TMMI56 Lektionsplanering 2020

# Introduktion

Här presenteras de olika lektionernas rekommenderade beräkningsuppgifter samt efterföljande motivering/syfte/innehåll med träningsuppgifterna.   
För att få ut så mycket som möjligt av lektionsuppgifterna rekommenderas starkt att försöka lösa dem innan lektionen och försöka komma så långt som möjligt i lösningarna som möjligt för att göra inlärningen så effektiv som möjligt för er. Lektionsuppgifter med beteckning LX:Y finner ni i slutet av detta dokument. Lektionerna kommer bedrivas på distans via zoom med handuppräckning och individuell handledning i breakoutrooms efter behov. Mer detaljer kring detta ges i den inledande föreläsningen.

Vidare så avslutas varje del nedan av en eller två beräkningsorienterade tentauppgifter och det är inte tentauppgifter ni ska lösa… utan var och en av er ska skapa en tentauppgift för varje delområde.

När ni designat färdigt er specifika tentauppgift inklusive lösningsförslag så laddar ni upp den på samarbetsytan i LISAM, formatet ska vara en pdf fil med namn enligt definitioner nedan.  
Dessa tentauppgifter kommer att användas som inspiration till er tentamen i slutet av kursen, ju bättre era tentafrågor är desto mer sannolikt är det att liknande uppgift kommer som tentauppgift.

# Lektionsplan

Le 1 Gasturbin  
Ideal GT-cykel (Brayton) (T-s p-v) 11-3, 11-5, 11-6 (Alvarez)  
Icke ideal GT-cykel 11-4, 11-8, 11-10 (Alvarez)  
Olika inloppstemperatur -> verkningsgrad L1:1 (Tips titta i McDonald materialet på LISAM)

*Tentauppgift Gasturbin (T\_Brayton\_LIU-ID.pdf)*

Le 2 Ångkraft  
Repetition ideal Rankine-cykel 9-20, 9-31, 9-34, 9-37 (Alvarez)  
Öka högtrycket L2:1   
Sänka lågtrycket L2:2  
Mellanöverhettning 9-117, 9-118, 9-122 (C&T)

*Tentauppgift Ångkraft (T\_Rankine\_LIU-ID.pdf)*

Le 3 Kyla  
Repetering kompressor-cykeln 8-11, 8-13 (Alvarez)  
Effekt av temperatur kompressorcykeln 8-5, 8-6, 8-8 (Alvarez)  
Absobtionskyla L3:1, L3:2

*Tentauppgift Kyla (T\_Cool\_LIU-ID.pdf)*

Le 4 Vattenkraft och Vindkraft  
Vattenkraft 4.2-2,4.2-4, 4.2-5, 4.2-7 (Alvarez)  
Vattenkraft val av turbin 4.2-8, 4.2-9, 4.2-13, 4.2-17 (Alvarez)  
Vindkraft effektberäkning grundbegrepp 4.4-1, 4.4-2 (Alvarez)  
Vindkraft energiberäkning (potential, vindfördelning) 4.4-3, L4:1, L4:2

*Tentauppgift Vattenkraft (T\_Waterpower\_LIU-ID.pdf)  
Tentauppgift Vindkraft (T\_Windpower\_LIU-ID.pdf)*

Le 5 Pumpar och fläktar i system  
Affinitetslagar 4.1-33, 4.1-35 (Alvarez)   
Dimensionera pumpar i system 4.1-3, 4.1-5, 4.1-6, 4.1-39 (Alvarez)  
Dimensionera fläktar i system 4.3-25, 4.3-28 (Alvarez)

*Tentauppgift pumpar (T\_Pump\_LIU-ID.pdf)  
Tentauppgift fläktar (T\_Fan\_LIU-ID.pdf)*

Le 6 Värmeväxlare  
Grundberäkning olika typer (repetition) 22-16,22-17, 22-22C (C&T)  
Dimensionering LMTD metoden 22-37, 22-42, 22-61 (C&T)  
Dimensionering NTU metoden 22-67C, 22-76, 22-79, 22-91 (C&T)

*Tentauppgift värmeväxlare (T\_VVX\_LIU-ID.pdf)*

Le 7 Byggnadens energianvändning  
Material på LISAM med både teori och beräkningsexempel samt bifogat Excel dokument

*Tentauppgift Byggnaders energianvändning (T\_Byggnad\_LIU-ID.pdf)*

Le 8 Förbränningslära  
Krävd Lufttillförsel 6-1, 6-2, 6-4 (Alvarez)   
Rökgassammansättning 6-3, 6-10 (Alvarez)

*Tentauppgift förbränningslära (T\_Combustion\_LIU-ID.pdf)*

# MVS Lektionsuppgifter

Uppgift L1:1

Beräkna hur den termiska verkningsgraden ändras med inloppstemperatur T1 (5-40°C) för en verklig gasturbin med isentropverkningsgrad 0,90 för kompressorn och 0,85 för turbindelen. Övriga data för gasturbinen är att temperaturen efter brännkammaren är 1000K och lågtrycket är 1 atm och högtrycket är 10 atm.

