové šabloně dáme kořenovou a naopak. Vše je vidět na obrázku. Popis této operace je delší než samotná práce. Je to velice jednoduché.

Jakmile máme nakresleny půdorysné tvary křídel, položíme desku polystyrenu mezi opěrky, a



zatížíme ji. (Poznáte knihu na obrázku?) O opěrky opřeme studený drát a desku nastavíme tak, aby drát ležel přesně na čáře, kde se má vést řez. Pak zapneme ohřev drátu a provedeme řez. Měl by být kolmý, rovný a hladký. Rozřezání desky touto metodou je záležitost několika minut a vystačíte si sami, bez potřeby pomocníka (manželky, milenky a přítelkyně nejsou vždy po ruce...). Uříznuté poloviny křídel musí být stejné. Pro kontrolu je dobré položit je na výkres a přesvědčit se, že je půdorys v pořádku.



ustavení. Opření o podložku je nejjednodušší způsob jak toho dosáhnout. Z obrázku je také patrné, proč je třeba mít kontrolní rysky na obou stranách šablony. Tím máme vše připraveno a můžeme se pustit do řezání.

Je důležité si uvědomit, že se řezací drát musí během řezání pohybovat nad procentuálně stejným bodem hloubky kořenové i koncové šablony. K tomu slouží kontrolní rysky. Začneme řezat od odtokové části profilu.

Teplotu drátu musíme mít již ověřenou, není dobré ji během řezání měnit. Obě strany musíte začít řezat současně, naváděcí úsek slouží k tomu aby bylo možné srovnat případné nedostatky při zahájení řezání. Nad první rysku se už musíte dostat současně. Ten z Vás, který řezá „delší“ šablonu odřikává čísla...20, 19, 18...druhý se snaží být přesně nad udaným číslem. Nesmíte pospíchat, drát se nesmí prohnut, musí být stále přímý. Teplota drátu musí být taková, aby se materiál příliš nepropaloval, ale taková, aby řez byl plynulý. Při výstupu by se měl drát propálit ven z bloku po celé délce najednou. To je dobré znamení, pravděpodobně se nám podařilo povrch říznout správně. Je dost pravděpodobné je, že se Vám křídlo napoprvé nepovede uříznout, řez bude „hrbatý“, jeden z Vás neudrží drát na šabloně, budete moc pospíchat a drát se Vám prohne...Řezání v ruce chce cvik obou „řezačů“. Takže trpělivost, trpělivost, trpělivost. Polystyren není drahý materiál, a šablony již máte hotové. Další křídlo půjde lépe a rychleji. Po uříznutí horního povrchu budeme řezat spodní. K tomu je třeba vyměnit šablony. Postup je naprosto stejný jako u šablony horního povrchu. Zásada je dotlačit k desce, srovnat s blokem a přišpendlit.

Postup řezání spodního povrchu je také naprosto stejný. Nesmí nás vyděsit, že v oblasti odtokové hrany dojde k deformaci (propálení) materiálu v určité délce. Je to normální, při dobroušení a zarovnání jádra tuto část odřizneme. Uvědomte si, že čím je větší teplota drátu, tím větší bude prořez v materiálu. To se nejvíce projeví právě v tenké odtokové části a zejména u koncového profilu. Proto volte teplotu co nejnižší, prořez bude menší a vytvořený povrch kvalitnější

Dalším krokem je připevnění šablony na uříznuté půdorysné bloky polystyrenu. Jako první budeme řezat HORNÍ povrch jádra. Pokud bychom řezali dolní povrch, nebylo by pak možné správné ustavení šablony pro horní povrch. Jádro bychom uřízli s menší tloušťkou. Blok položíme na rovnou desku, přiložíme šablonu, srovnáme ji přesně na blok a přišpendlíme. Dotlačení šablony na podložku je důležité, po výměně šablony pro řezání druhého povrchu musíme zabezpečit stejné





nestejně posouvali drát po šablonách. Pokud se opravdu jedná o jemné „vlnky“ a ne schody, nebude to na závadu.

