

Mekanikutredning för civilingenjörsprogrammet i Teknisk fysik vid UU

Mikael Enelund¹ och Mårten Olsson²
den 14 augusti 2017

Inledning och bakgrund

Denna text är resultatet av en ”liten utredning” som utförs av ovanstående i syfte att granska innehållet i mekanikkurserna inom civilingenjörsprogrammet i Teknisk fysik vid Uppsala Universitet. Det handlar dels om de befintliga kurserna, men även nya föreslagna i en ny utbildningsplan för programmet vid ett möte med Tekniska utbildningsnämnden (TUN) 2016-10-04. Förslaget kom från PA och var förankrat i programrådet för Teknisk fysik. Vid TUNs möte blev beslutet att bordlägga frågan och tillsätta denna utredning.

Utredningen skall ta fram underlag för programrådets och TUNs framtida arbete. Utredningen bör leda fram till en rekommendation som inte nödvändigtvis är densamma som vare sig den nuvarande studieplanen eller PAs förslag. Olika alternativ kan presenteras. Utredarna behöver inte enas. En solid beskrivning och argumentation för rekommendation /alternativ förväntas. TUN kommer att använda utredningen som ett underlag för att fatta beslut om ny studieplan för programmet.

Mekanikämnet

Den klassiska mekaniken utgör ett huvudområde inom fysiken och är samtidigt också basen i den mekaniska teknikvetenskapen. Den klassiska mekaniken är tillämpbar på materiella system av varierande storlek, från himlakroppar till system på molekylnivå. Den klassiska mekanikens giltighetsområde innehåller inte kvantfysikaliska eller relativistiska effekter. Klassisk mekanik är dock fullt tillräcklig för de flesta ingenjörstekniska tillämpningar. Utformning och tillverkning av i princip alla produkter föregås av mekanikberäkningar och analyser. Mekanikämnet har flera syften i ingenjörstudier. Dels att ge en naturvetenskaplig grund för vidare studier och dels som teknikvetenskaplig bas och ett verktyg vid utformning och dimensionering av produkter. Mekanikämnet är också ett naturligt val för att träna matematisk modellering och simulering eftersom vardagliga system med, för studenterna, kända beteenden kan användas som tillämpningsexempel. Mekanik är därför centralt i civilingenjörstudier inom områdena Tekniks fysik och Maskinteknik. Traditionellt startar utbildningarna med grundkurser i mekanik, ofta parallellt med kurser i matematik.

Mekanik kan generellt behandla alla typer av kroppar som t.ex. partiklar, stela kroppar, deformerbara kroppar och fluider. I ingenjörstudier behandlas vanligen partiklar och stela kroppar i mekaniken medan deformerbara kroppar behandlas i hållfasthetsläran och fluider i strömningsläran.

Den snabba utvecklingen av IT, såväl mjuk- som hårdvara, har lett till nya förutsättningar för ingenjörstudier och utbildning. Delar av produktutvecklingen har automatiseras med datorberäkningar och simuleringar som främsta verktyg. Detta återspeglas vanligen inte i mekanikkurser som av tradition är baserade på problemlösning genom handräkning. Med moderna beräkningsverktyg och algoritmer skulle mer avancerade problem kunna analyseras

1. PA Maskinteknik, Chalmers 2005 -, mikael.enelund@chalmers.se
2. PA Teknisk fysik, KTH 2012 – 2016 samt HT 2017, mart@kth.se

och studenterna mer tränas i att formulera problem, välja modeller och metoder samt bedöma rimligheten hos lösningar.

Två förslag

De obligatoriska mekanikkurserna i civilingenjörsprogrammet Teknisk fysik vid Uppsala Universitet är traditionella och betonar starkt naturvetenskapliga principer med tillämpningar på stela kroppars rörelse. Mer tillämpade av delar som hållfasthetslära, strömningsmekanik och robotteknik finns i mycket liten omfattning i de obligatoriska kurserna. Mekanikkurserna är mycket traditionella när det gäller innehåll och problemlösning. Beräkningsteknik, programmeringsuppgifter och CAE-verktyg som Multi-Body-Dynamics-program för att lösa mer komplexa problem ingår mycket blygsamt eller inte alls. Kurserna är mycket omfattande, mätt i högskolepoäng (20 hp). Kurserna anses av studenterna innehålla för mycket material. Genomströmningen har varit mycket låg. Kursgivarna har arbetat med att modernisera undervisningen och infört mer kontinuerlig examination och studentaktivt lärande. Genomströmningen är nu bättre på Mekanik II och III och bra på baskursen.