Visualisera resultatet med en tabell och en x-y plot med maximalt 5 grader mellan resultatpunkterna lämpligen använder ni Matlab eller annan programvara för detta.

Uppgift L2:1

Beräkna turbineffekten och den termiska verkningsgraden för uppgift 9-31 i Alvarez med att högtrycket höjs till 25 bar. Och analysera förändringen mot grunddriften.

Uppgift L2:2

Beräkna turbineffekten och den termiska verkningsgraden för uppgift 9-31 i Alvarezmed att kondenseringstrycket sänks till 0,10 bar. Och analysera förändringen mot grunddriften.

Uppgift L3:1

Kapten Agaton har kommit att diskutera fjärrkyla med en kollega på mässen, där de efter en lång diskussion kommer fram till att det verkar klokt att använda regementets flispanna (används idag för ett lokalt fjärrvärmenät på regementet) att producera fjärrkyla under varma sommardagar till lokalerna på regementet de är dock osäkra på hur stor absorbtionskylmaskin bör införskaffas samt hur stor kyleffekt den kan leverera. Agaton ringer därför på stående fot teknologen Linnea (som de vet är en fena på Energifrågor, det är som ni kanske förstår inte första gången kapten Agaton ringer och rådfrågar…).   
Regementets flispanna kan leverera 120 kW värmeeffekt vid en fjärrvärmetemperatur ut på fjärrvärmenätet på 120 grader och fjärrvärmeretur på 60 grader. Kapten Agaton bedömmer att kyltemperaturer på fjärrkylan skulle var +5 grader till +10 grader.

Tips: läs på om absorbtionsanläggningar i Alvarez

Uppgift L3:2

Moster Agda äger ett litet hotell ämnar byta ut sina gamla Absorbtionskylskåp (Platen-Munter) till moderna kompressorkylskåp istället. Hon ringer därför teknologen Linus (som precis läst kursen i Enrgiteknik TMMV56) och frågar hur mkt mindre elförbrukning hon kan räkna med per år. Därtill vill hon också veta hur mkt kylbehovet samt elenergin till AC-aggregaten som finns på varje rum kommer minska pga. minskat värmetillskott från de nya kylskåpen.

Lite blandad information från moster Agda: Antal rum hotellet har är 20 och elförbrukningen idag är ca 1000kWh/år och kylskåp. AC aggregaten har en kyleffekt på 200W i rummen har en köldfaktor på 0,8 och är i gång ca 600 h/år.

Tips: läs på om absorbtionsanläggningar i Alvarez

Uppgift L4:1 (Utnyttjningstid för vindkraft)

I Wikipedia kan man hitta följande om vindkraftparken Lillgrund söder om Öresundsbron.



Ur uppgifterna kan man förutom tekniska data beräkna vissa ekonomiska nyckeltal.

* Beräkna maximal effekt för Lillgrund.
* Beräkna utnyttjningstiden för Lillgrund.
* Beräkna effektkostnaden (SEK/W).
* Beräkna återbetalningstiden för anläggningen.

Antag att inflation och prisökningar är låga. Antag ett råkraftpris sedan 2007 på ca 40 öre/kWh. (<http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/SE/yearly/>, välj SEK)

Teori:   
Utnyttjningstid definieras som förhållandet mellan levererad energi och maximal effekt.

Ett vindkraftverk ger energi vid vindstyrkor över startvinden. Dessutom finns en maximal effekt som uppnås redan innan det blåser starka vindar. Utnyttjningstiden är den tid verket skulle behövt gå med maximal effekt för att leverera samma totala energi som i normal drift. Utnyttjningstiden kan beräknas som dagar eller timmar (under ett år), eller i procent.



