

KURSPROGRAM: SE1025, FEM FÖR INGENJÖRSTILLÄMPNINGAR, VT2013**1. Allmän kursinformation**

Vid analys av mer komplicerade tekniska system används i allmänhet datorbaserade metoder. En sådan metod med tillämpningar inom många ingenjörscienser är finita elementmetoden (FEM). Metoden används numer rutinmässigt med stor framgång både i industriella och vetenskapliga sammanhang. **Kursens övergripande mål** är att varje kursdeltagare skall erhålla en grundläggande förståelse för hur energimetoder och variationsprinciper kan användas till att lösa fysikaliska problem. Speciellt kommer dessa principer användas till att formulera FEM-ekvationer för problem inom solidmekaniken och värmeledning. **Kursinnehållet** kan delas in i de två huvudområdena *Energimetoder* och *Finita elementmetoden*, där den senare utgör huvuddelen av kursen. **Förväntade lärandemål för kursen är:**

- Kunna uttrycka elastiskt lagrad energi i deformerade linjärelastiska strukturer och speciellt i fackverk och plana ramverk, samt att analysera dessa m.h.a. metoder baserade på energiprinciper.
- Identifiera frihetsgrader i ett diskret elastiskt system, identifiera randvillkor och definiera externa laster verkande på systemet, formulera jämvikt för systemet på matrisform, och beräkna förskjutningarna i de diskreta frihetsgraderna.
- Formulera finita elementekvationerna för fysikaliska fenomen som kan beskrivas m.h.a. ordinära eller partiella differentialekvationer samt definiera lämpliga randvillkor för dessa.
- Utvärdera resultat från en FEM analys och rekonstruera lösningen på elementnivå.
- Tillämpa FEM för att praktiskt lösa problem inom solidmekaniken begränsat tillstånd-, balk- eller tvådimensionella kontinuumelement.
- Tillämpa FEM för att praktiskt lösa en eller två dimensionella stationära värmeledningsproblem.
- Utföra en FEM-analys av ett solidmekaniskt och ett värmeledningsproblem med ett kommersiellt program.

De viktigaste förkunskaperna är grundkursen i hållfasthetslära, baskursen i mekanik och de grundläggande matematikkurserna. Kursdeltagaren förutsätts vara bekant med matrisalgebra och lösningsmetoder för linjära ekvationssystem. En central del av kursen är baserad på matrisformulerade metoder. Lösandet av inlämningsuppgifterna underlättas om kursdeltagaren är bekant med matematikprogram som t.ex. Matlab och Maple.

2. Lärare och kurshemsida

Föreläsare och kursansvarig: Jonas Faleskog (faleskog@kth.se; 08-790 8977)

Assistenten (övn.): Rickard Shen (rshen@kth.se), Rami Mansour (ramimans@kth.se),
Michal Sedlak (msedlak@kth.se)

Assistenten (datorlab.): Hui Huang (huih@kth.se), Andrii Grytsan (grytsan@kth.se).

Kursens hemsida: **<https://www.kth.se/social/course/SE1025/>**

3. Kurslitteratur

Energimetoder, kursens första del, behandlas i kap. 15 i **HL** (boken används i grundkursen i Hållfasthetslära). Kursens andra del, FEM, behandlas i **LQ** (se förkortning nedan), vilken finns att tillgå i E-boksformat (pdf) från KTHB:s hemsida (kostnadsfri nedladdning). Vid föreläsningarna kommer ett relativt omfattande OH-material att användas, vilket tillsammans med Exempelsamlingen kan köpas från hållfasthetsläras expedition för 100 kr.

- H. Lundh (2005) Grundläggande hållfasthetslära. Inst. för Hållfasthetslära, KTH (**HL** i detaljprog.)
- G. R. Liu & S.S. Quek (2003) *The finite element method—A practical course*. Butterworth-Hein-

mann, Oxford, UK. ISBN: 0750658665. Finns att tillgå som E-book vid KTHB (se instruktioner på kurshemsidan), eller kan köpas från t.ex. Adlibris för ca: 662 kr (paperback, **LQ** i detaljprogrammet).

- Jonas Faleskog (2010) *Exempel i FEM för Ingenjörstillämpningar*. Inst. för Hållfasthetslära, KTH. Säljs på Hållf-exp. (**EX** i detaljprogrammet)

Bra referenslitteratur är dessutom:

J. Fish, T. Belytschko (2007) *A first course in Finite Elements*, John Wiley & Sons Inc., ISBN 978-0-470-03580-1 (paperback). Pris Adlibris.com, ca: 411 kr.

J.N. Reddy (2005) *An Introduction to the Finite Element Method*. McGraw-Hill, ISBN 0071244735 (paperback). Pris Adlibris.com, ca: 449 kr.

