

LUJITEMUOVIT LENTOKONEENRAKENNUKSESSA

Rakenteiden Mekaniikka Vol. 5
No 3 1972 ss. 245-251; Rakenteiden Mekaniikan Seura, Helsinki

VEIKKO LINNALUOTO

Varsinkin purjelentokoneissa puu oli aina 50-luvun loppuun saakka tärkein rakenneaine. Muitakin lentokoneita ja niiden osia tehtiin toki puusta. Valtion Lentokonetehtaassa maamme lentokoneenrakennuksen kukoistusaikana, joka päättyi toisen maailmansodan mukana, suunnitellut ja rakennetut Tuisku, Viima, Pyry, Myrsky ja Pyörremyrsky olivat puukoneiden tyypillisiä edustajia. Puuna käytettiin Pohjois-Karjalan metsistä huolella valittua tiheäsyistä mäntyä ja erikoisesti valmistettua lentokonevaneria. Lentokoneiden suunnittelijoilta vaadittiin käyttämänsä puuaineen lujuus-, kimmo- ym. ominaisuuksien tarkkaa tuntemusta. Kesä- ja talvirenkaista koostunut mänty ei ole homogeeninen eikä isotrooppinen aine sen enempää kuin koivuvanerikaan. Niiden lujuusopilliset laskumenetelmät ovat tavallisuudesta poikkeavia ja usein varsin monimutkaisia. Professori Arvo Ylinen ollessaan Valtion Lentokonetehtaan pääsuunnittelijana ja sittemmin lentokoneenrakennuksen professorina Teknillisessä korkeakoulussa on tehnyt mittavan työn juuri puuaineen lujuus- ja kimmo-ominaisuuksien tutkimuksen saralla. Hänen tutkimuksensa ovat laajalti tunnettuja myös ulkomailla.

Yleispiirteenä edellä mainituissa lentokoneissa oli se, että siipi ja peräsimet valmistettiin puusta, kun sitä vastoin runko tehtiin teräspuutkiristikkorakenteena, johon kiinnitettiin muotokaaret ja pituuslistat. Verhoukseen käytettiin vaneria ja kangasta. Pintapaineen suurentuessa lentonopeuden mukana oli kangas korvattava vanerilla. Nopeiden lentokoneiden luokkaan kuuluivat Pyry, Myrsky ja Pyörremyrsky.

Puu on edelleenkin hyvä lentokoneen rakenneaine keveisiin rakenteisiin pyrittäessä ja sitä voidaan pitää tässä suhteessa peräti kevytmetallien veroisena. Lujuusopillisesti huonona ominaisuutena on pidettävä sen kimmo- ja liukukertoimien pienuutta. Nykyisissä nopeissa lentokoneissa vaaditaan jäykkiä rakenteita osittain ohjaus- ja vakausominaisuuksien vuoksi osittain värähtelyn eli flutterin välttämiseksi.

Lujitemuovien käyttöönotto 60-luvulla on syrjäyttänyt puun lentokoneenrakennuksessa melko täydellisesti. Kun oikean muotoinen ja siileäpintainen muotti on käytettävissä, lujitemuovista voidaan nopeasti ja helposti valmistaa suuria kappaleita integraaliperiaatetta soveltaen. Urheilukoneen siipi voidaan tehdä kahtena puolikkaana 2-3 päivässä. Puolikkaat liitetään yhteen liimaamalla. Runko voidaan tehdä samalla tavalla. Jopa sivuvakaaja voidaan rakentaa integraalisesti yhteen rungon kanssa. Puu- ja metallirakenteissa sitä vastoin rakenne koostuu lukemattomista pikkuosasista, jotka liitetään yhteen liimaamalla, niittaamalla, hitsaamalla ja muilla menetelmillä. Näiden osien valmistusta ja kokoamista varten tarvitaan lukuisa määrä erikoistyökaluja ja kokoonpanojigejä, joiden suunnittelun ja valmistuksen kustannukset ovat huomattavat. Lujitemuovisten rakenteiden kustannukset sarjavalmistusta varten ovat sen sijaan melko vähäiset. Muottien valmis-

