

Bilaga 3 Studieplan i ämnet Aerospace Engineering

Gemensamma föreskrifter och riktlinjer för studier på forskarnivå vid KTH finns i högskolans övergripande regelverk för utbildning på forskarnivå. Denna studieplan för utbildning på forskarnivå i ämnet *Aerospace Engineering* kompletterar gemensamma föreskrifter och riktlinjer med följande ämnesspecifika anvisningar.

Ämnesbeskrivning samt mål för utbildningen

Forskare och ingenjörer verksamma inom *Aerospace Engineering* arbetar inom konstruktion, utveckling, utprovning samt drift och underhåll av kommersiella och militära flygplan, helikoptrar, rymdfarkoster och satelliter. Dessa tekniska system är mycket komplexa och korrekt utformning och konstruktion är beroende av samverkan mellan ett flertal discipliner som aerodynamik, struktur, aeroelasticitet, flygmekanik, styrsystem och framdrivning. Utbildning på forskarnivå bedrivs i huvudsak inom fyra huvudområden, men även andra områden kan komma i fråga.

Flygteknik

Aerodynamiska egenskaper för flygplan utvecklas kontinuerligt genom en nära samverkan mellan experimentella försök i vindtunnel, utveckling av nya avancerade beräkningsmetoder samt utvärdering av resultat från flygprov. Beräkningsmetoder baseras på lösning av de differentialekvationer som beskriver strömningsfältet runt flygplanet. Tillämpningsområden är vingprofiler och vingar med hög lyftkraft och litet motstånd, höglyftsanordningar, aerodynamik vid höga anfallsvinklar, virvelströmning, integration av luftintag med flygplanskropp, och styrning av laminär strömning.

Flygplanets dynamik och stabilitet påverkas av samverkan mellan aerodynamiska krafter på kropp, vinge och styrytor, flygplanets styvhets- och massfördelning samt framdrivningssystem. Forskning inom området behandlar utveckling av modeller för analys av flygegenskaper och stabilitet. Vidare behandlas utformning av styrlagar och samverkan mellan pilot och flygplanets styrsystem.

Nya dimensioneringsmetoder för flygplan utvecklas med speciell hänsyn till samverkan mellan flygplanets aerodynamik, strukturmekanik och styrsystem. Dimensioneringsmetoderna baseras på numerisk optimeringsmetodik i samverkan med aerodynamiska beräkningsmetoder och finita elementmodeller för strukturdynamisk analys.

Lättkonstruktioner

Lättkonstruktioner är ett generiskt och applikationsnära forskningsområde baserat på materialteknik, strukturmekanik, processteknik och design. Det vetenskapliga målet är att utveckla förståelsen för specifika fenomen inom dessa områden eller i gränssnittet mellan dem. Framförallt studeras nya okonventionella material och strukturer och deras användning i applikationer där låg vikt är ett krav. Särskilt studeras polymera fiberkompositer, biobaserade material, skum och strukturella topologier, det vill säga material som har gemensamt att vara anisotropa och inhomogena. Prestanda betraktas här som ett generellt begrepp som syftar på både funktionalitet såväl som användning, då uttryckt i bränsleförbrukning, miljöpåverkan eller livscykelkostnad.

Rymdteknik

Inom rymdteknik behandlas framförallt konstruktion, styrning och drift av små och medelstora satelliter. Även raketsystem för uppskjutning, effektiva rymdfarkoster för interplanetära forskningsuppdrag, och mätutrustning för rymdmiljö analyseras och utvecklas. Ämnet är mycket multidisciplinärt och effektiv systemintegration och miniatyrisering är väsentlig på grund av de stora kostnader som är förknippade med rymdfarkoster. De flesta satelliter och rymdfarkoster är obemannade vilket även ställer stora krav på tillförlitlighet, styr- och övervakningssystem. Dessa bivillkor ställer ofta krav på mycket innovativa lösningar för att kunna utföra mätningar eller andra uppgifter på en rymdplattform.

Rymdfysik är en väsentlig del av ämnet där miljön utanför atmosfären studeras. Detta omfattar studier av norrsken, strålningsbälten, rymdväder samt solvindens växelverkan med olika planeters magnetfält. God kännedom om rymdmiljön är en förutsättning för att kunna konstruera tillförlitliga satelliter, rymdfarkoster och mätutrustningar.