V dalším Vám prozradím důležitou „technologickou fintu“, které vede k úspěchu při stavbě křídla. Řezání polystyrenu tavením zanechá na povrchu hrbatou vrstvu roztaveného a zchladlého polystyrenu. Tato vrstva má nepředvídatelné separační vlastnosti a k takto uříznutému povrchu se špatně vážou lepidla, a to včetně epoxidů a Purexu. „Hrby“, nebo chcete-li „cucky“ také brání potřebnému kontaktu mezi lepenými materiály. To se v praxi projeví tím, že přilepený potah nebude na jádru držet, lokálně se odlepí – zvlní se, nebo se úplně odtrhne např. při nárazu. Dlouho jsem experimentoval a hledal to správné lepidlo. Výsledky však byly stále mizerné, potah se buď vlnil, nebo se křídla skládala při trošku horším přistání, protože se potah odlepil. Náprava přišla až po rozhovoru s Vaškem Sádlem (SAVEX), který mi poradil, že natavená vrstva se musí odbrousit smirkem a jako lepidlo je nejlepší použít epoxidovou laminovací pryskyřici L-285. A opravdu – funguje to. Potah skvěle drží. Navíc obroušení povrchu srovná výše zmíněné „vlnky“. Další operací tedy bude pečlivé obroušení povrchu jádra. Broušení jádra provádíme tak, že jádro vložíme do jedné z negativních šablon (podle broušeného povrchu) a povrch obrousíme smirkovým papírem drsnosti 100 – 120 nalepeným na dlouhé rovné desce nebo lati. Brousíme s citem, abychom příliš nezměnili tvar profilu. Po obroušení zbavíme jádro prachu z broušení důkladným vysátím vysavačem. Touto operací jsme práci na jádrech křídla ukončili. Celá výroba jádra (obou polovin křídla) trvá při zvládnutí technologie ručního řezání asi 1,5 - 2 hodiny. Vám bude pravděpodobně trvat zpočátku trochu déle, ale to se poddá...

Z jádra odřízneme část náběžné hrany, kterou později nahradíme balzovou lištou. Jádro vložíme mezi výřezy a odřízneme část náběžné hrany stejným způsobem, jako jsme řezali půdorysný tvar křídla. Nakonec lámacím nožem podle pravítka zarovnáme odtokovou hranu – odřízneme natavené „cucky“, které by vadily při lepení potahu. Jak vypadá uříznuté jádro křídla je vidět na obrázku. Je nutné si uvědomit, že řezaný povrch nebude tak čistý jako při řezu na CNC řezačce. Pravděpodobně bude „vlnkovatý“ jak jsme



Nyní se musíme rozhodnout, čím křídlo potáhneme. V úvahu připadá balsa tl 1mm, dýha (Wawa, Kobo, Abakhi, Vrba, Olše) a nebo kladívkový papír. Se všemi těmito materiály se pracuje prakticky stejně. Jen kladívkový papír se nedá brousit a musí se jinak povrchově upravit. Já nejraději potahuji dýhou, kterou nakupuji u společnosti JAF Holz v Brandýse nad Labem. Běžná cena uvedených dřevin se pohybuje v rozmezí 30 – 50 Kč/m². Kupte dýhu s označením: JAF HOLZ skladové číslo 0010 60170/0010 DYHA AYOUS 0,6. Z plátu dýhy uřízneme ostrým nožem potah s rozměry o něco větší než půdorysný tvar křídla. Pláty rozmístíme na stůl a podle porézности povrchů rozhodneme, který povrch budeme lepit k jádru a který bude tvořit povrch křídla. Hladší stranu dýhy dáváme „ven“. Nařezané díly na potah jsou vidět na obrázku.



Povrchy, které budeme lepit k jádru označíme tužkou. Tuto stranu dýhy jednou nalakujeme ředěným zaponovým nebo napínacím lakem. Lakujeme proto, aby se nám později do dýhy nevsákl epoxid. Potahy necháme dobře vyschnout. Zatímco schnou, připravíme si na vyztužení kořenových částí a odtokových hran pásky skelné tkaniny (asi 50-80g/m²) v šířce 20 – 30 mm. Křídlo je možné vyztužit i uhlíkovým rowingem přilepeným k potahu v místě největší tloušťky profilu. Nebo v tomto místě jádro rozříznout a vložit stojinu nosníku. Pro modely o rozpětí okolo 1 – 1,2m je to však zbytečné, potah zabezpečí dostatečnou pevnost křídla a to i tehdy, je-li proveden z kladívkového papíru.

