



# Introduction to Aerospace Engineering

Exams

## **Exam AE1102 Introduction to Aerospace Engineering II - January 25<sup>th</sup> 2011**

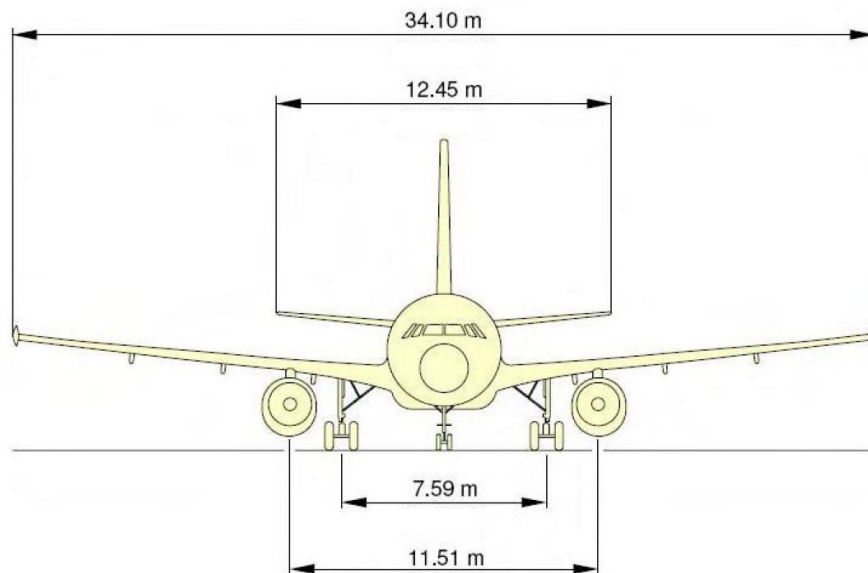
*Go to page 5 for the Dutch version of the exam. Answer in your own preferred language: English or Dutch. Weight of problem is indicated. In total 90 points can be earned. Good luck!*

### **Materials & Structures**

#### **Question 1 (20 pts)**

An Airbus A320 with a weight of 62000 kg lands on its main landing gear with a deceleration of 1.5g. The acceleration of gravity is 9.81 m/s<sup>2</sup>.

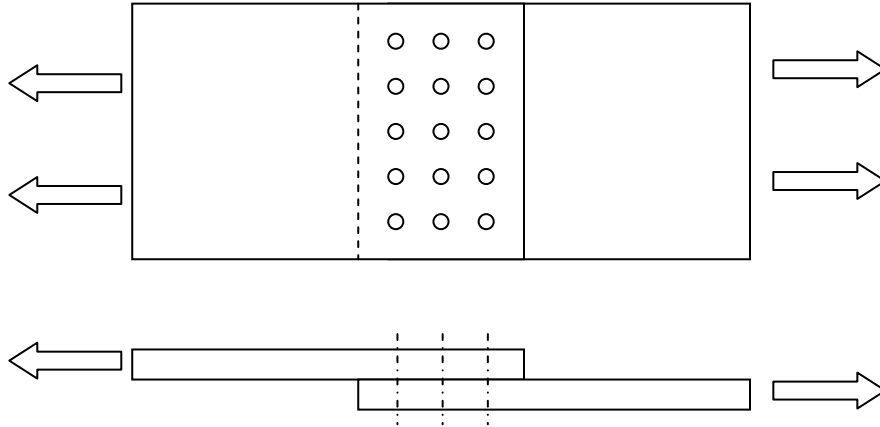
- Calculate the force on each of the two main landing gears induced by this landing.
- The main dimensions of the aircraft are illustrated in the figure below. If the wing root connection is assumed to be at a distance of 1.8 m from the fuselage centre, calculate the moment at this location induced by the landing gears.
- The upper and lower wing skin form, together with the main spars, the wing box. Explain which skin panel between fuselage and engine pylon is loaded in tension and which skin panel is loaded in compression.