De två förslag som finns sammanfattas enligt följande.

Befintliga kurser i mekanik

Här presenteras de befintliga kurserna och deras innehåll, med kommentarer.

Mekanik baskurs (del 1 och 2), 10 hp, är en traditionell grundkurs i mekanik med ett relativt stort inslag av linjär algebra. Kursen innehåller statik och dynamik för partikel och för partikelsystem, begreppen arbete och energi samt accelererade referenssystem och introduktion till speciell relativitetsteori. Jämfört med första kurser i mekanik i andra civilingenjörsutbildningar skiljer sig kursen genom att inkludera accelererande referenssystem och speciell relativitetsteori. Vi anser detta leder till att kursen blir något spretig och att de senare momenten hör hemma på avancerad nivå i valbara kurser. I stället skulle kursen kunna innehålla svängningar för partikeln och/eller allmän plan rörelse. Den linjära algebran i kursen verkar ha fallit väl ut och passar bra tillsammans med statiken.

Mekanik II, 5hp, innehåller allmän plan rörelse, svängningar, elasticitetsteori, vågutbredning (svängningar i kontinuerliga system), statik för stel kropp och tillämpningar på vanliga maskinelement. Kursens innehåll är relevant om än något spretigt. Statik för stel kropp passar bättre i baskursen. Momentet i elasticitetsteori förfaller vara litet och i princip begränsat till en laboration.

Mekanik III, 5hp, innehåller allmän rörelse, tvångsvillkor, Hamiltons princip, Lagranges ekvationer, Hamiltons ekvationer, kopplade svängningar, speciell relativitetsteori, fyrvektorer och tensorer. Speciell relativitetsteori, fyrvektorer och tensorer kan med fördel flyttas till valbara kurser på avancerad nivå för studenter som väljer en teoretisk fysikinriktning. Fyrvektorer är inte centrala för en ingenjörsutbildning och ingår normalt inte. Resterande innehåll motsvarar en kurs i Analytisk mekanik.

Nya kurser i mekanik

Nya kurser i mekanik har föreslagits av programansvarig. De föreslagna kurserna har minskat det naturvetenskapliga innehållet och ökat det mer teknikvetenskapliga innehållet. Stoff som tillkommit är inom strömningsmekanik, hållfasthetslära (elasticitetsteori) samt robotteknik.

Mekanik baskurs(del 1 och 2), 10 hp, behålls som den är i förslaget. Vi anser att momenten accelererade referenssystem och introduktion till speciell relativitetsteori kan utgå och ersättas med mer om statik för stela kroppar och svängningar och eventuellt introduktion till allmän rörelse. Vår erfarenhet är att det bör kunna inkluderas i en kurs med omfattning 10 hp. Eventuellt behöver innehållet i momentet linjär algebra minskas för att möjliggöra detta.

Tillämpad mekanik I, 5hp, innehåller enligt förslaget statik för stela kroppar, stela kroppars allmänna rörelse i 3D men med fokus på specialisering till plan rörelse, grundläggande hållfasthetslära, materialmodeller (fiberkomposit, hyperelasticitet, viskoelasticitet, plasticitet och brottvillkor) svängningar, stöt, något om grundläggande maskinelement, robotlaboration med programmering. Vår slutsats är att kursen omfattar för mycket för 5 hp och risken är att innehållet blir fragmenterat så att inte tillräckligt djup nås för tillämpningarna.

De grundläggande mekanikbegreppen, svängningar för partikeln och allmän plan rörelse kan flyttas till baskursen. Momentet om grundläggande materialegenskaper är alltför omfattande. Vi förslår att materialinnehållet begränsas till isotropt linjärt elastiskt material (ev. idealplastiskt).