Další operací je příprava vnitřního závěsu křídélka tzv. zavěšení pod potahem. Tento závěs se velice snadno vyrábí, je pevný a mezi křídlem a křídélkem není mezera. Na závěs budeme potřebovat tenkou silonovou tkaninu asi 2 cm širokou s délkou odpovídající délce křídélka. Vynikající je tzv. odtrhová tkanina, která se používá při vakuování do negativních forem. Dá se objednat u Havel Kompozit. Já na závěsy dostal nepoužívaný manželčin šátek. Látka však nesmí být příliš tenká, závěs by byl křehký a křídélko by se odtrhlo.



Na jádro si narýsuje čáru, kde se bude vytvářet pant křídélka. Jelikož odtoková hrana křídla bude vytvořena až slepením potahů, musíme měřit od naběžné hrany. Na jádro přilepíme epoxidem pásek silonové tkaniny tak, aby tato čára byla uprostřed pásku. Jak to udělat je opět na obrázku.

Nyní již můžeme přikročit k lepení potahů na jádro. Jako lepidlo je nejlepší použít pryskyřici L-285. Výhodou lepení epoxidem je fakt, že můžeme pod potahem křídlo vyztužit sklem, kevlarom nebo uhlíkem. To při použití např. Purexu nelze. Přitom výsledná hmotnost je při

použití obou lepidel prakticky stejná a tvarová stálost je lepší právě u epoxidu L-285.

Lepený plát na povrchu, který byl lakován (je na něm značka tužkou) natřeme lepidlem. Kořenovou část plátu vyztužíme, pásy skelné tkaniny na obou potazích, odtokovou jen na spodním potahu. Spodní plát potahu položíme do spodního negativního výřezu, přiložíme jádro, srovnáme a

jádro zatížíme, např. kleštěmi nebo většími pilníky. Odlijeme si trochu pryskyřice do malého kalíšku a do pryskyřice přisypeme mikrobalony. Namícháme vyplňovací hmotu hustoty asi jako zubní pasta. Toto hmotu nanese do přechodu odtokové části, aby se vyplnila mezera mezi potahy a odtokovou hranou jádra. Pak natřeme lepidlem horní plát potahu přiložíme k jádru srovnáme a přiložíme horní negativní výřez. Není třeba vkládat nějakou separační folii mezi křídlo a negat. části. I když trochu lepidla vyteče a forma se někde přilepí, nečiní problém ji odtrhnout. Negativní výřez je „jednorázový“.

Jádro křídla, potahové pláty i negativní části srovnáme. Náběžná část musí přesně lícovat. Pak musíme vše řádně stáhnout k sobě. Zpočátku jsem křídlo zatěžoval kotouči z činek, knihami, a vlastně čímkoli těžkým, co jsem našel. Zatížení předměty však nevyvodí dostatečný přítlak k řádnému přilepení. Lepších výsledků lze dosáhnout pomocí deskové svěrky. Je vyrobena ze dvou desek z



lamina odpovídajících rozměrů, které se stahují vratovými šrouby a křídlovými maticemi. Tímto lisem se dá jednodušeji a hlavně opakovatelně vytvořit potřebný přítlak k lepení potahů. Musíme jen dávat pozor, abychom příliš nezmáčkli jádro. (Proto není vhodné používat příliš měkký polystyren na jádro.) Vložením křídel do tohoto lisu a stažením, je práce na výrobě polotovarů křídla ukončena. Příprava na potažení a potažení křídel vám zabere asi 2 hodiny. Křídla můžeme z lisu vyjmout podle typu použitého lepidla. U L-285 je to při opatrné manipulaci asi za 10 hodin.

Jak vypadají „surová křídla“ je vidět na dalším obrázku. Je na nich ještě přilepený polystyren z negativních výřezů. Negativní výřezy budeme potřebovat již jen pro zalepení torzních náhonů křídélek, takže jejich poškození nevádí. Z potahu zbytky polystyrenu obrousíme. Dále pečlivě srovnáme náběžnou část křídla pro přilepení náběžné lišty. Já používám balzovou lištu 5x10 mm. Lištu ke křídlu přilepíme Purexem, fixaci provedeme špendlíky. Po zaschnutí lepidla lištu opracujeme na hrubý tvar náběžné hrany. Stačí prozatím jen hoblíkem. Přesný tvar dobrousíme při konečném broušení křídla.



