

FÖRNYBAR ENERGI VID
VETENSKAPENS HUS:
SOLPANELER OCH VINDKRAFT -
LABORATIONER FÖR
HÅLLBAR UTVECKLING

Johan Stare

Examensarbete på programmet
Civilingenjör och lärare inom området
Teknik och lärande.
Stockholm 2014

Huvudhandledare:	Tanja Nymark	KTH, ECE, Vetenskapens Hus
Biträdande handledare:	Margareta Enghag	SU, MND
Biträdande extern handledare:	Stefan Åminneborg	KTH, ECE, Vetenskapens Hus
Examinator:	Per Norström	KTH, ECE, Teknikdidaktik



Förord

Detta examensarbete är ett av de sista stegen mot min examen som *Master of Science in Engineering* och *Master of Education*. Färden har varit lång och stundvis mödosam men framförallt oerhört lärorik och spännande.

Jag vill tacka all personal på Vetenskapens Hus för givande samarbete under det gångna halvåret. Mina handledare, Stefan Åminneborg och Tanja Nymark på Vetenskapens Hus samt Margareta Enghag på Stockholms Universitet, har varit ovärderliga under arbetets gång. Tack för alla intressanta diskussioner och all er hjälp!

Fler personer på Vetenskapens Hus som förtjänar ett extra tack är Jonatan Pipping för hjälp med datorrelaterade bekymmer samt Henrik Åkerstedt som varit en viktig resurs för att komma igång med 3D-skrivaren.

Mina föräldrar och systrar har alltid funnits till hands i livet. Ni anar inte hur viktiga ni är för mig!

Till min underbara fru, Johanna: Du har funnits vid min sida i snart elva år. Du inspirerar mig och ger mig styrka, tack för allt!

Slutligen, till min älskade dotter Elisabet: Pappa kommer hem nu!

Sammanfattning

Examensarbetet har utförts vid Vetenskapens Hus, dit elever kommer för att lära sig mer om naturvetenskap med hjälp av inspirerande laborationer och engagerad personal. Två besök¹ behandlas av detta arbete. Det ena, om solpaneler, har fått tekniska förbättringar och en pedagogisk översyn medan det andra, om vindkraft, har utvecklats från grunden.

Besöket *Solpaneler* undersöker de fyra vanligaste panelerna för hemmabruk, vakuumrörsolfångare, plan solfångare, luftolfångare och solcellspanel.

Vid arbetets början fungerade inte flödet i vakuumrörsolfångaren och den plana solfångaren. Genom att installera pumpar har detta åtgärdats. Flödet har fört med sig förbättringar i form av en mer sammanhållen bild av hur solpaneler fungerar i verkliga installationer. Den uppmätta verkningsgraden för panelerna har blivit högre och mäts nu under realistiska betingelser.

Luftolfångarens funktion under laborationen har fått en översyn i form av en noggrannare metod för att bestämma luftens volymflöde genom solfångaren. Ett mer korrekt sätt att bestämma solfångarens verkningsgrad har implementerats.

En metod för att mäta instrålningen till panelerna har utvecklats. Tidigare angavs ett värde vid ett givet avstånd mellan panelerna och de halogenlampor som används under laborationen.

Utvärdering av besöket *Solpaneler* med hjälp av fokusgrupper har inneburit förbättringar i form av ökat fokus på att förstå tekniken, samt ökad elevdelaktighet och variation mellan undersökning och diskussion under besökets introduktion.

Besöket *Vindkraft* har utvecklats från grunden. Vindkraftverksmodeller har byggts med hjälp av 3D-skrivare och LEGO. Sex olika vingkonstellationer finns att tillgå under laborationen, med två, tre och fyra vingar av vriden respektive rak typ. Eleverna undersöker vilken konstellation de skulle vilja sätta på ett eget vindkraftverk. Laborationen kan beskrivas som *guided inquiry based*, därmed är eleverna fria att planera sin undersökning själva.

Undersökning av vindkraftverksmodellernas maximala effekt har genomförts då vingarnas vridning relativt navet, elektriskt motstånd samt vindhastighet varierats.

Efter utvärdering med hjälp av fokusgrupper konstateras att en välplanerad, lärorik och inspirerande laboration har skapats. Ett par mindre förbättringsområden har identifierats. Eleverna upplever det som svårt att ställa in vinkeln på vingarna. Legot i modellen är känsligt för oöm behandling vilket gör att friktionsförlusterna varierar och eleverna ibland får olika slutsatser av sin undersökning. Detta kan dock leda till en fruktsam diskussion om felkällor under laborationer.

¹Termen *besök* används för de aktiviteter som finns att boka på Vetenskapens Hus och omfattar en laboration eller föreläsning.

Summary

This master thesis has been conducted at Vetenskapens Hus (Stockholm House of Science), where students come to learn more about natural science aided by inspirational laboratory exercises and devoted staff. Two such laboratory exercises are considered by this master thesis. One of them, concerning solar panels, has received technical enhancements while the other, concerning wind power, has been developed from scratch.

The laboratory exercise *Solar panels* investigates the four most common panels for domestic use, the evacuated tube solar panel, the flat solar panel, the solar air heating panel and the photovoltaic panel.

At the beginning of this work, the water flow in the evacuated tube solar panel and the flat solar panel was not working. By installing pumps, this has been rectified. The functional flow has brought with it enhancements in the form of a more coherent experience of how the panels function in real life installations. The measured coefficient of performance of the two panels have risen and is now investigated under more realistic conditions.

The functionality of the solar air heating panel with respect to the laboratory exercise has been overhauled with the aid of a more precise method of determining the air flow through the panel. A more accurate way of calculating the coefficient of performance has been implemented.

A method for measuring the irradiance to the panels has been developed. Before this work, tabular values valid at a certain distance between the panels and the halogen lamps used in the laboratory were given.

Evaluation of the laboratory exercise has been conducted by means of focus group discussions. The results of these discussions have been an implementation of a different work flow which enhances understanding of the solar panels, furthermore, the interaction between the instructor and pupils have increased.

The laboratory exercise *Wind power* has been developed. Wind turbine models have been built using a 3D-printer and LEGO. Different constellations of wings have been attached to hubs. The number of wings (2, 3 and 4) as well as the shape of the wings (straight and twisted) is varied. This gives six different constellations. The students investigate which constellation they would want to put on a wind turbine model in operation. The laboratory exercise can be characterized as *guided inquiry based*. That is, the students are free to choose their method of investigation.

An investigation of the maximum power yield from the wind turbine model has been conducted. Varied parameters are the pitch angle of the wings, connected electrical resistance and the wind speed.

Aided by the results of focus group discussions it is concluded that a well planned and inspiring laboratory exercise has been created. A couple of minor areas of improvement have also been identified. The students find it difficult to set the pitch angle of the wings, furthermore, the LEGO used in the model is sensitive to rough handling which produces varying frictional losses and sometimes varying conclusions made during the exercise. On the other hand, this can lead to fruitful discussions about sources of error when working in a laboratory.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	2
1.4	Precisering av frågeställningen	2
2	Didaktisk referensram	3
2.1	Scientific literacy	3
2.2	Nature of science	3
2.3	Hållbar utveckling	4
2.4	Laborationer	4
2.5	Utvärdering med hjälp av fokusgrupper	5
3	Solpanellaboration	7
3.1	Utrustning	7
3.1.1	Plan solfångare	7
3.1.2	Vakuumrörsolfångare	8
3.1.3	Luftsolfångare	8
3.1.4	Polykristallin solcell	9
3.1.5	Varmtrådsanemometer	9
3.1.6	Pyranometer	9
3.1.7	Solarimeter	10
3.2	Teknisk referensram	10
3.2.1	Pump till de vattenburna solfångarna	10
3.3	Teknisk laborationsutveckling	11
3.3.1	Vätskeflöde i plattsolfångaren och vakuumrörsolfångaren	11
3.3.2	Flödets inverkan på uppmätt verkningsgrad	11
3.3.3	Att mäta instrålad effekt från halogenlamporna	12
3.3.4	Verkningsgradens temperaturberoende för plattsolfångare och vakuumrörsolfångare	14
3.3.5	Volymflöde genom luftsolfångaren	17
3.4	Didaktik	17
3.4.1	Laborationens mål	18
3.4.2	Caselaboration	18
3.4.3	Skiftat fokus, mot förståelse av tekniken	18
3.4.4	Elevmaterial	18
3.4.5	Laborationsplanering	19
3.4.6	Utvärderingens tillvägagångssätt	21
3.4.7	Utvärdering med första testklassen	22
3.4.8	Utvärdering med andra testklassen	26
3.4.9	Utvärderingens resultat	28
3.5	Diskussion	29