Tillämpad mekanik II, 5hp, innehåller dynamiska system, kopplade svängningar, rotordynamik, materialegenskaper, mekatronik, något om styrning av dynamiska system och introduktion till robotmekanik. Kursen är helt ny. Kursen förfaller något omfattande för 5 hp. Innehållet är relevant för utbildningen och följer programansvarigs ambition att styra utbildningen mer mot industrins frågeställningar.

Tillämpad mekanik III (Tillämpad mekanik med strömningslära), 5 hp, är en grundläggande kurs i strömningsmekanik. Kursens innehåll förefaller motsvara mer än 5 hp. Kompressibel strömning och turbulens kan flyttas till valbar kurs på avancerad nivå.

Utöver detta planeras en ny kurs i Robotmekanik.

Hållfasthetslära och strömningsmekanik har centrala roller i tillämpade vetenskaper och är av fundamental betydelse i en lång rad vetenskapliga och ingenjörsmässiga områden. De arbetsuppgifter utbildningen syftar till att de färdigutbildade skall kunna utföra i näringslivet kräver dessa kompetenser. Hållfasthetslära och strömningsmekanik bör därför ingå i en modern civilingenjörsutbildning i Teknisk fysik, särskilt som civilingenjörsutbildningar enligt högskoleförordningen tillhör kategorin ”yrkesutbildningar”. Den föreslagna inriktningen på mekanikkurserna är ett steg mot en mer teknikvetenskaplig utbildning. I kombination med en valbar kurs i Analytisk mekanik kan man också få ett naturvetenskapligt djup för de studenter som väljer den inriktningen. De föreslagna kursplanerna behöver dock genomarbetas. Vi har pekat på moment som behöver lyftas ut och flyttas mellan kurserna för att få genomarbetade sammanhållna kurser med relevanta omfattningar.

Olika synsätt på utbildning

Det är väl värt att reflektera över sin egen grundläggande syn på utbildningen av civilingenjörer. Det finns många målkonflikter att hantera vid utformning av en utbildning, och i den processen kommer det grundläggande synsätt man har slå igenom. För det första handlar det om syfte, vilka lärandemål studenten skall uppnå efter avslutad kurs och vilket stoff som skall gås igenom i kurser. Därefter handlar det om fokus skall vara på tillämpningar

eller på grundläggande teori. Vilken fördelning skall det vara mellan inspirerande moment och motiverande moment, jämfört med direkt kunskapsförmedling? Vilken form av undervisning och examination skall det vara? Synen på hur utbildningen skall gå till är ofta splittrad. Vid tekniska högskolor tydliggörs ofta en konfliktlinje mellan de lärare som vill fokusera på grundläggande kunskap och forskningsförberedelse respektive de som istället betonar ingenjörskunnande och tillämpning. Tillspetsat kan man uttrycka det som ”utbildning av framtida doktorander eller framtida ingenjörer”? Ett synsätt som får alltmer genomslag i modernt programutvecklingsarbete är att ingenjörsmässiga tillämpningar på tillräckligt hög akademisk nivå ger både bättre ingenjörsutbildning och bättre förberedelse för forskarstudier.

Olika roller

En aspekt vid förändringar av utbildning som man inte kan bortse ifrån är de organisatoriska och ekonomiska konsekvenserna de får. Synen på förändring präglas ofta av denna typ av avväganden. Erfarenheter från den egna organisatoriska hemvisten vävs in i den uppfattning man har om hur utbildning skall gå till. Man har en tendens att bevaka de egna resurserna och det egna ämnet. Denna typ av ”bevakning” är en viktig uppgift. Risken är dock att lämpliga förändringar uteblir. Det är också viktigt att förändringar sker på ett genomtänkt sätt som också ger ett sammanhållande program. Det skall finnas ”en röd tråd”, en programidé. För att säkerställa detta har alla program idag en programansvarig och någon form av programråd. De utgör den nivå där ”programtänkandet” skall finnas, de skall verka för helheten i utbildningen. När organisationen fungerar som tänkt skall den programansvarige och programrådet ta sin uppgift på stort allvar. De ska föreslå förändringar i linje med programtänkandet. Samtidigt skall befintliga kursgivare bevaka sina intressen. Bägge dessa saker har fungerat i Uppsala. Det har lett till ett dödläge.