tus on käytännöllisesti katsoen ainoa suurehko kustannus. Mitä suurempi sarja sitä parempi muotti kannattaa tehdä. Lämmitettävä metallimuotti on tietenkin kallein, lujitemuovinen kylmä muotti halvin. Edellisessä tapauksessa valmiiksi laminoitu rakenne jälkikovetetaan muotissa kuumentamalla, jälkimmäisessä tapauksessa jälkikovettaminen suoritetaan sitä varten rakennetussa lämpöhuoneessa, johon kokonainen valmis rakenne asetetaan. Lämmittäminen (n. $70 \cdot \cdot \cdot 120^{\circ}\text{C}$) on tarpeellista lujuusominaisuuksien parantamiseksi. Lujitemuovi on näin ollen erityisen sopiva lentokoneen rakennusaine nimenomaan meidän maassamme, jossa ainakin pienten lentokoneiden suunnittelu ja valmistus halutaan säilyttää kotimaassa ja jossa pääoman vähyys ja kansainvälisen kelpailun kovuus eivät suo mahdollisuutta suurien sarjojen valmistukseen.

Lujitemuovisissa rakenteissa lujuus ja jäykkyys riippuvat kuituaineen suhteellisesta määrästä. Kuidut liitetään yhteen hartsilla, jonka avulla aikaansaadaan myös haluttu muotin mukainen muoto. Hartsin lujuusominaisuudet ovat huonot. Kuituaineen määrässä tulisi pyrkiä ainakin 60 %:n pitoisuuteen. Ylärajakin on olemassa sen takia, että liian vähäisessä hartsimäärässä kuidut koskettavat toisiaan eivät kä kastu kunnolla, jolloin rakenteeseen jää ilmaa ja lujuus tietenkin huononee. Yläraja on noin 90 %.

Lasikuitu on tunnetuin ja yleisimmin käytetty kuitumateriaali. Sen ominaispaino on noin 2,5 ja vetomurtolujuus noin 3 kertaa alumiiniseosten vastaavaa arvoa suurempi. Lasikuidun (S-lasi) kimmokerroin on vain noin 20 % alumiinin kimmokerrointa suurempi. Kun hartsia on rakenteessa 20 $\cdot \cdot \cdot$ 40 %, lasikuitumuovin lujuus- ja kimmo-ominaisuudet huononevat vastaavasti. Lasikuitu-epoksirakenteet ovat kuitenkin painoltaan sekä lujuus- ja kimmo-ominaisuuksiltaan likimain puu- ja kevytmetallirakenteiden veroisia.

mahdollisimman suuri, on levykentät jäykistettävä jäykistyslistoilla tai kerroslevyrakennetta käyttäen. Kerroslevy, joka on erittäin sopiva rakenne-elin lujitemuovirakenteissa, koostuu kahdesta ohuesta pintalevystä, joiden välissä on ydinkerros. Ydinkerros voi olla ohutseinäistä, kennomaista rakennetta, balsaa tai vaahtomuovia. Näiden aineiden ominaispaino on $20 \dots 120 \text{ g/dm}^3$ ja seinämän paksuus kennorakenteissa $0,02 \dots 0,15 \text{ mm}$. Lujitemuovirakenteiden ydinkerros on tavallisesti muovista, jolloin se liimautuu hyvin pintalaminaatissa käytettyyn hartsiin. Paitsi kennorakenteita käytetään ydinkerroksena myös muovivaahtoja, jotka ovat hinnaltaan halpoja, mutta lujuusominaisuuksiltaan kennorakenteita kehnompia.

Lujitemuovirakenteiden sovellutuksia nopeissa lentokoneissa ja avaruusaluksissa on huomattava määrä. Ensimmäisiä näistä lienevät radomit ja dielektriset paneelit. Tarvittiin rakenteita, jotka eivät häirinneet tutkasta lähteviä ja sen vastaanottamia radioaaltoja. Metallihan tähän ei kelpaa, jolloin turvauduttiin lujitemuoveihin. Rakenteet olivat kahden tyyppisiä, toiset olivat tavallisia kuorirakenteita, toiset taas tehtiin kerroslevystä, jossa käytettiin ydinkerroksena joko vaahtomuovia tai kennorakennetta ja pintalevyissä lasikuitukangasta sekä polyesteri- tai epksihartsia. Rakenteen dimensiot riippuivat myös radioaaltojen pituudesta.

Toinen tyypillinen sovellutus on ollut muovisuojausten käyttö sähköjohdoissa sekä ilmastointijohdoissa. Syynä siirtymiseen metallijohdoista muovisiin on ennen kaikkea ollut muovisten johtojen erinomainen väsymiskestävyys, helppo valmistus ja sopivan muodon saaminen useinkin sokkeloisia ja ahtaita tiloja varten.