4	Vindkraftslaboration	31
4.1	Utrustning	31
4.1.1	Vingar	31
4.1.2	Nav och torn	32
4.2	Teknisk referensram	32
4.2.1	Samband mellan vindhastighet, rotordiameter och effekt	32
4.3	Teknisk laborationsutveckling	33
4.3.1	Olika vingkonstellationers effektivitet	33
4.3.2	Luftflöde från fläkten	35
4.4	Didaktik	36
4.4.1	Laborationens mål	36
4.4.2	Frågeställningsbaserad laboration	36
4.4.3	Elevmaterial	36
4.4.4	Laborationsplanering	37
4.4.5	Utvärderingens tillvägagångssätt	38
4.4.6	Utvärdering med testklasser	39
4.4.7	Utvärderingens resultat	44
4.5	Diskussion	45
5	Slutsats	48
5.1	Förbättringsområden	49
5.1.1	Solpanellaboration	49
5.1.2	Vindkraftslaboration	49
6	Bilagor	52
6.1	Solpanellaboration	52
	Besöksledarhandledning	52
	Utskick	63
	Presentation	64
	Infoblad	71
	Tabeller	75
	Produktblad solarimeter	76
6.2	Vindkraftslaboration	77
	Besöksledarhandledning	77
	Presentation	82

Kapitel 1

Inledning

1.1 Bakgrund

Till Vetenskapens Hus (VH) kommer skolklasser för att lära sig mer om naturvetenskap med hjälp av inspirerande laborationer och engagerad personal. Kärnvärden för verksamheten är *inspirerande*, *seriöst*, *personligt* och *nyttänkande*. VH följer skolans kursplaner. Som centralt innehåll i fysik 1 återfinns bland annat "Energiresurser och energianvändning för ett hållbart samhälle". Det åligger alltså varje lärare i kursen att tillse att eleverna ges möjlighet att utveckla sin förståelse för olika energikällor. I dagsläget finns ett program på VH som behandlar olika solpanelers absorberade effekt. Detta program kan utvecklas vidare och byggas på till ett större program, i den förnybara energins tecken, genom att kompletteras med en laboration om vindkraft. FN har utsett 2005-2014 som ett årtionde för utbildning för hållbar utveckling¹. I dagsläget befinner vi oss i det sista året av denna satsning.

Den befintliga laborationen, om solpaneler, är produkten av ett tidigare examensarbete. Detta genomfördes 2010 och baserades på casemetodik. Två versioner av laborationen togs fram, dels en nittiotio minutersversion som framförallt består av att utföra mätningar och göra beräkningar på fyra olika solpaneler och en tretimmarsversion där laborationen genomförs i ett större casesammanhang. Panelerna som behandlas under laborationen är av typerna luftsolfångare, plattsolfångare, vakuumrörsolfångare och solcell. Bortsett från solcellen är panelerna konstruerade för att solenergin skall hetta upp ett flödande medium (luft eller vätska). Under laborationens uppbyggnad fann man ingen bra lösning för att få vätskan i plattsolfångaren och vakuumrörsolfångaren att flöda. Istället fylls dessa paneler med en viss mängd vatten som kvarlämnas i panelerna under hela laborationen. Den, av solpanelerna, absorberade energin bestäms medelst vattnets temperaturökning över tid. I luftsolfångaren, å andra sidan, kan den absorberade effekten bestämmas momentant genom att mäta flödes hastigheten, tillförseltemperatur samt frånloppstemperatur. Personal på VH som arbetar med laborationen önskar att även plattsolfångaren och vakuumrörsolfångaren får ett fungerande flöde för att mätningarna skall bli smidigare även här. Ytterligare effekter av ett fungerande flöde är att solfångarnas funktion under laborationen mer kommer efterlikna en verklig installation. Samt att generalisering av temperaturen från en punktmätning till hela vätskevolymen i solfångarna undviks.

För att de besökande eleverna skall få ytterligare inblick i hållbara energiresurser önskar man kunna tillhandahålla en laboration som syftar till att åskådliggöra hur man skapar elektricitet med hjälp av vind, vindkraft. De fysikaliska principer en elev behöver vara bekant med är inte särskilt komplicerade och passar till stor del in i gymnasieskolans kurs Fysik 1. På VH finns redan utrustning som förhoppningsvis kan användas för att genomföra laborationen. Dels finns byggsatser av LEGO med turbiner och generatorer

¹<http://www.unesco.se/utbildning/utbildning-for-hallbar-utveckling/>, 2014-04-23

men även ett litet kommersiellt vindkraftverk. Det senare är dock så pass stort att en permanent uppställningsplats skulle vara praktisk.

1.2 Syfte

Förbättringar på det befintliga programmet *Solpaneler* vid VH skall utföras. De önskade förbättringarna är:

- Finna en metod för att erhålla ett flöde av vatten genom plattsolfångaren och vakuumrörsolfångaren. I dagsläget fylls dessa med vatten och temperaturökningen över tid undersöks. Detta är inte optimalt då verkningsgraden av solfångarna påverkas av temperaturskillnaden mellan vattnet och omgivningen och mätningar ej kan göras momentant. Det är också osannolikt att vattnets temperatur är samma i hela panelen då det ej finns möjlighet att säkerställa en blandning. Därför är det vanskligt att förlita sig på en punktmätning.
- Se över den pedagogiska delen av laborationen och laborationsbeskrivningen. Detta arbete innefattar en anpassning till gymnasieskolans nya kursbeskrivning.

Utveckling av ett program, om vindkraft, som skall kunna följas parallellt med programmet om solpaneler. Genom att de två kompletterar varandra kan den besökande klassen delas in i grupper som turas om att göra respektive laboration.

- Utveckla en laboration om vindkraft.
- Skriva en laborationsmanual till framtida laborationsassistenter.

1.3 Avgränsningar

Korrekt skalning av vindkraftsvingar skulle kunna vara ett examensarbete i sig. Därför valdes under projektets gång att använda aerodynamiska vingar som inte kan anses vara korrekt skalade med ett verkligt vindkraftverk som förlaga. Följden är att resultaten från vindkraftslaborationen inte till fullo kan anses vara giltiga för ett fullskaligt vindkraftverk. Detta får dock anses vara en acceptabel restriktion då det inte heller kommer vara möjligt att bygga vindtunnlar för användning under laborationen. Dels skulle ett sådant bygge ta allt för mycket tid i anspråk och det skulle vara svårt att finna utrymme att lagra vindtunnlarna på när de inte används.

1.4 Precisering av frågeställningen

1. Hur kan ett lämpligt vätskeflöde genom de berörda solpanelerna erhållas?
2. Hur skall besöken utformas för att inspirera eleverna att vilja lära sig mer?
3. Hur omfattande bör teorin kring vindkraft vara för att besöket skall ha en inspirerande snarare än avskräckande effekt?