Liten utblick

Civilingenjörsutbildningarna är yrkesutbildningar men också forskningsförberedande. Industrins och yrkeslivets krav på generella ingenjörsfärdigheter som kommunikation, etik, lagarbete och ledarskap samt innovation och entreprenörskap har i alla tider satt press på utbildningarna att utvecklas och lyfta in dessa nya kompetenser. Men, pressen har traditionellt ändå inte haft så stor påverkan på utbildningarna. Under senare tid har de nationella kraven på utbildningen ”återupptäckts” och flera universitet har för första gången på länge känt ett ”tryck utifrån” på sina utbildningar. Från att ha varit enskilda kursansvarigas sak att fundera på hur de bör anpassa sin kurs till industrins behov har programnivån fått känna på trycket utifrån i form av utvärderingar från Universitetskanslerämbetet. Graden av uppfyllelse av de nationella målen har av UKÅ definierats som ”kvalitet”.

Vidare har teknikutvecklingen, IT och digitalisering lett nya förutsättningar för industrin, yrket och utbildningen. Detta behöver återspeglas i utbildningarna samtidigt som den naturvetenskapliga basen i matematik och fysik är nödvändig. Den naturvetenskapliga basen behöver också utvecklas. Den behöver kopplas bättre till ingenjörstillämpningarna och använda IT-verktyg för att kunna studera mer komplexa och realistiska problem och göra utbildningen mer effektiv genom att automatisera vissa beräkningar och därigenom undvika alltför mycket repetitivt räknade.

För att få plats med de nya moment och kurser i utbildningsplanerna har de klassiska naturvetenskapliga och matematiska kurserna fått mindre utrymme i obligatoriet och stoff har flyttats till valbara kurser och inriktningar men även integrerats i mer tillämpade kurser.

Ett exempel på det senare är kurser i Reglerteknik i vilka stelkroppsdyamik ofta integreras. För att få sammanhållna och mer effektiva utbildningar behöver man komma bort från fokus på fristående disciplinära kurser till mer integration och samverkan mellan kurser. Ett exempel på samverkan mellan kurser är att frekvent använda mekanikproblem i matematikkursernas exempel och övningar. Detta fungerar speciellt bra när kurserna undervisas parallellt då det även går att ha gemensamma hemproblem och inlämningsuppgifter.

De generella ingenjörsfärdigheterna integreras vanligen i undervisningen i disciplinära kurser som mekanik men framförallt i projektkurser med problembaserad inläring. I dessa integreras ofta även undervisning av disciplinära ämnen som tillämpad mekanik. Utvecklingen i den klassiska stelkroppsmechaniken i ingenjörsutbildningar går mot integrering och samverkan med matematik och beräkningsteknik och med tillämpad mekanik som robotmekanik, hållfasthetslära strömningsmekanik men också med tillämpningar som mekatronik och reglerteknik.

Det förslag som PA har lagt ligger väl i linje med detta. Omfattningen på klassiska mekaniken i högskolepoäng i förslaget blir mindre än dagens kurser i Uppsala men ungefär likvärdigt med motsvarande utbildningar på Chalmers och KTH. Det som främst skiljer mekanikutbildningen i förslaget jämfört med Chalmers är att Lagrangemekaniken introduceras i det obligatoriska på Chalmers medan det inte finns med i förslaget. Lagrangemekaniken (den analytisk mekanik) inte är centralt i grundkurser och vi instämmer i PA:s analys och bedömer att den inte är nödvändig för fortsatta studier i programmet. Det bör dock erbjudas en valbar kurs i Analytisk mekanik. Newtons lagar för allmän rörelse i 3D bör fortsatt ingå i de obligatoriska kurserna vilket vi bedömer att det finns utrymme till i Tillämpad mekanik II.

Våra rekommendationer

De förslag till förändringar som PA har lagt är väl genomtänkta. De gör att F-programmet i Uppsala i stort närmar sig andra F-program samtidigt som detaljer gör att man erbjuder en unik utbildning. Förändringarna är förankrade i det kunnande som finns vid Uppsala Universitet. Nuförtiden har universitetet verksamhet av ansevärd storlek både inom strömningsmekanik och fastkroppsmechanik. Förändringarna är realistiska och i linje med de nationella målen för civilingenjörsutbildningen.