Hållfasthetsläras expedition, Osquars Backe 1, plan 1, tel: 08-790 7543, är öppen vardagar kl. 9-11

4. Schema

Tider och salar för föreläsningar och övningar framgår av schemat nedan. Totalt kommer 17 st. föreläsningar (**F**), 8 st. övningar (**Ö**) och 2 laborationer (**Lab**) att hållas under kursens gång. Inför varje inlämning av en hemuppgift kommer *två frågestunder* att hållas i hållfasthetsläras seminarierum (Osquars backe 1, plan 1) enligt schemat nedan. Övningarna genomförs i tre parallella grupper. Datorlaborationerna äger rum i datorsalen **GLADER** i Maskinhuset, Brinellvägen 64. För varje laborationstillfälle finns fyra schemalagda tider.

Vecka	Måndag	Tisdag	Onsdag	Torsdag	Fredag
3 7-11/1					F1: 10-12, E1
3 14-18/1		F2: 13-15, M2	F3: 10-12, D1		F4: 8-10, D2 Ö1: 10-12, E31, E51, E52
4 21-25/1		F5: 15-17, D2	F6: 13-15, D2		F7: 8-10, D2 Ö2: 10-12, E51, E52, E53
5 28/1-1/2	F8: 15-17, D2 Frågestund: 17-18, hållfen	F9: 15-17, D2	Frågestund: 17-18, hållfen	F10: 8-10, E1 Ö3: 10-12, V21, V33, V35	Lab 1.1: 8-12 HU1 inlämnas
6 4-8/2	F11: 15-17, F2	Lab 1.2: 13-17		F12: 8-10, F2	F13: 10-12, M2
7 11-15/2	Lab 1.3 15-19	Ö4: 15-17, E32, E35, E36		Lab 1.4: 8-12	
8 18-22/2		F14: 15-17, D2		Ö5: 8-10, E31, E35, E36 Frågestund: 17-18, hållfen	F15: 8-10, E1 Ö6: 10-12, E31, E35, E36
9 25/2-1/3	F16: 13-15, F1 Frågestund: 17-18, hållfen	F17: 15-17, E1	HU2 inlämnas	F18: 10-12, M2	Ö7: 10-12, D34, E31, E35
10 4-8/3	Lab 2.1: 13-17	Lab 2.2: 13-17	Lab 2.3: 8-12	Lab 2.4: 8-12	Ö8: 8-10, E31, E35, E36
11	HU3 inlämnas tisd. 12/3 Ordinarie tentamen: lörd. 16 mars, kl. 9-14				
22	Omtentamen: torsd 30 maj, kl. 8-134				

5. Kursmoment och kunskapsprov

5.1 Hemuppgifter (HEM1; 1,5 hp)

Kursmomentet HEM1 rapporteras separat i LADOK och består av tre hemuppgifter. Följande regler gäller:

- Hemuppgifterna löses i grupper om två eller tre teknologer och skall gruppvis redovisas i skriftligt form i en enkel rapport där problemställning, lösningsgång och resultat klart skall framgå. **OBS! Eventuella utskrifter från Maple och Matlab kan bifogas rapporten, men enbart som bilaga. Lösningar enbart bestående av utskrifter från Maple, Matlab eller annat matematikprogram kommer ej att rättas och ges noll poäng.**
- För godkänt resultat på HEM1, krävs 12 av totalt 25 poäng ($= p_{\text{hem}}$) på HU1, HU2 och HU3. Godkänd tentamen ger med automatik godkänt resultat på ÖVN1.
- Korrekt lösta hemuppgifter ger maximalt 5 bonuspoäng, p_{bonus} , vid tentamen enligt: $p_{\text{bonus}} = 1$ ($p_{\text{hem}} \geq 6$); 2 ($p_{\text{hem}} \geq 10$); 3 ($p_{\text{hem}} \geq 14$); 4 ($p_{\text{hem}} \geq 18$); 5 ($p_{\text{hem}} \geq 22$). Bonuspoängen kan tillgodoräknas vid omtentamen i juni 2012 och under ht12.

Lösningar lämnas till övningsledare eller läggs i låda för inlämningsuppgifter utanför hållfasthetsläras expedition senast kl. 18:00; **fredag 1 februari** (HU1); **onsdag 27 februari** (HU2); **tisdag 12 mars** (HU3).

5.2 Datorlaborationer (LAB1; 0 hp)

Kursmomentet LAB1 rapporteras separat i LADOK och består av två obligatoriska datorlaborationer. Vid de två laborationerna kommer ett antal problem analyseras med hjälp av finita elementprogrammet ANSYS. Instruktioner för laborationerna finns tillgängliga på kurshemsidan. Målet med laborationerna är att kursdeltagarna självständigt skall lära sig att lösa ingenjörproblem av den typ som behandlas i kursen med ett industriellt anpassat FEM-program och dessutom kunna förstå och värdera resultaten från en FEM-analys.

OBS! Listor för anmälan till laborationerna finns tillgängliga vid föreläsningstillfällena och kommer att sättas upp på anslagstavlan utanför hållf-expeditionen ca en vecka före varje laborationstillfälle.