Ořežeme křídlo na přesný půdorysný tvar. Vyneseme kořenovou i koncovou hloubku křídla, nakreslíme koncový oblouk. Měříme samozřejmě od náběžné hrany. Křídlo ořežeme lupenkovou pilkou na půdorysný tvar, řez začistíme a smirkovým plátnem provedeme dobroušení přesného tvaru. Koncový oblouk křídla řešíme s ohledem na vzhled skutečného letounu. Zakončení např. u FW-190A, ME-109E apod. vyžaduje vytvořit koncový oblouk z měkké balsy. U typů jako Me-109F, P-40, Mig-3... apod. s výrazným „eliptickým“ zakončením křídla je možné vytvořit dokonalé a aerodynamicky velice čisté zakončení křídla klínovým snížením. Výhodou je podstatné zmenšení indukovaného odporu křídla, křídlo se také chová, jako by mělo větší vzepětí. Navíc se sníží spotřeba balsy, která je v potřebné tloušťce prkénka přece jen docela drahá.



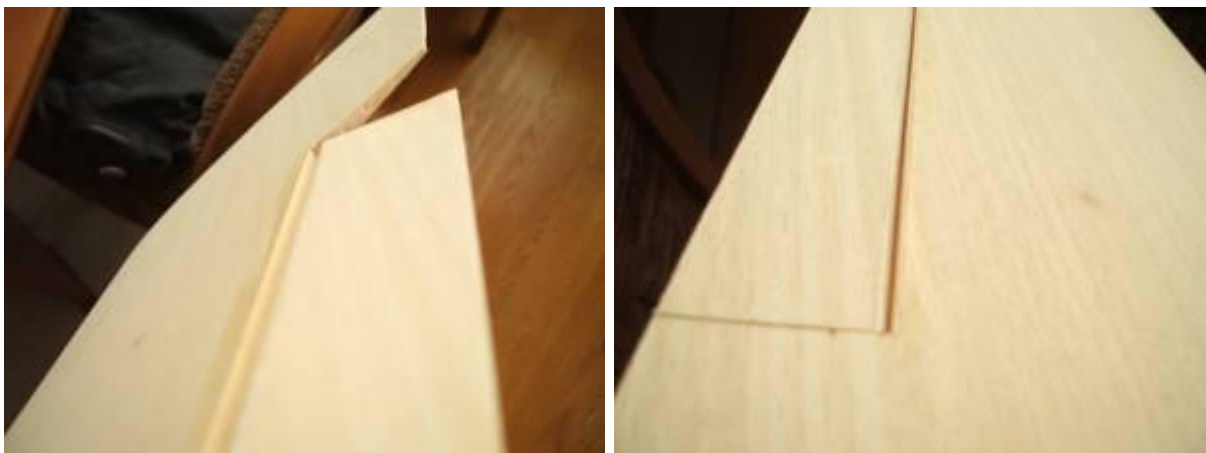
Zmíněný koncový oblouk vytvoříme tak, že přibližně ve vzdálenosti od konce křídla, kde na náběžné hraně navazuje koncový oblouk na přímou část náběžné hrany, prořízneme dolní potah po celé hloubce a odstraníme ho. Tato operace nám také ukáže, jak se nám podařilo přilepit potah k jádru. (Dýha nesmí jít od jádra odtrhnout, měla by se lámat.) Po odlepení potahu obrousíme polystyrenové jádro do klínu směrem k hornímu potahu. Jak vypadá takto opracovaný konec křídla je vidět na obrázku. Na takto opracovaný konec křídla přilepíme dýhu se

stejnou orientací let jako na potahu křídla. Rázová pevnost konce křídla je dobrá, snáší různě nepovedená přistání a nepraská jako oblouk vybroušený z bloku balsy. Nalepenou dýhu koncového oblouku zabrousíme do konečného tvaru, dokončíme zabroušení náběžné hrany a celé křídlo vybrousíme smirkovým plátnem o hrubosti 120 do konečné podoby