Uppgift L4:2

|  |  |
| --- | --- |
| **Elvina**  Linnea och Linus jobbade på ett företag som optimerade vindkraftverk. Nu hade turen kommit till Elvina, Tekniska Verkens 150 kW verk från 1990. Data om Elvina finns till höger.   * ”Det står att verket är anpassat för inlandsläge”, sa Linus. ”Varför blir det bättre om de sänker varvtalet? En vindsnurra ger väl mer ström om den snurrar fortare?” * ”Nja”, sa Linnea efter att ha kollat in vindkarteringen härintill en liten stund. Årsmedelvinden är ca 6-6.5 m/s. Jag tror jag vet hur de tänkt.”   Hur tänker Linnea? Förklara hur man kan motivera designen med längre vingar och lägre varvtal.  **Årsenergi från Elvina**  Antag att långtidsdata över vinden där Elvina står är fördelad med hastigheter enligt diagrammet nedan t h. Beräkna den förväntade årsenergin.  Vilken är Elvinas utnyttjningstid enligt ovanstående beräkningar?  **Högre torn på Elvina?** | C:\Mina dokument\aVind\Vind Årsmedelvind 2007 Östergötl.jpg |

Antag att Elvinas torn idag är 30 m högt och att vinden de flesta timmar är 5 m/s vid denna höjd. Vad blir motsvarande vind om tornet skulle göras 60 m högt? Hur mycket skulle effekten öka?

Prova några olika antaganden om terrängen!

# Lösningsförslag

**Alvarez. Uppgift 4.2-7. Lösningsdiskussion.**

Uppgift 4.2-6 handlar om en turbin där *flödet* är känt och *effekten* söks. Här används lämpligen Bernoullis utvidgade. Skillnaden i såväl statiskt tryck, dynamiskt tryck (flöde och rördiametrar kända) och höjdtrycket kan beräknas. Specifikt tekniskt arbete *w* multipliceras med massflödet, vilket ger effekten. I förbigående kan noteras att nettofallhöjden *H* är ca 20 m, eftersom 𝑊̇=𝜌𝑉̇𝑔𝐻. \_\_\_

Uppgift 4.2-7 handlar om en turbin där *effekten* är känd och *flödet* söks. Lösningen blir komplexare då flödet indirekt ingår i flera av termerna.

Ett sätt att skriva Bernoullis utvidgande är följande:



Detta kan angripas på olika sätt:

1) ”Snabba-flukt”-metoden: Turbinen liknar 4.2-6. Med *H* = 20 m och 𝑊̇ = 50 kW blir = 0.255 m3/s.

2) ”Ingenjören”: I en reaktionsturbin dominerar trycktermen: 𝜌𝑤=(𝑝1−𝑝2) ger: = 0.294 m3/s.

3) Passningsräkning: Experiment med olika flöden ger: = range m3/s.

4) Tredjegradlösare: [http://www.1728.org/cubic.htm](http://www.1728.org/cubic.htm%20) eller Matlab ger med värden enligt ovan: = 0.268 m3/s.



## Lösningsförslag: Lillgrund

Lillgrund består av 48 st 2.3 MW vindkraftverk. Installerad (maximal) effekt är 110.4 MW. Årlig energiproduktion är 330 GWh.

Utnyttjningstiden är 330.109 / 110.4.106 = 2989 h, eller 34%.

Utnyttjningstiden blir större när ett vindkraftverk utrustas med en mindre generator. Då startar vindkraftverket vid svagare vind och arbetar närmare sin maximala kapacitet. Detta ökar utnyttjningstiden.

Emellertid når en mindre generator snabbare sin märkeffekt, och kraftverket kan då inte tillvarata energin i hårdare vindar. Med en större generator kan även hårdare vindar skördas. Men ju större generator, desto mer sällan kommer den maximala kapaciteten till nytta. Utnyttjningstiden blir lägre.

Effektkostnaden är 1 800 MSEK för 110.4 MW, vilket ger 16.3 kr/W.

Med ett elpris på 40 öre/kWh och en produktion på 330 GWh per år blir den årliga intäkten 132 MSEK, och återbetalningstiden blir 13.6 år.

## Lösningsförslag: Elvina

Effekten från ett vindkraftverk följer formeln:

*W**el*  *Cp* 

**  *A*  *v*3

2

Om vindkarteringar visar lägre medelvind i en viss region kan arean *A* ökas (vingarna görs längre) för att uppnå den önskade medeleffekten och årsenergin. Men förlängs vingarna ökar vingspets- hastigheten *vtip* vid samma varvtal, därmed ändras löptalet ** och *Cp*. För att återställa *Cp* till tidigare värde kan varvtalet minskas (t.ex. genom annan utväxling mellan propeller och generator).

En vindkartering från 2007 visar att medelvinden var 6 – 6.5 på 72 m höjd (ev ännu lägre på Elvinas navhöjd, 30 m). Vid givet varvtal är löptalet vid 6 m/s ca 7.7, och *Cp* är skapligt hög (över 0.4) i det hastighetsområde vinden oftast har.