Kapitel 2

Didaktisk referensram

2.1 Scientific literacy

Att åstadkomma en funktionell naturvetenskaplig medborgarutbildning (eng. Scientific literacy) innefattar att tillhandahålla en förståelse för naturvetenskap som kan användas för att ta beslut och delta i diskussioner om naturvetenskap och teknik utanför skolmiljön (Ryder 2001, p. 2). Detta återspeglas i gymnasieskolan genom att "Undervisningen i ämnet fysik ska syfta till att eleverna utvecklar kunskaper om fysikens begrepp, teorier, modeller och arbetsmetoder. [...] Undervisningen ska också bidra till att eleverna, från en naturvetenskaplig utgångspunkt, kan delta i samhällsdebatten och diskutera etiska frågor och ställningstaganden." (Skolverket 2011, p. 1)

Den naturvetenskap människor lär sig i skolan är bara en del av vad de kan lära sig under sin livstid med hjälp av nyhetsrapportering, populärvetenskapliga magasin och sökning efter information på internet. Oavsett spelar skolan en viktig roll i början av den naturvetenskapliga kunskapsutvecklingen hos allmänheten. (Ryder, p. 638)

2.2 Nature of science

Skolan har inte bara till uppgift att lära barn och ungdomar om vetenskapliga resultat, utan också om vetenskapen själv (Gyllenpalm, p. 1169). Enligt Ledermann (1999) kan naturvetenskapens kärna, *Nature of science*, beskrivas av följande punkter:

- a. Vetenskapliga sanningar är föränderliga
- b. har empirisk grund
- c. subjektiv men baserad på teori
- d. kräver mänsklig inblandning, fantasi och kreativitet
- e. behöver en kombination av observationer och slutledning
- f. socialt och kulturellt inpräntad

Elever får sällan *Nature of science* presenterat som helhet, utan skolas in i den naturvetenskapliga kulturen genom studier. "För att upptäcka och tillägna sig naturvetenskapliga begrepp och teorier måste de vara tillsammans med människor som använder dessa då de berättar, förklarar, diskuterar, löser problem etc. Det är alltså fråga om att inlemmas i, att erövra, att bli medskapande i en kultur. Ett svenskt ord för detta skulle kunna vara kulturering. Men för denna kulturering behövs inte bara social stimulans utan också en egen aktiv bearbetning av kulturens innehåll." (Andersson, p. 12)

2.3 Hållbar utveckling

”Nationella avtal och tillägg i skollag och läroplaner gör att det numera ingår i det svenska utbildningsväsendets uppdrag att integrera aspekter av hållbar utveckling i den undervisning som bedrivs.” (Björneloo, p. 126) Elever som läser fysik 1 vid en svensk gymnasieskola skall lära sig om “Energiresurser och energianvändning för ett hållbart samhälle”. Vad ett hållbart samhälle är kan dock vara svårt att finna en enkel definition för. Som utgångspunkt används istället Brundtlandkommissionens definition av *hållbar utveckling* från 1987, denna är den mest accepterade i den globala debatten (Statens offentliga utredningar, 2004). Definition säger att ”En hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov”. Under antagandet att ett hållbart samhälle är ett samhälle där hållbar utveckling pågår konstateras att de energikällor som först kvalar in på listan över de som inte påverkar framtida generationers förutsättningar härrör från, både direkt och indirekt, solenergi. Härvidlag kan konstateras att både en laboration om solpaneler och en om vindkraft passar väl in i det centrala innehållet i gymnasiets kurs *Fysik 1*. Dessutom kan dessa energikällor vara del i en rörelse mot en renare energiproduktion¹ och kan, av den anledningen, vara lämpliga som del i den naturvetenskapliga medborgarutbildningen.

Sociala dilemman med konceptuell eller teknisk anslutning till vetenskap kallas *socioscientific issues*, SSI. Några exempel som debatterats friskt under senare tid är kloning, stamcellsforskning, global uppvärmning och alternativa bränslen (Sadler, p. 513). SSI kan utgöra en länk mellan den verklighet elever som lär sig naturvetenskapliga ämnen lever i och naturvetenskapens kärna. (Sadler, p. 533)

SSI rörelse mot att inkludera samhällsrelaterade aspekter i fysikundervisningen är inget nytt i sig. Vetenskap-teknik-och-samhälle-rörelsen (eng. *Science technology and society*, STS) har undervisat om dessa tre sfärers gemenskap sedan 80-talet (Sadler, p. 514). SSI är dock mer samlat i den mening att det behandlar sociala dilemman med vetenskaplig eller teknisk anslutning. Dilemmat presenteras och den följande undervisningen eller laborationen syftar till att finna en lösning på dilemmat. Ett alternativt angreppssätt är att inkludera ett dilemma som motivation till att en viss teknisk lösning är intressant. Exempelvis global uppvärmning och oljekris som motivation till att lära sig mer om solpaneler och vindkraft.

2.4 Laborationer

Experiment är karaktäristiska för naturvetenskap och används som del i definitionen av naturvetenskapens kärna (Angell, p. 685). Skollaborationer uppskattas för sin förmåga att entusiasmera elever och låta dem bekanta sig med det naturvetenskapliga arbetssättet (Högström 2006, p. 54). Samtidigt har det många gånger visat sig att elever inte lär sig så mycket av det laborativa arbetet (Högström 2006, p. 54). Vilket lärande som äger rum beror till viss del på vilken typ av laboration som används. Den idag vanligaste och samtidigt den mest kritiserade laborationsformen är av traditionell bekräftelsetyp (eng. *expository*) (Domin, p. 543). Under en sådan laboration definierar läraren vad som skall undersökas och hur det skall göras. Eleverna följer en detaljerad manual och utför ett antal förutbestämda aktiviteter och beräkningar. Laborationen syftar till att bekräfta något

¹Visst, energi kan varken skapas eller förstöras men här används ordet energiproduktion i den lite bredare bemärkelsen att omvandla till en energiform som mänskligheten kan ha direkt användning av.

som både lärare och elever känner till redan innan utförandet. I studier har det framkommit att lärandet som äger rum under traditionella skollaborationer är lågt (Domin, p. 544). Samt att en av riskerna med receptliknande instruktioner är att eleverna inte uppfattar avsikterna med det laborativa arbetet eller vilken betydelse de olika arbetsmomenten har (Högström 2006, p. 56).

Att konstruera laborationer är en balansgång mellan att styra eleverna mot ett önskat resultat och låta dem uppleva naturvetenskapens upptäckarglädje. Laborationer har alltid förmedlat en kluvenhet mellan å ena sidan att lära ut det etablerade naturvetenskapliga innehållet och å andra sidan att låta eleverna undersöka själva och tänka kritiskt” (Strömdahl, p. 98).

Ett sätt att nyansera laborationsinstruktioner är med hjälp av teorin kring frågeställningsbaserade laborationer (eng. *inquiry based*). Vilken grad av eget bestämmande för eleverna som tillåts kan beskrivas med hjälp av en matris (Blanchard et al., p. 594):

	Frågeställning	Datainsamlingsmetod	Resultattolkning
Nivå 0: Bekräftelselaboration	Givet av lärare	Givet av lärare	Givet av lärare
Nivå 1: Strukturerad	Givet av lärare	Givet av lärare	Eleverna väljer
Nivå 2: Handledande	Givet av lärare	Eleverna väljer	Eleverna väljer
Nivå 3: Öppen	Eleverna väljer	Eleverna väljer	Eleverna väljer

Tabell 2.1: Olika nivåer för frågeställningsbaserade laborationer

Vilken nivå som lämpar sig bäst för olika grupper har funnits bero på förkunskaper i det av laborationen berörda ämnet. Blanchard et al. (2010, p. 609) fann att ju mer förkunskaper eleverna har desto högre nivå kan användas. De kunskapsmässiga fördelarna med att låta elever bestämma mer över laborationen ökar med ökande elevålder (Blanchard et al., p. 598). Genom att jämföra kunskapsutvecklingen för olika elevgrupper som utförde motsvarande laboration med olika upplägg kunde skillnader observeras. Två varianter av laborationen genomfördes, som bekräftelselaboration (nivå 0, Tabell 2.1) och handledande frågeställningsbaserad laboration (nivå 2, Tabell 2.1). De grupper som genomförde den handledande frågeställningsbaserade laborationen hade i allmänhet en större förståelse för ämnet även på lång sikt (Blanchard et al., p. 609).