Systemteknik

Modeller utvecklas för simulering, analys och optimering av flygplans och rymdfarkosters manövrar och i mer komplicerade fall även hela uppdrag. Till exempel utformas hela flygplanets eller rymdfarkostens bana från start till givet mål så att energiförbrukningen minimeras med bivillkor på flygtid och tekniska begränsningar. Denna form av optimering utförs genom att integrera en flygmekanisk modell med numerisk optimeringsmetodik.

Flygplan och rymdfarkoster har ofta mycket avancerade styrsystem och även en hög grad av automation. Moderna flygplan har också många och redundanta styrfunktioner vilket gör det möjligt att med avancerade metoder optimera prestanda för olika manövrar. Ett stort område är även helt obemannade flygplan och rymdfarkoster som behöver kunna fatta egna beslut baserade på information som inhämtas med olika sensorer. Avancerade metoder utvecklas också för så kallad systemidentifiering där matematiska modeller för flygplanets dynamik tas fram från olika former av experimentella prov såsom flygprovdata.

Matematiska och numeriska beräkningsmodeller utvecklas även för att optimera de många och komplicerade planeringsproblem som finns inom ämnesområdet. Exempel är resursallokering av personal och flygplan i ett flygbolag för att på bästa sätt utnyttja resurserna för ett givet nätverk av rutter mellan olika destinationer. Liknande modeller utvecklas även för till exempel reservmaterieförsörjning där både mängden och lokalisering av reservdelar optimeras för att reducera totala kostnaden med hänsyn till sannolika felfall och kostnader för stillestånd.

Målsättning

Målet med utbildningen på forskarnivå är att doktoranderna skall bli självständiga forskare. Den forskarutbildade ska efter avslutade studier kunna:

- beskriva och förklara teorier och empiriska resultat inom sitt område,
- formulera konkreta forskningsfrågor inom ämnesområdet,
- använda vetenskapliga metoder och utveckla ny kunskap genom vetenskapliga studier,
- kritiskt analysera och värdera tillämpade metoder och resultat från egna och andras vetenskapliga studier,
- presentera och diskutera forskningsresultat inom vetenskapssamhället,

- presentera forskning på ett pedagogiskt sätt utanför vetenskapssamhället i utbildningssammanhang,
- bedöma etiska aspekter kring forskning inom ämnesområdet och agera utifrån dessa, samt
- identifiera behov av ny forskning och ha kunskap om att initiera och leda forskning.

Utbildningen skall även sträva mot att doktoranden efter avslutade studier skall kunna:

- delta i tvärvetenskapliga samarbeten inom problemområdet, samt
- analysera forskningens roll i samhällsutvecklingen.

Aktuell forskning

På senare tid har det blivit allt mer fokus på ökad energieffektivitet inom flyget. Även om flygtrafiken är förhållandevis effektiv - ett modernt trafikflygplan förbrukar ungefär samma bränslemängd per passagerarkilometer som en bil - så kommer lägre förbrukning och reducerade utsläpp av föroreningar att krävas. För att möta dessa krav sker nu stora satsningar på forskning och utveckling för att reducera vikt, minska luftmotstånd och effektivisera framdrivningssystemen. Även inom rymdtekniken är reducerad energiförbrukning av största vikt. Med lägre energiförbrukning kan satelliter och obemannade rymdfarkoster ges längre livstid och ökad räckvidd.

Vikten kan reduceras genom ett ökat användande av kompositmaterial. För att öka användandet av kompositmaterial krävs bättre tillverkningsteknik, metoder för att simulera tillverkningsprocesser samt förbättrade dimensioneringsmetoder. Ett aktuellt forskningstema är även kompositmaterial med integrerade sensorer för övervakning av strukturens tillstånd. Sensorerna kan användas för att detektera skador och därmed kan underhåll och reparationer individanpassas och optimeras för att reducera kostnaderna.

Stora vinster är även möjliga med effektivare flygtrafikledning. Genom att varje flygplans flygbana optimeras för lägsta bränsleförbrukning, samtidigt som hänsyn tas till övrig flygtrafik för att undvika kollision och säkerställa tillräckliga marginaler, kan väsentliga vinster åstadkommas. Problemställningen är komplicerad eftersom optimeringen av varje enskild flygbana i sig är ett olinjärt optimeringsproblem. Att samtidigt ta hänsyn till annan flygtrafik och luftrumsrestriktioner leder till kombinatoriska optimeringsproblem som idag inte kan lösas på ett tillfredställande sätt.