- Which statement is correct for the above mentioned landing?
  - The spar webs are loaded in tension
  - All spar caps are loaded in shear
  - All spar caps are loaded in tension
  - The spar webs are loaded in shear
- Give three advantages of applying a torsion box instead of a two spar configuration in a wing structure.
- There are different ways to compare material properties for given structural applications. For example, the specific stiffness  $E/\rho$  can be used but also the ratio  $\sqrt[3]{E}/\rho$ . Explain for the upper and lower wing skin in c) what ratio should be considered most appropriate.
- Wing ribs may be formed from sheet material or they can be forged and/or machined from bulk material. Which of these manufacturing techniques would you choose to make the ribs at the location of the main landing gears and the engine pylons? Explain your answer.
- Mention two other aspects that may influence your decision in g).

**Question 2 (20 pts)**

- a) In general, three type of joining methods can be identified in aerospace structures. Mention these three joint types.
- b) Indicate for each joint type in question a) whether this joint technique is commonly applied for a joint loaded in tension, in shear, or both in tension and in shear.
- c) Consider an aluminium riveted joint, as illustrated below (arrows indicate the applied force). List the three main load transfer mechanisms for this type of joint.
- d) In addition to the load transfer mechanisms in c), secondary loads may be contributing to the performance of the joint. Which two secondary loads can be identified in this riveted joint?



- e) Assume that this type of joint is applied to join two sheets of fibre reinforced plastic laminates composed of unidirectional plies all oriented in loading direction. Which failure mode should be expected? Explain your answer.

To apply riveting in aluminium panels, holes have to be drilled in which the rivets are being squeezed. In general, holes induce a stress concentration  $K_t$ .

- f) Give the general equation for the stress concentration  $K_t$  for an elliptical hole in an infinite sheet and show what  $K_t$  becomes for a circular hole in an infinite sheet.
- g) Despite the fact that holes are being created to rivet the aluminium panels, the actual stress concentration factor is significantly less than expected at all loading levels based on the answer given in f). Which two mechanisms in a riveted joint reduce the stress concentration?

## **Spaceflight**

### **Basic orbit formulas:**

Ellipse equation 
$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos(\theta)}$$

Vis Viva equation 
$$V^2 = \mu \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

NB. If you don't know them by heart the equations for the circular velocity, orbital period and escape velocity can be easily derived from the above 2 equations. Remember that for the parabolic (escape) orbit the semi-major axis  $a = \infty$ .

### **Basic rocket formulas:**

Tsiolkowski (NB.  $c$  is the exhaust velocity): 
$$\Delta V = c \ln \frac{M_{begin}}{M_{end}} = I_{sp} g_0 \ln \Lambda$$

Equation of motion for vertical flight: 
$$M \frac{dV}{dt} = T - M g$$

Mass flow: 
$$m = - \frac{dM}{dt}$$

Thrust: 
$$T = mc$$

### **Question 3 (30 pts)**

The International Space Station (ISS) and a docked Space Shuttle are in a circular orbit at 350 km above the Earth's surface. After undocking, the Space Shuttle needs to change its velocity to enter an elliptical orbit to facilitate re-entry. The highest point of this orbit is at ISS altitude, the lowest point is just touching the earth's surface. Given:  $R_e = 6378$  km,  $\mu = 398600.44$  km<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>.

- (4 points) Compute the circular velocity of the ISS and the docked Shuttle.
- (4 points) Compute the orbital period of the ISS.
- (6 points) Compute the maximum visibility time for a ground station of the ISS
- (4 points) Compute the semi-major axis of the Shuttle re-entry orbit.
- (4 points) Compute the eccentricity of the Shuttle re-entry orbit (3 significant digits).
- (4 points) Compute the velocity change of the Shuttle to get into the re-entry orbit.
- (4 points) What would be the minimum velocity increase needed to achieve escape velocity from the ISS?