Att ta ansvar för åtminstone delar av planeringen gör att eleverna uppfattar laborationen som sin egen, vilket också gör att inställningen till det berörda skolämnet förbättras (Domin, p. 544).

När en elevgrupp kommer till VH är de oftast inbokade på ett 90 minuters laborationspass. Det finns alltså en övre gräns för hur länge själva laborerandet kan tänkas fortgå. Givet att introduktion till en laboration vanligtvis tar en stund samt att några avslutande kommentarer och diskussioner vanligtvis behövs för att knyta ihop besökets upplevelser är en aktiv laborationslängd på 45-60 minuter önskvärd. För att kunna uppnå detta måste laborationernas omfång anpassas. Alternativt skulle besökets längd kunna ändras eller fler besök göras på samma tema.

2.5 Utvärdering med hjälp av fokusgrupper

Fokusgrupper är en typ av handledda gruppdiskussioner. Intervjuaren fokuserar gruppens diskussioner kring ett visst ämne och agerar moderator. Detta kan exempelvis ske genom att visa film eller bilder och ställa öppna frågor som gruppen får diskutera (Kitzinger,

p. 103). Intervjuaren verkar som moderator och kan ställa följdfrågor om diskussionen avstannar. Det kan vara en fördel för dynamiken i gruppen om de som ingår i fokusgruppen känner varandra sedan tidigare, exempelvis genom en gemensam arbetsplats eller skolklass. Interaktionen mellan deltagarna i fokusgruppen är viktig för att resultatet av diskussionerna skall återspegla fleras åsikter och tankar. Vilka ord gruppmedlemmarna väljer att använda under diskussionen kan också vara intressant (Kitzinger, p. 116).

Kapitel 3

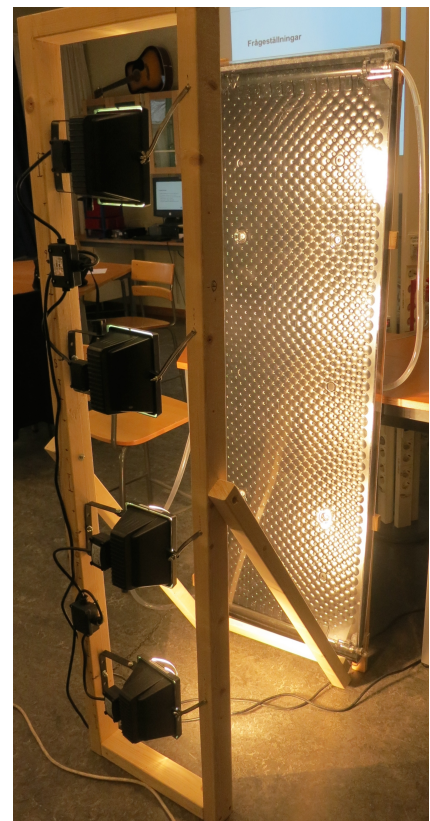
Solpanellaboration

3.1 Utrustning

Under den sedan tidigare utvecklade laborationen med solfångare används fyra olika solpaneler. Två av dessa, vakuumrörsolfångaren och den plana solfångaren, fungerar inte som det är tänkt. Under examensarbetet skall vattenflödet i dessa fås att fungera. De två andra solpanelerna, luftolfångaren och solcellen, behandlas inte i samma utsträckning under detta examensarbete. Därför kommer deras beskrivning vara något mer kursiv.

3.1.1 Plan solfångare

Den plana solfångarens absorbator består av två svarta plastplattor som delvis etsats samman så att det bildas ett mönster av celler sammanbundna av smala kanaler. Cellernas placering är sådan att den flödande värmebäraren ej kan följa en rät linje från absorbatorns inlopp till dess utlopp, detta för att öka värmeöverföringen till värmebäraren. Absorbatorn är placerad i en isolerad plastlåda med ett genomskinligt plastlock. De celler som gränsar mot absorbatorns kortsidor är sammanbundna av en större kanal vid respektive kortsida. Dessa har anslutningar i båggeändrar. Absorbatorn har alltså fyra möjliga anslutningspunkter. För att flödet skall bli jämnt fördelat i panelen bör anslutningar i motstående hörn användas. I absorbatorn flödar en värmebärare, vanligtvis en glykolblandning eller vatten beroende på den förväntade lägsta temperaturen. Värmebärarens flödes hastighet kan varieras beroende på den önskade sluttemperaturen. Dock bör nämnas att panelens effektivitet beror på temperaturskillnaden mellan den omgivande luften och värmebäraren då panelen ej är perfekt isolerad. Det är alltså fördelaktigt att värmebäraren har en låg temperatur när detta är möjligt.

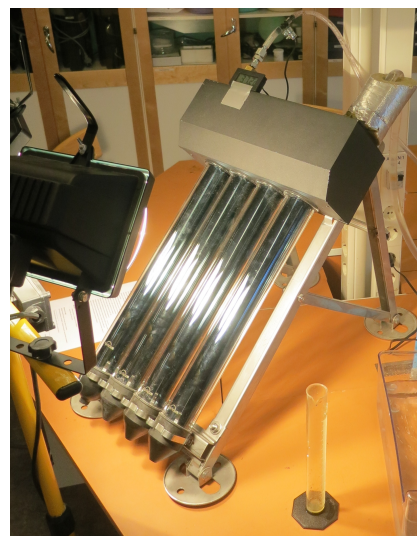


Figur 3.1: Plan solfångare

3.1.2 Vakuumsolfångare

Vakuumsolfångarens viktigaste komponenter, absorbatorrören, består av ett inre svart absorbatorrör och en yttre skyddande glascylinder. Mellan dessa har ett vakuum skapats för att minimera konvektionsförluster. Glascylindern har en hög transmittans för kortare våglängder och låg transmittans för infrarött ljus. På detta sätt når merparten av solens ljus till absorbatoren medan dess värmestrålning reflekteras tillbaka.

Den värme som absorberas av absorbatorröret måste överföras till värmebäraren som flödar genom den svarta lådan vid solfångarens övre del, se Figur 3.2. Detta åstadkoms med hjälp av en *heat pipe* som består av en sluten cylindrisk behållare vilken är fylld med ett köldämne (vatten i detta fall), både i flytande- och gasform. Trycket i behållaren är lågt, sådant att köldämnet kokar vid en för absorbatoren lämplig temperatur. När solens ljus träffar absorbatorröret ökar dess temperatur och köldämnet börjar koka. Ångan förflyttas till rörets övre del där röret är i termisk kontakt med en värmebärare, vanligtvis en glykolblandning eller vatten beroende på den förväntade lägsta temperaturen. Då värme överförs från ångan i heat pipen till värmebäraren kondenserar ångan och rinner tillbaka till heat pipens lägre del där den åter kan börja koka på grund av den absorberade solstrålningen.