Utbildningens utformning

Utbildningen på forskarnivå består av en kursdel och en avhandlingsdel, med inbördes poängkrav enligt nedan. Kursmomenten skall till övervägande del bestå av teknikvetenskapliga kurser. Dessa väljs tillsammans med handledare efter de kunskapsbehov som kan anses föreligga för själva forskningsarbetet.

Utbildningen bedrivs under ledning av en huvudhandledare tillsammans med en eller flera biträdande handledare. Utbildningen skall följa den individuella studieplan som godkänts av skolans forskarutbildningsansvarige. Den individuella studieplanen skall anpassas till förkunskaperna samt till avhandlingens inriktning. Doktorandens framsteg ska bedömas minst en gång per år i samband med revision av den individuella studieplanen som ska göras av doktorand och huvudhandledare.

Den studerande förutsätts bedriva sin forskning med målsättningen att efter hand skriva tekniska rapporter (uppsatser) som sedermera skall ligga till grund för avhandlingen. Dessa rapporter

skickas för publicering i internationella tidskrifter inom relevant område med referentgranskning. En eller flera rapporter kan också publiceras som konferensuppsatser varvid den studerande också förutsätts muntligt presentera sitt arbete vid en internationell teknikvetenskaplig konferens.

Obligatoriska och rekommenderade kurser

Kurser som den forskarstuderande skall genomgå bestäms av handledare tillsammans med den studerande. Kurser väljs normalt utifrån dels den studerandes tidigare studier samt vad som anses nödvändigt för att möjliggöra fördjupning och breddning av den studerandes kunskaper och färdigheter inom ämnesområdet. Vissa kurser kommer att vara nödvändiga för genomförandet av forskningsuppgiften medan andra väljs för att ge en ökad bredd inom området.

Villkoren för kursdelen följer KTHs generella regler för densamma. För licentiatexamen krävs kurser om minst 30 hp, samt en uppsats som motsvarar maximalt 90 hp så att den totala poängsumman uppgår till 120 hp. För doktorsexamen krävs minst 60 kurspoäng samt en avhandling som motsvarar maximalt 180 hp så att den totala poängsumman uppgår till 240 hp. Av den totala kursdelen skall hälften av kurserna vara på forskarnivå för licentiatexamen och 60% av kurserna på forskarnivå för doktorsexamen.

Kurser kan, efter överenskommelse med huvudhandledare, tillgodoräknas från tidigare utbildning. Vid tillgodoräknanden skall föreskrifter i KTHs examensordning beaktas. För utbildning på grundnivå och avancerad nivå upp till 240 hp får inget tillgodoräknande ske. Tillgodoräknande får inte göras av kurser som krävs för särskild behörighet till utbildningen på forskarnivå.

En förteckning över programmets kurser i respektive kategori enligt följande ges i Bilaga 2.

Breddningskurser

Den forskarstuderande förväntas läsa åtminstone en kurs inom varje central del av ämnet *Aerospace Engineering*; flygteknik, rymdteknik, lättkonstruktioner, och systemteknik. Studeranden som har läst motsvarande kurser i en tidigare utbildning behöver inte läsa ytterligare kurser för att nå tillräckligt breda baskunskaper. De forskarstuderande ges också möjlighet att läsa kurser i matematik och numeriska metoder på avancerad nivå när avhandlingsarbetet så kräver.

Forskningsfärdighetskurser

Doktorander i ämnet ges även möjlighet att utveckla generella färdigheter i kommunikation och vetenskapsteori. Analys och kommunikation av risker är också en färdighet som är mycket relevant för verksamhet inom *Aerospace Engineering*.

Fördjupningskurser

Ett väsentligt antal fördjupningskurser erbjuds doktorander i *Aerospace Engineering*. En stor andel av dessa kurser ges regelbundet i organiserad form med föreläsningar och seminarier.

Övriga kurser

Forskarstuderande som bedriver någon form av undervisning inom ramen för sin tjänst eller som institutionstjänstgöring skall genomgå pedagogisk utbildning. Kurspoäng för sådan utbildning får medräknas i examen.