Další operací je oddělení křídélka. Křídélko nejprve nakreslíme na potah. Měříme podle zaznamenaných kót od náběžné hrany. Pokud jsme měřili správně, měl by se pod čarou závěsu křídélka nacházet vlepený pruh silonové tkaniny. Příčně oddělíme křídélko řezy žiletkovou pilkou. Dbáme na kolmost řezu!!! Horní část dýhového potahu je třeba opatrně proškrabat až k vlepené silonové tkanině. Na to dobře poslouží plátek pilky na kov. Je přesně tak „tupá“, jak je potřeba, abychom dýhu škrabali, ale neprořízli silonovou tkaninu pod potahem. Pracujeme



pečlivě. Je lépe nechat tenoučkou vrstvu dýhy, než narušit tkaninu závěsu. Pak křídlo otočíme a lámacím nožem odřízneme proužek potahu na spodní straně potahu. Místo prořezu je ohraničené příčným řezem. Proužek potahu, který odřízneme, musí umožnit výchylku křídélka. Jeho šířka je asi 3 – 4 mm. Proužek odstraníme a pečlivě „oddlabeme“ polystyren ve stejné šířce. (viz obrázek) Při odstraňování polystyrenu odstraníme i epoxid, který při lepení potahu zatekl mezi kuličky polystyrenu a ztvrdnul. Opět pozor abychom nepoškodili tkaninu závěsu. Pak již můžeme vyzkoušet, jak se křídélko v závěsu otáčí. Doporučuji neotáčet křídélkem do „extrémních“ poloh, tkanina závěsu s epoxidem se může zlomit a křídélko odpadne. Pokud se vám to stane, připevníte křídélko závěsy běžným způsobem. Je třeba „utěsnit“ vzniklý zářez umožňující kladné vychýlení křídélka, aby k polystyrenu nedostal lak, barvy a později spaliny z motoru. To jde udělat dvěma způsoby. Zářez můžeme pečlivě vytřít disperzním lepidlem. To ochrání vnitřek křídla před vlhkostí, i vším, co může poleptat polystyren. Pro případ použití elektropohonu je to naprosto dostatečné. Lépe je však zářez vylepit proužky dýhy a balsy. Křídlo i křídélko se uzavře, mezeru lze vylakovat, stříkat barvou, lépe se z ní odstraní zbytky paliva při čištění. Stačí uříznout potřebný proužek dýhy potřít jej disperzním lepidlem a přes proužek balsy 1,5 mm vychýlením křídélka přitisknout ke křídlu. Na straně křídélka přilepíme proužek balsy 1 mm sbroušené do klínu tak, aby byla umožněna požadovaná kladná výchylka křídélka. Po zatvrdnutí lepidla oba vlepené pásy zabrousíme podle povrchu křídla.



Jak vypadá takto provedený závěs ze spodní strany je vidět z obrázků. Důležité je vytvořit dostatečný prostor pro kladné vychýlení křídélka. Balsový pásek na křídélku je použit z důvodu jeho snadnějšího případného odbroušení, pokud bychom nebyli s velikostí výchylky „dolů“ spokojeni. Příčné řezy oddělující křídélko zabezpečíme potřením disperzí. Natírané vrstvy musí být tenké, abychom křídélko nepřilepili ke křídlu.

Další operací je zhotovení torzního náhonu křídélka. Náhon zhotovíme z drátu do jízdního kola, jako ložisko použijeme trubičku Φ 2/3 mm z běžného lanovodu. Protože nejsou osy otáčení křídélka a náhonu totožné, je vhodné vytvořit posuvné uložení páky náhonu v křídélku. V samotném křídélku bude zalepena trubička, ve které se bude páka náhonu moci posouvat. Tím bude rozdíl os otáčení závěsu a křídélka vykompenzován a nebude namáhán závěs křídélka. Samotný torzní náhon je vytvořen z drátu do jízdního kola. Před ohýbání se nesmí zapomenout nasadit trubička ložiska (lanovod). Ohýbání drátu do tvaru náhonu je jednoduché.

Na spodní straně křídla narýsujeme prodlouženou osu otáčení křídélka až do vzdálenosti 1,5 cm od kořene křídla. Podle této osy narýsujeme pruh potahu široký 4 mm, který odstraníme a polystyren v této části odstraníme odfrézováním stopkovou frézou. Do takto vzniklé drážky později zalepíme zkompletovaný torzní náhon křídélka.



otvor vyrobíme opatrným „propíchnutím“ potahu špičkou nože. Celá operace musí být udělána pečlivě a přesně, aby nedocházelo k omezení potřebného pohybu náhonu, oválný otvor na horní straně potahu musí být přesně proti drážce na