Figur 3.2: Vakuumsolfångare

3.1.3 Luftsolfångare

Luftsolfångaren som används under laborationen har byggts av personal på VH. Den består av en genomskinlig täckskiva av plexiglas, och en isolerad trälåda som är målad svart på insidan. När solfångaren träffas av solstrålning transmittas merparten av denna denna genom plexiglasskivan och fortsätter till den målade ytan. Strålningsenergin absorberas av den svarta färgen och omvandlas till värme. Eftersom lådans baksida är isolerad överförs merparten av denna värme till den flödande luften i lådan. Solfångaren har konstruerats så att luften rör sig i ett S-mönster under sin färd från inloppet i lådans nedre högra hörn, enligt Figur 3.3, till utloppet i dess övre vänstra hörn. Luftflödet drivs av en fläkt vid utloppet. Temperaturgivare har placerats vid inlopp och utlopp.



Figur 3.3: Luftsolfångare

3.1.4 Polykristallin solcell

Beskrivning från solpanellaborationens infoblad (bilaga):

En kisel-solcell består av en tunn skiva av ett halvledarmaterial med kontakter på fram- och baksidan. När solinstrålningen träffar solcellen skapas en elektrisk spänning mellan fram- och baksidan. Kopplar man in dessa i en krets får man ut en ström. En kisel-solcell ger ca 0,5 V, vilket är för låg spänning för att vara praktiskt användbar. Därför seriekopplar man ett antal celler (30-36 st) i en modul för att de tillsammans ska komma upp i en lämplig spänning, t.ex. för att kunna användas till laddning av batterier eller anslutas till en växelriktare. Kisel är ett halvledarmaterial som används i solceller. Kisel-solceller är den vanligaste typen av solceller på marknaden idag. Kisel-solceller är antingen polykristallina eller monokristallina. Skillnaden är att monokristallina solceller tillverkas av en kristallstruktur medan polykristallina byggs upp av flera kiselkristaller. Polykristallina solceller är billigare eftersom de kan göras av flera olika kristaller som ofta blir över vid tillverkning av monokristallina solceller. Polykristallina solcellers uppbyggnad ger dem en något lägre verkningsgrad än monokristallina.



Figur 3.4: Solcellspanel

3.1.5 Varmtrådsanemometer

En varmtrådsanemometer (VTA) kan användas för att mäta flödes hastighet i en gas (i detta fall luft). En tunn metalltråd upphettad med hjälp av en elektrisk ström placeras i ett luftflöde. När luften flödar över tråden kyls denna av med hjälp av konvektion (Lee, p. 149).

Det finns två olika typer av varmtrådsanemometrar, konstant ström-typ och konstant temperatur-typ. Om konstant ström används mäts motståndet i tråden som påverkas av dess temperatur. Temperaturen i sin tur beror på gasens flödes hastighet. Om konstant temperatur av tråden används mäts strömmen som krävs för att behålla motståndet i tråden vid ett visst värde (Lee, p. 150).

Varmtrådsanemometern ger ett mätvärde för flödes hastigheten. Det är viktigt att instrumentet är korrekt kalibrerat och används vid de lufttemperaturer och flödes hastigheter instrumentet är avsett för.

3.1.6 Pyranometer

På VH fanns vid projektets början två pyranometrar. Genom att utnyttja en kalibrerad solcell gav instrumentet instrålad effekt per kvadratmeter. Instrumentet fungerade utmärkt för att mäta instrålad effekt från solen, dock upplevdes mätvärden från halogenlampors strålning som för låg. För mer information om detta, se Avsnitt 3.3.3.

3.1.7 Solarimeter

Genom att utnyttja temperaturskillnaden som uppstår, då en ytas ena sida bestrålas, mäter instrumentet instrålad effekt medelst en Moll thermopile. Denna skyddas av två glaskupor, se Figur 3.5. Mätvärden fås från instrumentet med hjälp av en precisionsvoltmeter. Den instrålade effekten beräknas med hjälp av faktorn $P = 83.333 \text{ (W/m}^2\text{)}/\text{mV}$ som kalibrerats till det aktuella instrumentet. Mätområdet är 300 nm till $2.5 \mu\text{m}$, vilket passar halogenlampans spektrum väl. Felmarginalen är angiven till 1% (se bilaga).

En *thermopile* består av seriekopplade *thermocouples*. Dessa utnyttjar den termoelektriska Seebeck-effekten för att generera en spänning med hjälp av en temperaturskillnad (ASTM, p. 5). I solarimetern orsakas temperaturskillnaden över en thermopile av att dess ena sida absorberar strålningsenergi, exempelvis från en halogenlampa, som omvandlas till värme.

Seebeck-effekten orsakar en spänning i alla elektriskt ledande material som inte har en homogen temperatur, denna spänning kallas Seebeck ems (ASTM, p. 5), där ems står för elektromotorisk spänning. På molekylär nivå beror spänningen på den förskjutning av laddning (elektroner) som sker då värme flödar från den varmare till kallare delen av metallen. Elektronernas rörelse är den primära källan till värmetransport i metaller (Lee, p. 61). Den spänning som uppstår på grund av elektronernas förskjutning i ledaren kan uttryckas som

$$d\mathcal{E}_\sigma = \sigma(T)dT \quad (3.1)$$

där $\mathcal{E}_\sigma$ är Seebeck ems, $\sigma(T)$ är Seebeck-koefficienten, som generellt beror av temperaturen T och är materialspecifik (ASTM, p. 6). Spänningen mellan två temperaturer T_1 och T_2 kan beräknas som

$$\mathcal{E}_\sigma = \int_{T_1}^{T_2} \sigma(T)dT \quad (3.2)$$

genom integrering av Ekvation 3.1.

3.2 Teknisk referensram

3.2.1 Pump till de vattenburna solfångarna

Vid arbetets början fungerade inte vätskecirkulationen i plattsolfångaren och vakuumrörsolfångaren. Istället fylldes de med vatten då laborationer genomfördes och temperaturökningen över tid mättes för att bestämma den absorberade energin och därmed effekten.

I plattsolfångaren varierade temperaturen i värmebäraren. Detta konstaterades genom att mäta temperaturen i tillloppsröret efter en tids belysning och sedan hålla ut panelens vatten i en behållare och ånyo mäta temperaturen. Mätningarna gav 58°C respektive 40°C . Plattsolfångaren består av två svarta plastplattor som delvis etsats samman för att skapa vattenceller sammanbundna av kanaler. Sannolikt var kanalerna för tunna för



Figur 3.5: Solarimeter

att värmnet effektivt skulle kunna spridas. Vakuumrörsolfångarens konstruktion, å andra sidan, tillät vattnet i strömningskammaren att blandas medelst konvektion så att temperaturen i vätskan var nästintill homogen. Vid mätning i solfångarens utlopp och den uthållda vätskan erhöles 40 °C respektive 42 °C.

Granryd et al. (ekvation 6.11) ger ett samband för den absorberade effekten för en vätska givet en temperaturökning.

$$\dot{Q} = \rho C_p \dot{V} \Delta t \quad (3.3)$$

Där $\dot{Q}$ är den absorberade effekten, ρ vätskans densitet, C_p specifik värmekapacitet, $\dot{V}$ flödes hastigheten och Δt är temperaturförändringen.

De mätningar som gjordes vid laborationens ursprungliga utformning, Hammar, L. (2010), ger effekten för den plana solfångaren $\dot{Q}_{plan} = 128 \text{ W}$ och effekten för vakuumrörsolfångaren $\dot{Q}_{vakuum} = 10 \text{ W}$.

Då laborationen genomförs med fungerande flöde är det önskvärt att observera en tydlig temperaturökning. Valet av vad som kan anses tydligt är något godtycklig men för att få en fingervisning om ett lämpligt vattenflöde väljs $\Delta t = 3^\circ\text{C}$. Beräkningar med $C_p = 4180 \text{ J/kgK}$ och $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ med hjälp av (3.3) ger flödes hastighet för den plana solfångaren $\dot{V}_{plan} = 0.61 \text{ l/min}$ och för vakuumrörsolfångaren $\dot{V}_{vakuum} = 0.048 \text{ l/min}$.