Avhandling

Avhandlingen är en obligatorisk del av utbildningen på forskarnivå. Avhandlingen kan vara en så kallad sammanläggningsavhandling eller en monografi. Normalt är en avhandling inom *Aerospace Engineering* av typen sammanläggningsavhandling. Avhandlingen skrivs på engelska.

Licentiatuppsats

En uppsats för licentiatexamen skall innehålla ny vetenskaplig kunskap eller ny tillämpning av befintlig vetenskaplig kunskap. Det senare innebär att tillämpning görs inom ett nytt område och utvecklas via teoretiskt eller experimentellt forskningsarbete. Uppsatsen skall också innehålla en översikt av tidigare forskning inom det valda forskningsområdet.

Oavsett om licentiatuppsatsen läggs fram som en monografi eller en sammanläggning av vetenskapliga artiklar skall den normalt vara av sådan kvalitet att den bedöms motsvara två artiklar som kan publiceras i internationella tidskrifter eller presenteras vid internationella konferenser.

Doktorsavhandling

En avhandling för doktorexamen skall innehålla ny vetenskaplig kunskap eller ny tillämpning av befintlig vetenskaplig kunskap. Det senare innebär att tillämpning görs inom ett nytt område och utvecklas via teoretiskt eller experimentellt forskningsarbete.

Avhandlingen skall också innehålla en översikt av tidigare forskning inom det valda forskningsområdet. Oavsett om doktorsavhandlingen läggs fram som en monografi eller sammanläggningsavhandling av vetenskapliga artiklar skall den normalt vara av sådan kvalitet och originalitet att den bedöms kunna utgöra grund för minst fyra artiklar som kan publiceras i internationella tidskrifter med referentgranskning. Med artiklar menas originalbidrag som innehåller minst ett nytt akademiskt problem med klart nyhetsvärde. Publicerade och accepterade artiklar bedöms likvärdiga, liksom konferensartiklar som har genomgått referentgranskning (vilket inte är normalfallet). Om opublicerade artiklar biläggs avhandlingen skall huvudhandledaren bedöma om dessa uppfyller huvudkravet.

Behörighet och urval

Grundläggande och särskild behörighet samt förkunskaper

Antagning till utbildning på forskarnivå inom *Aerospace Engineering* följer de nationella kraven för antagning till forskarstudier samt KTHs krav på särskild behörighet enligt *Antagningsordning för utbildning på forskarnivå vid KTH, intern föreskrift nr 3/01*.

Regler för urval

Studenter som söker sig till utbildningen på forskarnivå inom *Aerospace Engineering* väljs ut efter den kunskapsprofil som eftersöks för det specifika doktorandprojektet. Studenter som visat stort intresse och fallenhet för ämnet beaktas särskilt vid antagning. Ytterligare viktiga egenskaper är personlig förmåga i kommunikation och initiativförmåga. Bedömningen av detta görs av tilltänkta handledare. Goda kunskaper i engelska (både i tal och skrift) är ett krav och i vissa fall även på svenska. Förmåga att kunna arbeta experimentellt kan vara ett explicit krav, liksom kreativ förmåga.

Normalt antas studenter med en ingenjör- eller naturvetenskaplig akademisk bakgrund, men andra grundutbildningar kan komma i fråga beroende på den tilltänkta forskningens karaktär. Studenter med goda kunskaper i matematik, fysik, materialvetenskap, mekanik, hållfasthetslära och reglerteknik är normalt det som eftersöks.

Beslut om antagning och urval av sökande till utbildning på forskarnivå görs av skolchefen, eller av skolchefen delegerad person, i samråd med huvudhandledaren.

Examina och prov i utbildningen

En licentiatexamen kan utgöra en slutexamen. Även om doktorsexamen är den slutgiltiga avsedda examen avläggs ibland först en teknisk licentiatexamen. Licentiatuppsatsen presenteras vid ett licentiatseminarium.

Doktorsexamen omfattar en sammanlagd studietid motsvarande fyra års studier på heltid. Den studerande försvarar avhandlingen vid en offentlig disputation i enlighet med KTHs allmänna föreskrifter. Avhandlingen bedöms av en av KTH utsedd betygsnämnd.

Prov som ingår i utbildningen

I kurs på forskarnivå ska ingå ett muntligt eller skriftligt kunskapsprov. Utformningen av examinationen ska i varje enskilt fall vara sådan att examinator kan övertyga sig om att den studerande uppfyller kursens lärandemål.