Na horní stranu křídla narýsujeme v prodloužení osy otáčení křídélka střed oválného otvoru pro páku náhonu. Je opět 1,5 cm od kořenu křídla. Jeho velikost je asi 10x3 mm a osa oválu musí být kolmá k rovině otáčení křídélka. Oválný



spodním potahem. Jak drážka a oválný otvor pro náhon vypadá je vidět na obrázku. Zhotovení drážky i oválu je bezproblémové, pokud použijeme opravdu ostrý nůž, nejlépe špičatý modelářský skalpel. Lepení náhonu rozdělíme na dvě části. Nejdříve se zalepí část náhonu v křídle, potom se zalepí část páky v křídélku. Pokud tuto operaci takto nerozdělíme, snadno se zalepí křídélko a je problém celý mechanismus „rozpohybovat“.



K lepení části v křídle doporučuji použít Purex. Celou drážku vytřeme Purexem, vložíme náhon, znovu vše potřeme Purexem a nakonec drážku uzavřeme balsovou lištou. Pro fixaci vše stáhneme přiložením smrčkové lišty přes nějakou separační folii, aby se nepřilepila ke křídlu. Celek položíme na negativní výřez křídla a stáhneme svěrkami. Tím je zabezpečeno, že nedojde k deformaci profilu křídla. Jak celá operace vypadá je opět na obrázku. Purex vypění a dokonale vyplní drážku okolo trubičky náhonu. Celé křídlo tím získá v podstatě

původní pevnost. Po vytvrzení Purexu odstraníme zbytky, které nám vypění do oválného otvoru páky křídélka a ke křídélku. Potom mezi křídlo a drát náhonu vložíme kousek separační folie a zalepíme trubičku páky v křídélku. Křídélko vychýlíme na maximální kladnou výchylku. Tím přitiskneme křídélko ke křídlu a uzavřeme lepidlem část křídélka okolo náhonu, kam by mohla vnikat vlhkost a spaliny. Vše lepíme pětiminutovým epoxidem.

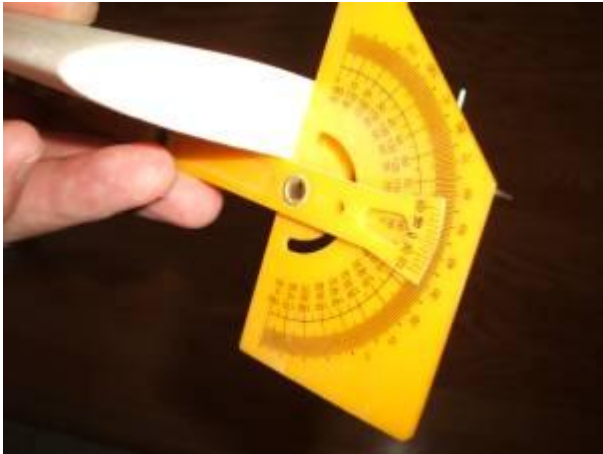


Po vytvrzení epoxidu do manipulační pevnosti (cca 5 min) odstraníme fólii a špičkou nože odseparujeme drát náhonu od křídélka a zkontrolujeme pohyblivost křídélka. Mělo by se pohybovat volně, ale bez vůlí. Je pravděpodobné, že bude třeba proříznout příčné oddělení křídélka na obou stranách. Toto provedeme žiletkovou pilkou. Pokud se podíváte pozorně na páku v křídélku, zjistíte, že se při pohybu křídélka opravdu v trubičce posouvá. Pokud bychom páku zalepili „natvrdo“, muselo



by docházet ke křížení v závěsu křídélka. Je to dost častá chyba při výrobě torzního náhonu křídélka, která nás zbytečně připravuje o tolik žádanou sílu a rychlost serva. Celou část křídélka pak

přebrousíme a přelepíme zbytkem dýhy do vzdálenosti asi 10 mm za drážku v křídélku a stáhneme svěrkami. Po zaschnutí lepidla celek přebrousíme a začistíme. Tím je vše hotovo. Jak vypadá hotový torzní náhon křídélka zavěšeného pod potahem je vidět z obrázků. Popsaný závěs a torzní náhon křídélka nijak nenarušuje konstrukci křídla, je levný a snadno se zhotovuje. Pokud jsme pracovali pečlivě, je torzní náhon bez vůlí a křídélko přesně navazuje na obrys křídla, a to i při jeho negativním překroucení. Průřez křídélka také přesně „pasuje“ do profilu křídla, protože vznikl jako jeho součást. Je třeba upozornit, že výroba zavěšení křídélka a torzního náhonu je nejpracnější částí technologie.