See next page for **Question 4 >>>**

**Question 4 (20 pts)**

Consider the vertical flight of a single-stage rocket with dry mass (i.e. construction + payload mass) of 800 kg. It is to take the payload to a velocity of 3 km/s. The specific impulse is equal to 300 s. The burn time equals 1.5 minutes. Given:  $g_0 = 9.81 \text{ m/s}^2$ , can be considered independent of altitude.

- a) (8 points) How much propellant mass is required? Hint: don't forget gravity losses.
- b) (4 points) What is the thrust of this rocket in kN (assume propellant mass = 2193 kg if you could not answer the previous question)?
- c) (4 points) What is the net acceleration of the rocket at lift-off and at burnout (assume thrust = 71.1 kN if you could not answer the previous question)?
- d) (1 points) How much time does the rocket take to reach culmination altitude after burnout?
- e) (3 points) What is the altitude gain of the rocket until culmination after burnout?

**N.B. When answering the questions, the formulas you used should be written down before you substitute numbers. Answers only in the form of the numerical end result will be graded as being WRONG.**

## Tentamen AE1102 Introduction to Aerospace Eng II (NL) – 25 januari 2011

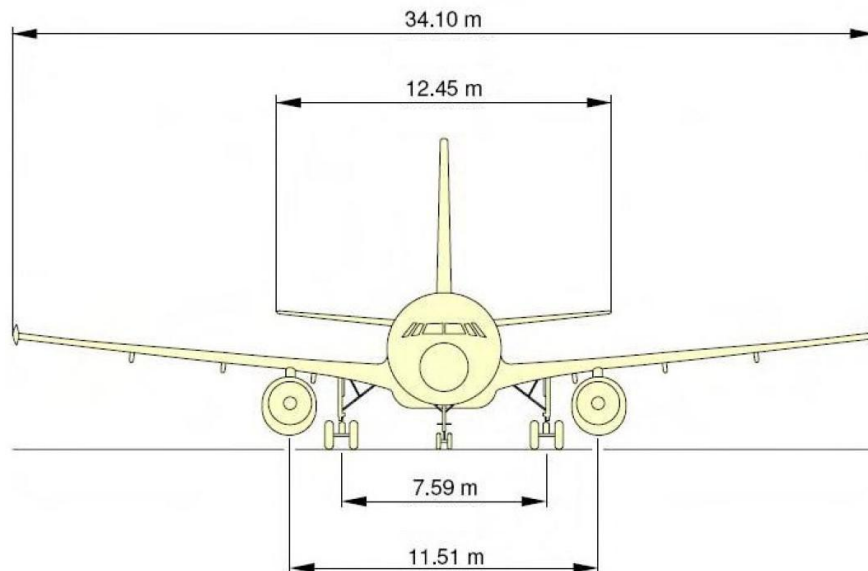
Beantwoord de vragen in de taal van je keuze: Engels of Nederlands, los van in welke groep je zit. Het gewicht staat per opgave aangegeven, in totaal zijn dat 90 punten.

### Materialen & Constructies

#### **Vraag 1 (20 punten)**

Een Airbus A320 met een gewicht van 62000 kg land op het hoofdlandingsgestel met een vertraging van 1.5g. The valversnelling is  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