3.3 Teknisk laborationsutveckling

3.3.1 Vätskeflöde i plattsolfångaren och vakuumrörsolfångaren

Två pumpar med variabel hastighet, slang, kopplingar, slangklämmor och temperaturgivare inhandlades. Slangar monterades på solfångarna. Plattsolfångaren utrustades med ca 2 m långa slangar eftersom solfångaren skulle kunna placeras på golvet och behållaren med vatten på ett bord. Slangarna till vakuumrörsolfångaren behövde inte vara längre än 1 m då dess vattenbehållare kan placeras direkt bredvid solfångaren. Pumparna anslöts till tillloppsslangarna och flödet testades. Det konstaterades att flödet var för högt även vid pumparnas lägsta inställning. Därför utrustades tillloppsslangarna även med ventiler som används för att justera flödes hastigheten.

Plattsolfångarens vätsketemperaturer, T_{in} och T_{ut} , mäts vid pumpen i vattenbehållaren respektive i frånvattenslangens mynning. Flödet i vakuumrörsolfångaren är så lågt att det tar nästan 2 minuter för en genomsnittlig vattenmolekyl att färdas från pumpen till solfångaren eller från solfångaren till vattenbehållaren (beräknat för 1 m lång slang med 10 mm diameter och flöde 40 ml/min). Då slangen är oisolerad, vilket den inte är i en verklig installation, blir värmeförlusten genom slangen en viktig felkälla. För att överbrygga en del av denna fästes temperaturgivaren för temperatur ut ur solfångaren (den högre temperaturen) så nära solfångarens anslutning till frånloppsslangen som var praktiskt möjligt. Temperaturgivaren kan ses i Figur 3.2, vid den vänstra anslutningen till solfångaren. Under elevlaborationerna fylldes minst 10 liter rumstempererat cirkulationsvatten i behållaren. Temperaturökningen på detta vatten var normalt bara ett par grader under en laboration. Därför mättes tillloppstemperaturen vid pumpen i baljan.

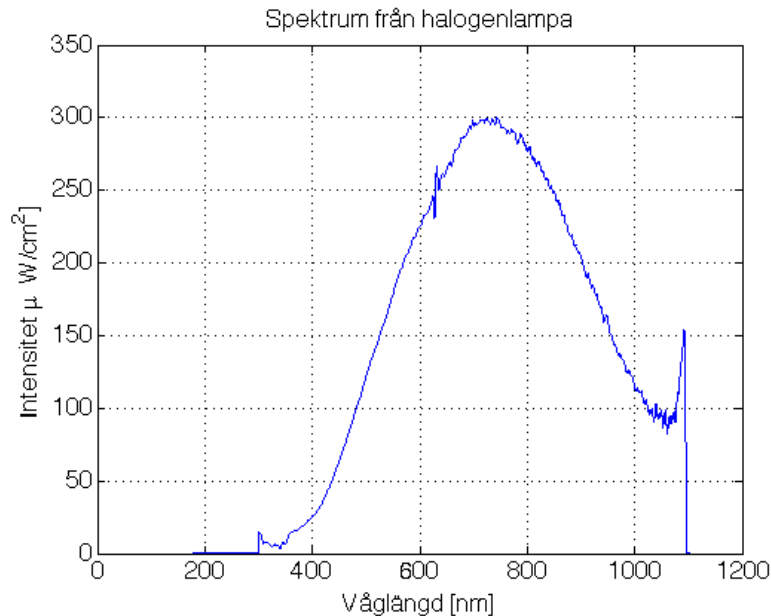
3.3.2 Flödets inverkan på uppmätt verkningsgrad

I den presentation som användes vid laborationen med solpaneler vid examensarbetets början stod att vakuumrörsolfångarens verkningsgrad var kring 65% och plattsolfångarens

verkningsgrad kring 28%. För att uppnå denna verkningsgrad för vakuumrörsolfångaren skulle den uppmätta effekten multipliceras med fyra för att kompensera för att det var en modell med kortare rör än på en verklig produkt. När flödet genom vakuumrörsolfångaren och plattsolfångaren fungerade kunde en högre verkningsgrad än tidigare konstateras. Plattsolfångarens verkningsgrad varierade mellan 48% och 25% beroende på värmebärarens temperatur. Vakuumrörsolfångarens verkningsgrad varierade mellan 49% och 37%. Märk väl att dessa resultat erhöles utan att multiplicera vakuumrörsolfångarens effekt med fyra. Antagandet att den tidigare presterade såpass låg uteffekt på grund av rörens reducerade längd måste därför ifrågasättas.

3.3.3 Att mäta instrålad effekt från halogenlamporna

Halogenlampor användes i laboratoriet istället för att förlita sig på soligt väder vid besök. Detta orsakade viss huvudbry då dessas strålning inte kan antas ha samma svartkroppsstrålning som solen och därmed en vanlig sol-pyranometer ej kan användas med önskad noggrannhet.



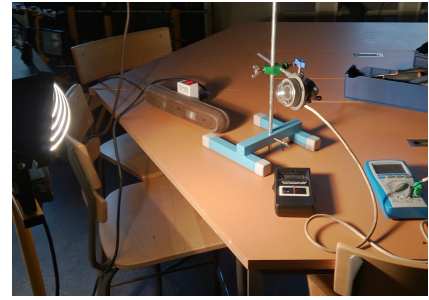
Figur 3.6: Spektrum från halogenlampa som används till solfångarna

Halogenlampans spektrum har sitt maximum vid $\lambda_{max} = 725 \text{ nm}$. Enligt Wiens förskjutningslag

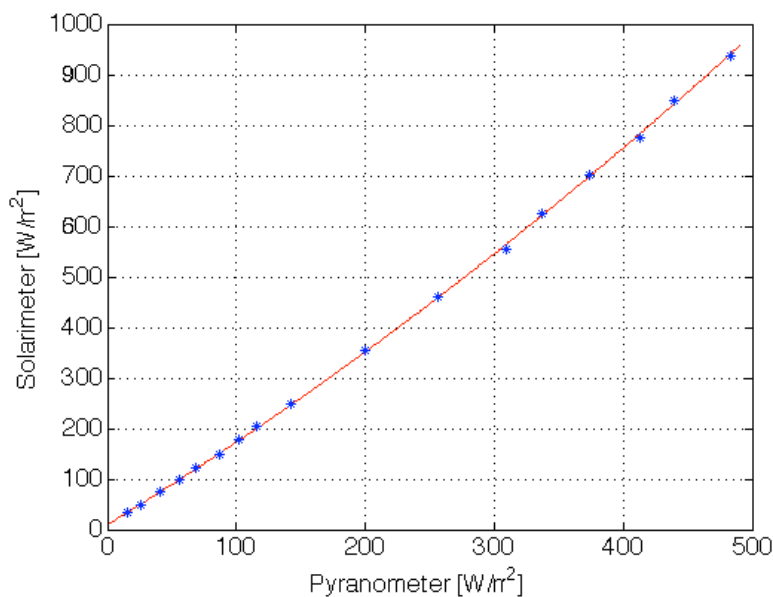
$$\lambda_{max} = \frac{2.8978 \cdot 10^{-3}}{T}$$

motsvarar detta en svartkropp med temperatur kring 4000 K. Alltså lägre än solens 5800 K.