5.3 Tentamen (TEN1; 4,5 hp)

Ordinarie skriftlig tentamen: lördag 16 mars kl. 9.00-14.00 i salarna D32, D33, D34, D35, E31, E32, E33, K51. Omtentamen: torsdag 30 maj kl. 8.00-13.00 i salarna D32, D34, D35 och D41. Vid tentamenstillfället kan 25 poäng erhållas och med full bonus (5 poäng) blir slutsumman maximalt 30 poäng. Poängavdrag görs för slarvfel (-1p) och mindre principfel (-2p). Grovt principfel ger 0p på uppgiften. Poänggränserna är: ≤ 10 betyg F (underkänd); ≥ 11 betyg FX (möjlighet till kompletteringstentamen); ≥ 13 betyg E; ≥ 15 betyg D; ≥ 17 betyg C; ≥ 20 betyg B; ≥ 23 betyg A. Vid båda tentamenstillfällena kommer teknologer med betyget FX att beredas tillfälle för en kompletteringstentamen ca: en månad efter det aktuella tentamenstillfället. Notera att en godkänd tentamen med automatik ger godkänt i kursmomentet HEM1.

6. Detaljprogram VT2012

Vecka	Förel. /Övn.	Ämnesområde	Avsnitt i kurslitteraturen
2	F1	Inledning, Elastisk energi	HL: kap 15
3	F2	Diskreta system, Castiglianos satser	HL: kap 15
	F3	Matrisformulerad solidmekanik—direkt metod, Fackverk	OH-material
	F4	forts. Matrisformulerad solidmekanik.	OH-material

Vecka	Förel. /Övn.	Ämnesområde	Avsnitt i kurslitteraturen
	Ö1	Energisatser och matrisformulerad strukturmekanik (direkt metod)	EX: 1.6, 2.1, 2.2
4	F5	Virtuella arbetets princip, Approximativa metoder, FEM-procedur	HL. kap. 15
	F6	forts. FEM procedur, Framtagning av FEM-ekvationer, Stark/svag formulering, FEM-ekvationer för enaxliga problem	Utdelat material, LQ: kap. 1, 3
	F7	forts. FEM enaxliga problem. FEM för stänger och fackverk (2D/3D)	LQ: kap. 1, 3, 4
	Ö2	Enaxliga problem (stång) och fackverk (FEM), Matlabprogram	EX: 4.1, 3.3, 5.2
5	F8	Högre ordningens element (1D), FEM för balkar	LQ: kap. 3, 4, 5
	F9	forts. FEM för balkar	LQ: kap. 2, 5
	F10	FEM för ramverk, Matlabprogram	LQ: kap. 5, 6
	Ö3	Balkproblem och ramverk (FEM)	EX: 4.6, 5.4, 5.6
6	F11	FEM för 2D & 3D solider, allmänt	LQ: kap. 2, 7, 9
	F12	2D-problem, CST-element	LQ: kap. 7, EX:6.12
	F13	Isoparametriska element, koordinattransformation	LQ: kap. 7
7	Ö4	FEM-analys av 2D-problem med CST-element	EX: 6.14(a,c)
8	F14	Högre ordningens element (2D), Numerisk integration, 3D-problem	LQ: kap. 7, 9
	Ö5	Konsistenta nodlaster, Gaussintegration	EX: 6.8(b), 6.9, 6.10
	F15	Modelleringsaspekter	LQ: kap 11
	Ö6	Elementteknologi, isoparametriska element	EX: 6.2,6.3,6.4,6.19
9	F16	Gästföreläsning: "Produktutveckling driven av simulering", Jonas Larsson, Medeso AB, Västerås (avancerad problemlösning med ANSYS)	
	F17	FEM för värmeledningsproblem	LQ: kap 12
	F18	forts. FEM för värmeledningsproblem, termoelastiska material	LQ: kap 12
	Ö7	Värmelednings- och termoelastiska problem (FEM)	EX: 7.2, 7.3
10	Ö8	Repetition, lösning av tentamensproblem	Utdelat material

7. Exempel rekommenderade för egen träning

Tal inom parentes löses vid föreläsnings- och övningstillfällen!

Energiprinciper

Castiglianos satser: 1.1–1.3, 1.7 – 1.11, 1.19-1.21 (1.6)

Matrisformulerad struktur- & solidmekanik

Fackverk fjädrar: 2.4, 2.3, 2.6–2.8, 2.11 (2.1, 2.2)

Stark/svag form allmänt 3.1, 3.2 (3.3)

FEM för stänger & fackverksproblem 3.4, 3.5, 4.2, 4.3, 4.5 (5.1, 4.1, 4.4, 3.3, 5.2)

FEM för balkar & ramverksproblem: 3.6–3.8, 4.9, 5.5 (4.6–4.8, 5.3, 5.4, 5.6)

FEM för 2D/3D solider: 6.5, 6.6, 6.11, 6.15–6.18, 6.21 (6.2–6.4, 6.8–6.10, 6.12, 6.19)

FEM för värmeledningsproblem & termoelastiska problem

3.9, 3.10, (7.1–7.3)