Vid vindhastigheter upp mot 9 m/s och löptal ner mot 5 är *Cp* fortfarande hög, därefter minskar Cp snabbare trots att effekten ut från verket ökar p.g.a. starkt ökande natureffekt. Vid 12 m/s nås Elvinas märkeffekt (maxeffekt) på 150 kW. Löptalet är då 3.8 och *Cp* runt 0.25.

## Lösningsförslag: Årsenergi från Elvina

Värden ur diagrammet för varje vindhastighet (weibull-fördelning) anges i ett kalkylblad (nedan). Elvinas tip-speed beräknas, liksom löptal, och Cp hämtas ur diagram i t.ex. Alvarez. Notera att den utvunna effekten aldrig blir högre än Elvinas maximala effekt.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **3) Elproduktion** |  |  |  |  |  |  |  |
| m/s | h | löptal (tsr) | Cp (ur diagr) | Natureff W | Utvunnen W | kWh |  |
| 1 | 325 | 46,2 | 0 | 369 | 0 | 0 |  |
| 2 | 600 | 23,1 | 0 | 2956 | 0 | 0 |  |
| 3 | 800 | 15,4 | 0,2 | 9975 | 1995 | 1596 |  |
| 4 | 990 | 11,5 | 0,38 | 23645 | 8985 | 8895 |  |
| 5 | 1100 | 9,2 | 0,41 | 46181 | 18934 | 20828 |  |
| 6 | 1000 | 7,7 | 0,43 | 79801 | 34315 | 34315 |  |
| 7 | 900 | 6,6 | 0,43 | 126722 | 54490 | 49041 |  |
| 8 | 800 | 5,8 | 0,42 | 189159 | 79447 | 63557 |  |
| 9 | 675 | 5,1 | 0,4 | 269330 | 107732 | 72719 |  |
| 10 | 500 | 4,6 | 0,36 | 369451 | 133002 | 66501 |  |
| 11 | 400 | 4,2 | 0,3 | 491740 | 147522 | 59009 |  |
| 12 | 300 | 3,8 | 0,24 | 638412 | 150000 | 45000 |  |
| 13 | 200 | 3,6 | 0,22 | 811684 | 150000 | 30000 |  |
| 14 | 100 | 3,3 | 0,22 | 1013774 | 150000 | 15000 |  |
| 15 | 50 | 3,1 | 0,21 | 1246898 | 150000 | 7500 |  |
| 16 | 25 | 2,9 | 0,21 | 1513273 | 150000 | 3750 |  |
| 17 | 10 | 2,7 | 0,21 | 1815114 | 150000 | 1500 |  |
| 18 | 10 | 2,6 | 0,21 | 2154640 | 150000 | 1500 |  |
| 19 | 10 | 2,4 | 0,21 | 2534066 | 150000 | 1500 |  |
|  | (ur diagr) |  | (ur diagr) |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | **482212** | kWh |

Årsenergin blir ca 480 MWh. Utnyttjningstiden beräknas som 482212 kWh / 150 kW = 3215 h = 37%.

# Lösningsförslag: Högre torn på Elvina.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| v0 | 5 |  | (v/v0) = (h/h0)^a | 1,15 |
| h | 60 |  | v | 5,74 |
| h0 | 30 |  |  |  |
| a | 0,2 |  | (p/p0) = (v/v0)^3 | 1,52 |

**Le 5. Räknecase: Vindkraftverk med bra ekonomi… (CDIO2)**

Äntligen ska bygget bli av! Ditt företag har under lång tid planerat att projektera ett vindkraftverk i Östergötland, för att längre fram använda erfarenheterna vid en större satsning i Asien.

Nu har byggnadslov och miljöprövning gått igenom!

## Förutsättningarna kring vindkraftverket:

|  |  |
| --- | --- |
| Diameter: 90 m  Varvtal: Konstant  Startvind: 3 m/s  Stoppvind: 25 m/s  Effektkostnad: 10 MSEK/MW  Underhållskostnad: 10 öre/kWh Elpris vid försäljning: 35 öre/kWh Kalkylränta: 0%  Kraftverkets livslängd: 30 år | Vindhastighetens tidsfördelning: |

1. Vilket varvtal bör vindkraftverket ha?
2. Vilken storlek på generatorn ger bäst ekonomi sett över vindkraftverkets livslängd?
3. Vilken blir återbetalningstiden (payoff-tiden)?
4. Hur ser ovanstående ut om alla vindhastigheter ökades med 1 m/s (t.ex. genom att investera i ett högre torn)?