Sekundäärisissä rakenteissa kuten muotokappaleissa, potkurin spinnerissä tai polttoainesäiliön sisäpinnoituksessa ovat muoviai-

neet erittäin sopivia ja paljon käytettyjä.

Sekä muovien että lujitemuovien käyttöalueita lentokoneenrakennuksessa voitaisiin luetella lisääkin. Mm. satelliittien pintakerroksissa käytetään suuren lämpökapasiteetin omaavia muoveja ablaatioaineena tarkoituksella ilmakehään paluun aikana vähentää satelliitin liike-energiaa sulamis- ja höyrystymisenergiaa hyväksi käyttäen. Näin vältetään itse kapselin liiallinen kuumeneminen ja sulaminen. Uudet lujuusominaisuuksiltaan entistä paremmat kuitulaadut antavat mahdollisuuden käyttää lujitemuoveja nopeidenkin lentokoneiden vaativissa primäärirakenteissa yhä suuremmassa määrin.

Teknillisen korkeakoulun lentokoneenrakennuksen laboratoriossa on vuodesta 1969 lähtien tutkittu lujitemuovien lujuusominaisuuksia ja lujitemuovirakenteiden valmistusmenetelmiä. Sovellutuksena on suunniteltu ja rakennettu purjelentokoneiden hinaukseen ja alkeiskoulutukseen tarkoitettu urheilulentokone. Suunnittelussa on pyritty saamaan koneelle tähän tarkoitukseen hyvät ominaisuudet: lyhyt lähtö- ja laskeutumismatka, hyvä nousukyky ja hyvä näkyvyys kaikkiin suuntiin, myös taaksepäin. Ohjattava nokkapyörä suo erinomaiset liikkumisominaisuudet maassa. Kahden ja puolen vuoden uurastuksen jälkeen prototyyppi suoritti ensilentonsa 26. maaliskuuta 1972.

Prototyypin suunnittelun ja rakentamisen on suorittanut 5...7 miehen ryhmä. Lujitemuovisen rakenteen suunnittelussa on erikoista se, ettei varsinaisia työpiirustuksia tarvita lainkaan. Kun pintakerros tehdään kerroslevynä, on oleellista tietää kuitukankaan kuitujen suunta, kankaiden lukumäärä ja sydänaineen paksuus rakenteen eri kohdissa. Nämä tiedot saadaan lujuustutkimuksista. Valmistajalle riittää työselostus, joka parhaiten voidaan esittää rakenteen yleispiirustuksessa, johon merkitään yllä luetellut tiedot sekä mahdolliset paikalliset

vahvistukset pistemäisten kuormien sisään johtamista varten. Mikäli on tarkoituksenmukaista laminoinnin aikana kiinnittää rakenteeseen korvakkeita tai muita ohjaustankojen ja vaijereiden kiinnitystä varten tarvittavia osia, on nekin merkittävä piirustukseen.

Lentokone "Muhinun" rakenteessa on käytetty lasikuitukangasta, epoksihartsia ja "Tubus" -nimistä saksalaista ydinainetta, jonka ominaispaino on $75 \cdot 125 \text{ g/dm}^3$. Vastaava amerikkalainen "Flexcore" -ydinaine on kevyempää, mutta hinnaltaan kalliimpaa. Koska ydinaineen menekki tässä koneessa on $15 \cdot 20 \text{ kg}$, ei painon menetys ole kuin muutama kilo eikä näin ollen merkitse kokonaispainossa paljoakaan. Lujitemuovirakenteiden kokonaispaino on 250 kg. Tällöin on otettava huomioon, että pintapaneelien lommahdusta lukuunottamatta jännitykset on laskettu käyttäen varmuuskerrointa 3, kun se lujuusmääräysten mukaan on metallirakenteissa 1,5. Näin suurta kerrointa on käytetty, koska on tahdottu välttää mahdollisia yllätyksiä, jotka voisivat johtua rakennemateriaalin epähomogeenisuudesta ja lujuusopillisten laskumenetelmien epätarkkuudesta.



Kuva 1. "Muhinu".

Veikko Linnaluoto, professori, Teknillinen korkeakoulu, Otaniemi.