För att erhålla mer korrekta värden för den instrålade effekten från halogenlamporna lånades en Solarimeter från *Tillämpad termodynamik och kylteknik* på KTH. Mätningar av den instrålade effekten från en halogenlampa genomfördes genom att montera solarimetern på ett stativ framför lampan (se Figur 3.7) och samla in mätvärden för solarimetern och pyranometern med olika avstånd till lampan. Mätvärden för pyranometern erhöles genom att ta fyra mätvärden i ett kryssmönster nära solarimetern och beräkna deras medelvärde. Mätningarna utfördes så att solarimeterns och pyranometerns absorbatorer befann sig i samma plan, vinkelrätt mot en linje från lampan till solarimetern.



Figur 3.7: Solarimeter i stativ, belyst av halogenlampa



Figur 3.8: Jämförelse av mätningar från pyranometer och solarimeter, absorbatorer i samma plan

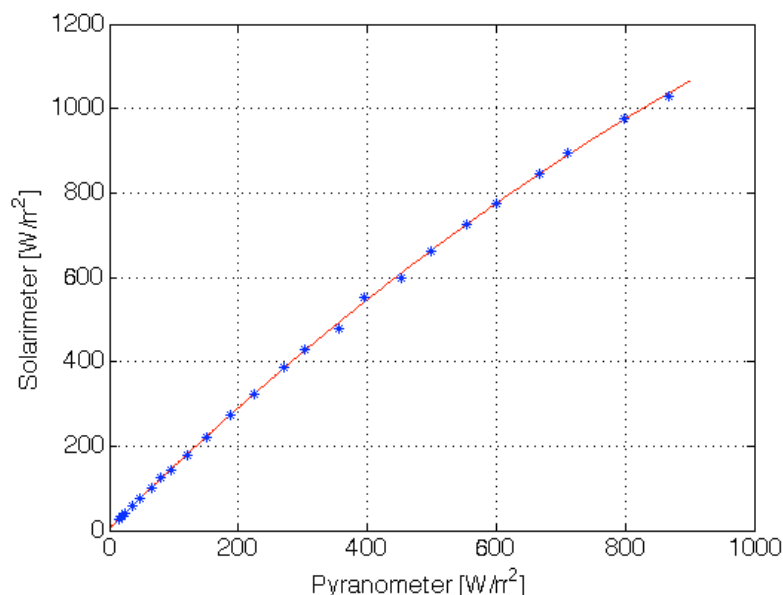
Medelst en minstakvadratanpassning av ett andragradspolynom erhålles en god korrelation mellan pyranometerns och solarimeterns mätvärden.

$$S = 0.000767 \cdot P^2 + 1.56 \cdot P + 9.78 \quad (3.4)$$

Där S är mätvärden från solarimetern och P är mätvärden från pyranometern. Resultaten från mätningarna bör betraktas med en viss skepsis då det inte var möjligt att mäta med både pyranometern och solarimetern i samma punkt. Vid korta avstånd till lampan, läs hög intensitet, varierade effekten tydligt beroende på vinkeln från ljuskäglans mitt. Detta ledde till att solarimetern, som befann sig i ljuskäglans mitt, utsattes för en högre intensitet än pyranometern.

Under förberedelserna för laborationen mäts den instrålade effekten till solfångarna genom att placera pyranometern på solfångarna. Detta gör att instrålningen mäts närmare lampan än absorbatoren befinner sig. Dels skyddas absorbatoren av ett genomskinligt skikt och pyranometerns tjocklek är 3 cm. Solarimeterns skyddsskåpor har jämförbara dimensioner med avståndet mellan skyddsskikt och absorbator i solfångarna. Därför utfördes

även en jämförelse mellan mätvärden från solarimetern och pyranometern då den sistnämnda placerades på solarimeters skyddskåpa vid mätning.



Figur 3.9: Jämförelse av mätningar från pyranometer och solarimeter, pyranometer placerad på solarimeter

Motsvarande minstakvadratanpassning ger

$$S_1 = -0.000353 \cdot P_1^2 + 1.49 \cdot P_1 + 5.16 \quad (3.5)$$

Där S_1 är mätvärden från solarimetern och P_1 är mätvärden från pyranometern.

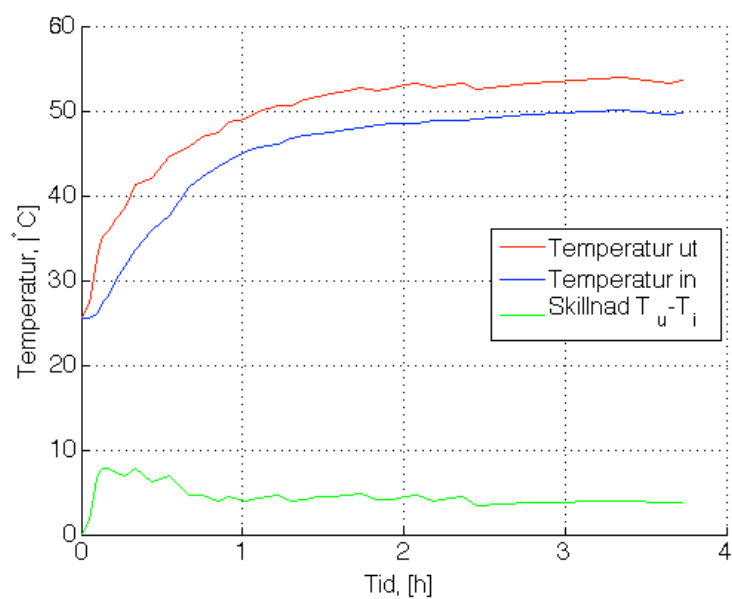
Då pyranometern är närmare lampan än solarimetern är det naturligt att observera en avtagande lutning på kurvan. Detta beror på att effekten från lampan avtar med ett kvadratisk förhållande till avståndet från densamma.

3.3.4 Verkningsgradens temperaturberoende för plattsolfångare och vakuumrörsolfångare

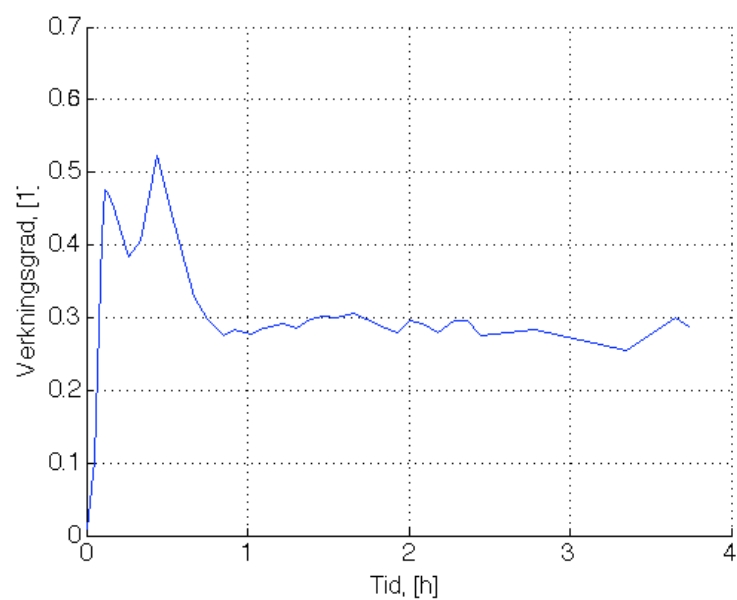
Ett längre försök utfördes för att undersöka hur verkningsgraden av plattsolfångaren och vakuumrörsolfångaren påverkades av temperaturen hos värmebäraren. Laborationsupställningen var likadan som när en klass utför laborationen. Det vill säga slangarna till solfångarna var ej isolerade. Isolerade baljor av plast användes, varifrån vatten cirkulerades genom respektive solpanel med hjälp av en pump. Se besöksledarhandledning och presentation (bilagor) för metod.