Kursinnehållet i förslaget behöver dock genomarbetas. Moment behöver flyttas mellan kurser och lyftas ut för att undvika alltför hög arbetsbelastning och överlapp, se nästa stycke för ett exempel. Vi rekommenderar också en valbar kurs i Analytisk mekanik för de studenter som vill få mer grundläggande, teoretiskt innehåll i studierna. Vi vill också påpeka att senare inriktningskurser i hållfasthetslära, strömningsmekanik och robotteknik behöver utvecklas och ta vid där grundkurserna slutade för att säkerställa progression och för att tillse att förändringen leder till en starkare utbildning inom dessa områden.

Vad vi kan bedöma har PA och programrådet haft utbildningens bästa för ögonen. Vi rekommenderar därför att beslut tas som ligger i linje med PAs förslag. Detta ger Teknisk fysik vid Uppsala Universitet en modernare utbildning som förbereder studenterna för en bredare arbetsmarknad, förbättrar måluppfyllelsen vad gäller målen för civilingenjörsutbildningen, samt att förändringarna på intet sätt försämrar utbildningen vad

gäller forskningsförberedelse. Utbildningen blir heller inte slätstruken, ”som alla andra”, utan får en egen profil också inom mekanikområdet.

Den ekonomiska aspekten som följer av vem som ger vilken kurs lämnar vi till TUN att lösa. Detta kan kanske ske med någon modifiering/kompromiss. Men, det är viktigt att inte urholka den nya profileringen vad gäller kursernas innehåll.

Kursplansexempel

Vi rekommenderar således en kursplan som ligger i linje med PA:s förslag men med något omarbetat kursinnehåll. Vi anser också att beräkningsteknik, programmering och moderna CAE-verktyg bör integreras i kurserna. Det skulle kunna ske med inlämningsuppgifter som kräver programmering och demonstrationsuppgifter i MBD, FEM och CFD. Syftet är att ge en inblick i modernt ingenjörsarbete och motivera, men även för att underlätta inläringen genom att använda simuleringar och visualiseringar som ett pedagogiskt verktyg. Kortfattat skulle kurserna kunna utformas enligt

Mekanik baskurs (del 1 och 2), 10 hp

Grundläggande linjär algebra

Statik för partikel och stelkropp: Krafter och moment, kraftsystem, jämviktsvillkor, friläggning och tvång, masscentrum, yttröghetsmoment och tyngdpunkt, friktion.

Partikeldynamik: Newtons lagar, arbete, energi, rörelsemängd och rörelsemängdsmoment, svängningsrörelse och partikelsystem.

Stelkropps-dynamik: Masströghetsmoment, rotation kring fix axel, allmän plan rörelse och stöt.

Tillämpad mekanik I - Hållfasthetslära, 5hp,

Materialmekanik: Spänning, töjning, linjär elasticitet, termoelasticitet, plasticitet, Hookes generaliserade lag.

Hållfasthetslära: Stångens, axelns och balkens differentialekvationer, snittsorheter, spänningar och deformationer. Elastisk instabilitet, Eulerfallen

Elasticitetsteori: Jämvikt och deformationssamband i 2D och 3D, huvudspänningar och effektivspänningar.

Strukturmekanik: Stångbärverk, förskjutningsmetod, introduktion till FEM.

Utmattnings: Enaxlig, praktisk dimensionering med Haigh-diagrammet.

Maskinelement: Förband, lager.

Tillämpad mekanik II – Robotteknik

Relativ rörelse: Rotationsmatriser, vinkelhastighet och vinkelacceleration.

Stelkropps kinematik: Eulervinklar, tvång, rullning.

Newtons ekvationer för stela kroppar plan och tredimensionell rörelse, gyroskopisk rörelse.

Kopplade svängningar: linearisering, egenfrekvenser.

Rotordynamik.

Introduktion till robotprogrammering och styrning.

Tillämpad mekanik III – Strömningsmekanik

Grundläggande begrepp: Kontrollvolymsamband för bevarande av massa, impuls, impulsmoment och energi.

Differentialekvationer för massa, impuls och energi, Eulers, Navier-Stokes och Bernoullis ekvationer.

Dimensionsanalys och likformighetslagar.

Rörströmning.

Turbulens.

Gränsskiktsströmning.

Introduktion till CFD.