Závěrečné práce na křídle spočívají v jeho slepení, a zhotovení prvků pro uchycení křídla k trupu. Před slepením polovin křidel je třeba zbrousit kořenovou část obou polovin do úkosu tak, aby při slepení vytvořila potřebné vzepětí. Broušení úkosu provedeme smirkovým papírem nalepeném na dlouhé podložce. Úhel úkosu kontrolujeme buď úhloměrem, nebo měrkou z překližky. Při lepení polovin křídla do jednoho celku je třeba kontrolovat zejména dodržení úhlů nastavení obou polovin křídla (abychom nevytvořili rotor vrtulníku). Jelikož

stavíme křídlo podle vzoru konkrétního letounu a chceme mít stejnou siluetu křídla, je třeba zkontrolovat i úhel šípovitosti. No a třetí veličinou je požadované vzepětí křídla. Vše se dá snadno kontrolovat vzhledem k rovině stavební desky, na kterou si narýsuje tužkou konstrukční čáru se středem a značkami konců křidel. Pod lepený spoj vložíme kousek separační folie. Přesné vzdálenosti pro nastavení úhlů šípů náběžné hrany odečteme z výkresu a pomocí úhelníků nastavíme lepená křídla. Pokud je to třeba provedeme příslušné přebroušení úhlů zkosení kořenů křidel. Když vše „pasuje“ nanese Purex, sesadíme a necháme zatvrdnout lepidlo. Je vhodné do polystyrenu kořenového „žebra“ napíchat kouskem drátu do kola několik děr, (3-5 mm hlubokých) do kterých vypění Purex. Spoj křídla bude pevnější.

Nejčastěji používaným spojením křidel a trupu je spoj pomocí kolíku a plastových šroubů. V místě vlepení kolíku je třeba náležitě zesílit křídlo. K tomu vytvoříme „kaslík“ z balsy ve tvaru položebra do kterého vlepíme bukový kolík. Potřebná délka „kaslíku“ je asi 3 cm. Pro tento „kaslík“ pak ve středové části vyřízneme pilkou zářez a kaslík vlepíme Purexem do tohoto zářezu. Po zatvrdnutí lepidla ořežeme přeteklé lepidlo a položebro zabrousíme do tvaru profilu.



Poslední operací na křídle je přelaminování spoje křídla skelnou tkaninou. Postačí pruh v šířce 25 – 30 mm o gramáži 30 g/dm². Toto přelaminování spoje podstatně zvýší jeho rázovou pevnost. Při laminování zesílíme ještě dvěma vrstvami stejné tkaniny místo, kde budou procházet křídlem plastové šrouby. Tím zabráníme omačkování křídla hlavami šroubů při dotahování křídla k trupu. Pro rozpětí křídel okolo 1m jsou šrouby M4 dostačující. Po zatvrdnutí pryskyřice laminátové zesílení přebrousíme a přetmelíme modelářským tmelem. Po jeho vytvrzení opět tmelena místa přebrousíme. Pokud je ze spodní strany křídel přidán nějaký tvarový díl, který navazuje na tvar trupu, vyrobíme a přilepíme tento díl.

Lože serva křídélek vytvoříme odstraněním potahu a oddlabání polystyrenu. Připomínám, že je třeba před konečným umístěním serva křídélek zkontrolovat, zda náhon pák křídélek a servo samotné nebude „překážet“ něčemu, co je již v trupu nainstalované. Je nemilé přijít na to až v okamžiku, kdy chceme křídlo přišroubovat k trupu. Samotné provedení lože serva je závislé především od typu serva a od našich zvyklostí.

Nyní důkladně celé křídlo vybrousíme, a je – li to někde třeba, vytmelíme povrch (jen vrypy a nerovnosti, ne porézní povrch dýhy).