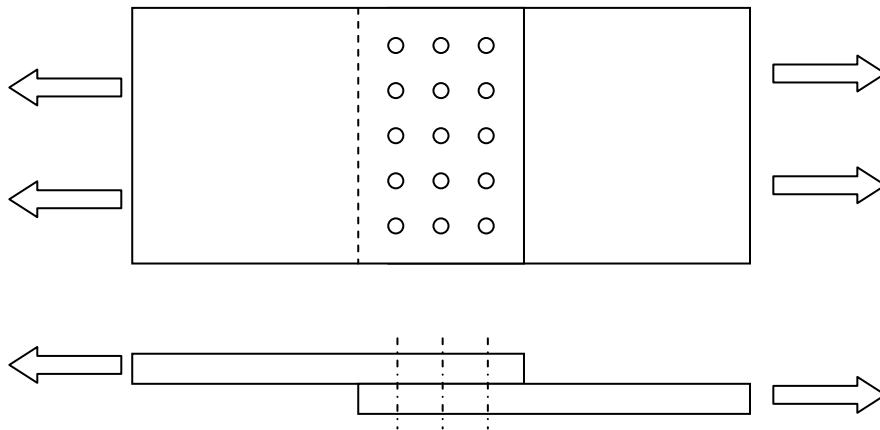
- Bereken de kracht op elke van de twee hoofdonderstellen als gevolg van de landing.
- The belangrijke afmetingen van het vliegtuig zijn geïllustreerd in de onderstaande figuur. Als de verbinding aan de vleugelwortel zich bevindt op een afstand van 1.8 m van het midden van de romp, bereken het moment dat op deze locatie is aangebracht door het landingsgestel.
- De boven- en onderhuid van de vleugel vormen samen met de hoofdliggers de torsiedoos. Leg uit welk huid paneel tussen romp en motorophanging belast wordt op trek en welk huid paneel belast wordt op druk.



- Welke uitspraak is correct voor de hierboven genoemde landing?
  - The ligger lijfplaten zijn belast op trek
  - Alle ligger gordingen zijn belast op afschuiving
  - Alle ligger gordingen zijn belast op trek
  - The ligger lijfplaten zijn belast op afschuiving
- Geef drie voordelen voor het toepassen van een torsiedoos in plaats van een twee ligger configuratie in een vleugelconstructie.
- Er zijn verschillende manieren om materiaaleigenschappen met elkaar te vergelijken voor een gegeven constructie. Bijvoorbeeld, de specifieke stijfheid  $E/\rho$  kan gebruikt worden, maar ook de verhouding  $\sqrt[3]{E/\rho}$ . Leg uit voor de boven- en onderhuid in c) welke verhouding het meest van toepassing beschouwd moet worden.
- Vleugel ribben kunnen worden gevormd uit plaatmateriaal of ze kunnen worden gesmeed en/of gefreesd van bulk materiaal. Welke van deze genoemde productietechnieken zou jij kiezen om de ribben te maken ter plaatse van de hoofdonderstellen en de motorophangingen. Leg je antwoord uit.
- Noem twee andere aspecten die je keuze in g) kunnen beïnvloeden.

## Vraag 2 (20 punten)

- Er kunnen in het algemeen drie verbindingsmethoden geïdentificeerd worden voor luchtvaartconstructies. Noem deze drie verbindingstypen.
- Geef voor elk verbindingstype in vraag a) aan of deze verbindingstechniek veelal wordt toegepast voor verbindingen belast op trek, op afschuiving, of zowel op trek als op afschuiving.
- Beschouw een geklonken aluminium verbinding zoals hieronder geïllustreerd, as (pijlen geven de opgelegde belasting aan). Noem de drie meest belangrijke mechanismen voor belastingsoverdracht in dit type verbinding.
- Naast de mechanismen voor belastingoverdracht in c) kunnen secundaire belastingen bijdragen aan de prestaties van de verbinding. Welke twee secundaire belastingen kunnen in deze geklonken verbinding geïdentificeerd worden?



- Neem aan dat dit type verbinding wordt toegepast om twee platen van vezelversterkte kunststof laminaten met elkaar te verbinden, waarin de vezels in alle lagen unidirectioneel liggen in de richting van de opgelegde belasting. Welk faalmechanisme zal dan verwacht moeten worden? Leg je antwoord uit.

Om klinken toe te passen in aluminium panelen, moeten er gaten geboord worden waarin de klinknagels worden geperst. In het algemeen, hebben gaten een spanningsconcentratie  $K_t$  tot gevolg.

- Geef de algemene formule voor de spanningsconcentratie factor  $K_t$  voor een elliptisch gat in een oneindige plaat, en laat zien wat de  $K_t$  wordt voor een cirkelvormig gat in een oneindige plaat.
- Ondanks het feit dat gaten worden geboord om aluminium panelen te klinken, is de werkelijke spanningsconcentratie factor voor elke belasting significant lager dan verwacht wordt op basis van het antwoord in f). Welke twee mechanismen in een geklonken verbinding reduceren de spanningsconcentratie factor?

## Spaceflight

### **Basis formules voor satellietbanen:**

Ellips vergelijking 
$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos(\theta)}$$

Vis Viva vergelijking 
$$V^2 = \mu \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

NB. Als je de formules voor de cirkelsnelheid, omlooptijd en ontsnappingsnelheid niet uit het hoofd weet dan kun je ze eenvoudig uit bovenstaande 2 vergelijkingen afleiden. Bedenk dat voor de parabolische (ontsnappings) baan de halve lange as  $a = \infty$ .

### **Basis formules voor de raket:**

Tsiolkowski (NB.  $c$  is de uitstroomsnelheid): 
$$\Delta V = c \ln \frac{M_{begin}}{M_{end}} = I_{sp} g_0 \ln \Lambda$$

Bewegingsvergelijking voor verticale vlucht: 
$$M \frac{dV}{dt} = T - M g$$

Massastroom: 
$$m = - \frac{dM}{dt}$$

Stuwkracht: 
$$T = mc$$

### **Vraag 3 (30 punten)**

Het International Space Station (ISS) en een daaraan gekoppelde Space Shuttle zijn in een circulaire baan op 350 km boven het aardoppervlak. Na loskoppelen moet de Shuttle zijn snelheid veranderen om in een elliptische baan te komen teneinde terugkeer in de dampkring mogelijk te maken. Het hoogste punt van deze baan ligt op de hoogte van het ISS en het laagste punt raakt precies aan het aardoppervlak. Gegeven:  $R_e = 6378$  km,  $\mu = 398600,44$  km<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>.

- (4 punten) Bereken de cirkelsnelheid van het ISS en de gekoppelde Shuttle.
- (4 punten) Bereken de omlooptijd van het ISS
- (6 punten) Bereken de maximale zichtbaarheidstijd van het ISS vanaf een grondstation
- (4 punten) Bereken de halve lange as van de terugkeerbaan van de Shuttle
- (4 punten) Bereken de excentriciteit van de terugkeerbaan van de Shuttle (3 significante cijfers)
- (4 punten) Bereken de snelheidsverandering die nodig is om de Shuttle in de terugkeerbaan te brengen
- (4 punten) Wat zou de minimale snelheidstoename zijn die nodig is om de ontsnappingsnelheid te bereiken vanaf het ISS?

Kijk op de volgende pagina voor Vraag 4 >>>



**Vraag 4 (20 punten)**

Beschouw de verticale vlucht van een eentrapsraket met een lege massa (constructie massa + nuttige lading) van 800 kg. De raket moet de nuttige lading een snelheid van 3 km/s geven. De specifieke impuls bedraagt 300 s. De brandtijd is 1,5 minuten. Gegeven:  $g_0 = 9,81 \text{ m/s}^2$  en mag onafhankelijk van de hoogte worden verondersteld.

- a) (8 punten) Hoeveel stuwstofmassa is nodig? Hint: vergeet de zwaartekrachtsverliezen niet
- b) (4 punten) Wat is stuwkracht van deze raket in kN (veronderstel stuwstofmassa = 2193 kg als je de vorige vraag niet kon beantwoorden)?
- c) (4 punten) Wat is de netto versnelling van de raket bij de start en bij uitbranden (veronderstel stuwkracht = 71.1 kN als je de vorige vraag niet kon beantwoorden)?
- d) (1 punt) Hoe lang duurt het na uitbranden tot de raket het hoogste punt bereikt?
- e) (3 punten) Wat is de toename van de hoogte van de raket na uitbranden tot het hoogste punt?

**NB. Bij het beantwoorden van de vragen moeten de gebruikte formules worden weergegeven voordat er getallen worden ingevuld. Antwoorden in de vorm van alleen maar het gevraagde getal worden FOUT gerekend.**