3. Povrchová úprava.

Povrch křídla značně ovlivňuje jeho aerodynamické vlastnosti. Moderní profily vyžadují dokonalý povrch, mají-li mít deklarované parametry. Proto je třeba věnovat povrchové úpravě křídla náležitou pozornost právě z hlediska drsnosti povrchu. Povrch broušené dýhy se zdá být hladký a bez vady. Je to ale jen zdání. Pokud bychom na takový povrch nastříkali barvu, zřejmě by se nám výsledek moc nelíbil. Povrch dýhy je třeba totiž před nástřikem barvou „vyplnit“. Vyplnění je možné udělat buď potažením křídel tenkým Modelspanem a lakováním modelářskými „acetonovými“ laky. To je běžný postup. Pak je třeba stříkat barevný odstín a vrstvu odolnou palivu. Přírůstek hmotnosti takto zpracovaného povrchu je však nezanedbatelný.

Podstatně lepších výsledků je možné dosáhnout s moderními laky – plniči. Vynikajících výsledků je možné dosáhnout s dvousložkovým polyuretanovým základním lakem MILESI LBA-26. Tento lak se používá jako základní plnič na dýhované povrchy při výrobě nábytku. Obsahuje 45% sušiny a tím pádem dobře zaplňuje veškeré póry v dýze. Jde výborně brousit a výsledný povrch při správném postupu nerozeznáte od kompozitu. Další podstatnou výhodou uvedeného laku je jeho nízká měrná hmotnost a odolnost proti palivu.



Je možné nechat namíchat odstíny barev v paletě RAL. Cena je asi 260 Kč/kg lak a 70 Kč tužidlo. Ceny barevných laků jsou dost odlišné. Prý to závisí od % pigmentů, zejména červené barvy, která je velmi drahá. Použití laku mi doporučil Vašek Janko, šéfredaktor časopisu RC Modely. Musím konstatovat, že nic lepšího jsem zatím na dýhu nenašel.

Poslední prací na křídle kombátového speciálu je jeho „nazbrojení“ zařízením, které, zabezpečí odtržení stuh, pokud s ní přijde do kontaktu. Jedná se o nalepení proužků brusného papíru, nanesení vrstvy speciálního lepidla apod. Každý z Vás má svoji metodu, na kterou nedá dopustit. Proužky je nutné lepit na křídlo před prvním nastartováním motoru. Jinak budou z mastného povrchu

spolehlivě opadávat. Samozřejmě že mám také svoji metodu, objevil jsem ji náhodou. Doufám, že se nebudete zlobit, že vám ji neprozradím. Je to moje „tajná zbraň“. Chtěl bych vám jen připomenout, že nalepením proužků brusného papíru výrazně měníte aerodynamiku celého křídla. Pokud to přeženete a nalepíte široký pruh po celé náběžné hraně, zvětšíte celkový aerodynamický odpor modelu výrazným způsobem. Myslím, že řada z Vás na to již přišla...

Na závěr bych chtěl připomenout, že povrchovou úpravou se dá hodně zachránit, ale taky hodně pokazit. Model je vždy vizitkou modeláře. Tak se snažte, ať je hezký. Nalepené výsostné znaky, znaky letek, osobní symboly pilotů je dobré přestříkat lakem odolným palivu. Nebudou se odlepovat.

Technologii výroby křídla jsem rozepsal podrobněji. Vedla mě k tomu vlastní zkušenost, kdy jsem znal základ technologie, avšak teprve zvládnutí detailů a zapracování zkušeností kamarádů přineslo podstatně lepší výsledky v kvalitě. Možná se někomu zdá postup výroby složitý. Opak je ale pravdou. Vězte, že napsání tohoto článku mi zabralo více času, než samotná stavba křidel pro dva kombatové modely. Křídla na jeden model zaberou asi tak 10 hodin práce (bez započítání času na výrobu šablon, lisu na lepení potahů a času potřebného k vytvrzování lepidel a laků). Vyplatí se dělat křídla v sérii alespoň po dvou, lépe po třech najednou metodou manufaktury (vždy stejné operace na celé sérii). Pak zjistíte, že čas potřebný na zhotovení křídla je ještě kratší.

Doufám, že Vám mé zkušenosti popsané v článku pomohou při stavbě toho Vašeho kombatového brusu. Moji největší radostí pak bude, uvidět Vaše dílko ve vzduchu s 12m stuhou za ocasem...

Pokud máte k článku nějaké připomínky, nebo budete potřebovat moji radu, pište mi na E-mail: pti@centrum.cz.

Ahoj a „ Watch Your Six“

Petr