En skillnad från ett laborationstillfälle var att baljorna fylldes med en mindre mängd vatten för att temperaturen i baljan skulle stiga fortare, 3 liter och 6 liter för vakuumrörsolfångaren respektive plattsolfångaren jämfört med minst 10 och 20 liter vid en elevlaboration.

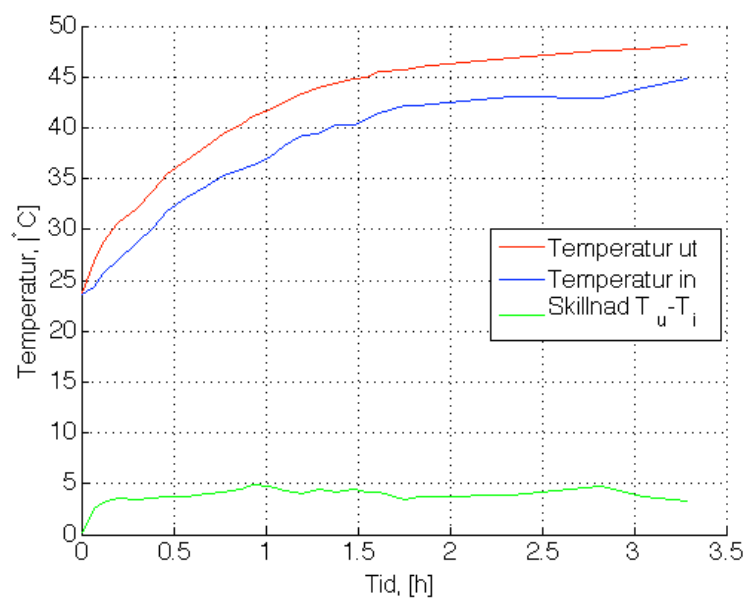
Undersökningen gjordes dels för att få reda på verkningsgradens temperaturberoende men också för att undersöka om det finns en risk att vattnet från solfångarna skall bli så varmt att en elev kan bränna sig under en laboration.



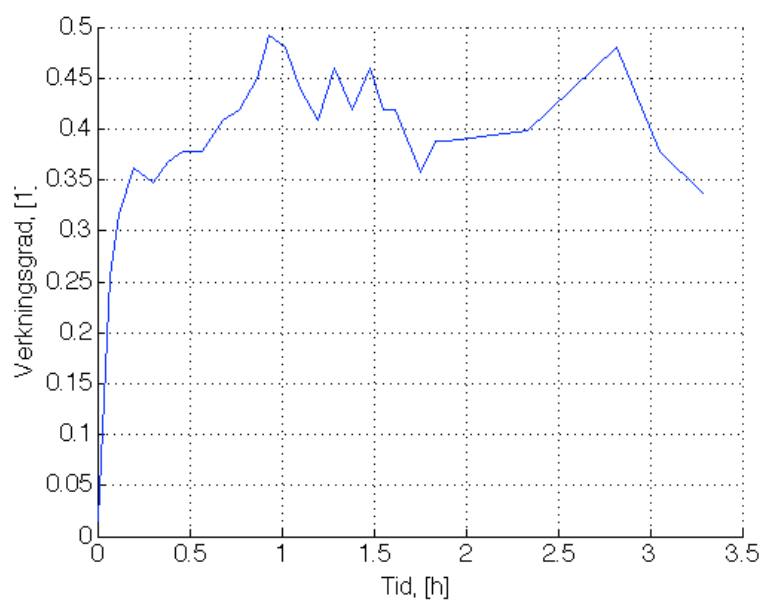
Figur 3.10: Temperaturutveckling plattsolfångare



Figur 3.11: Verkningsgrad plattsolfångare



Figur 3.12: Temperaturutveckling vakuumrörsolfångare



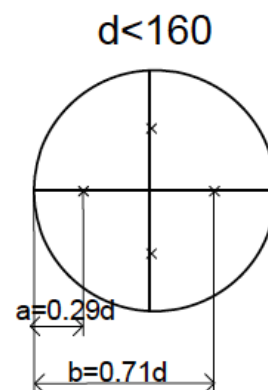
Figur 3.13: Verkningsgrad vakuumrörsolfångare

Det konstateras att temperaturökningen för vattnet avstannar vid som högst 55° vilket är bra ur säkerhetssynpunkt eftersom risken för brännskador på huden är låg vid dessa temperaturer.

Skillnaden $T_{ut} - T_{in}$ för plattsolfångaren minskar vid högre temperatur eftersom värmeförlusterna genom panelen får en större inverkan vid högre värmebärartemperatur.

3.3.5 Volymflöde genom luftsolfångaren

För att kunna beräkna den, av luftsolfångaren, absorberade effekten måste luftens volymflöde bestämmas noggrant. Tidigare har man använt luftens hastighet mätt i mitten av tilloppet till solfångaren. Dock konstateras att flödeshastigheten inte är lika stor i hela rörets tvärsnitt. En metod för att mäta flödeshastighet i ett rör som har mindre diameter än 160 mm återfanns i *Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer* (Johansson, p. 34). Lämpliga mätpunkter givet en diameter på 100 mm, vilket luftsolfångaren har, är fyra punkter i ett korsmönster på avståndet 29 mm från rörets insida (se Figur 3.14). Mätningarna utfördes med en varmtrådsanemometer, då denna inte påverkar flödet i samma grad som en mekanisk anemometer. Mätserier utfördes under den tid det tar för luftsolfångaren att värma upp efter halogenlamporna börjat belysa den. Detta för att undersöka om flödeshastigheten påverkades av lufttemperaturen i solfångaren.



Figur 3.14: Mätpunkter i ventilationsrör

v_1 [m/s]	v_2 [m/s]	v_3 [m/s]	v_4 [m/s]	v_{medel} [m/s]
1,25	1,43	1,26	1,47	1,35
1,20	1,37	1,17	1,50	1,31
1,30	1,38	1,22	1,50	1,35
1,30	1,37	1,20	1,44	1,33

Tabell 3.1: Flödeshastighet i tillopprör till luftsolfångaren

Ingen trend kan observeras i medelvärden erhållna ovan. Alltså konstateras att flödet inte påverkas på ett mätbart sätt när luften blir varmare.

Under elevlaborationerna skulle det vara tidskrävande att behöva mäta flödeshastigheten i fyra punkter. Därför kan man fortsätta mäta i centrum av ventilationsröret, där hastigheten under försöket ovan var 1,8 m/s men använda en enkel tumregel som säger att flödeshastighetens medelvärde är ungefär centrumvärdet multiplicerat med 0,7.

$$v_{medel} \approx 0.7 \cdot v_{centrum}$$

Tumregeln ger en bra approximation vid användning på smala rör. I fallet ovan blir felet 4%-7% jämfört med den mer exakta mätmetoden med fyra mätpunkter.

3.4 Didaktik

Laborationen med solpaneler fanns redan på VH vid arbetets början. Den var produkten av ett examensarbete från 2010 av Leif Hammar. Det var framförallt tekniska förbättringar

som efterfrågades av uppdragsgivaren men också en anpassning till kursplaner enligt GY11 samt en översyn av laborationens form.

3.4.1 Laborationens mål

- Skapa intresse för ämnet energi och miljö
- Undersöka olika solpanelers verkningsgrad
- Undersöka hur de olika panelerna kan påverka en familjs ekonomi

3.4.2 Caselaboration

Laborationen var utformad som ett case där eleverna fick lära känna en fiktiv familj som ansåg sig ha för höga elräkningar. Familjen övervägde att installera solpaneler för att kunna täcka energibehovet för tappvarmvatten under sommarhalvåret. Fyra olika solpaneler undersöktes: plattsolfångare, vakuumrörsolfångare, solcellspanel och luftsolfångare. Verkningsgraden av panelerna bestämdes under laborationen och eleverna skulle ta ställning till om de rekommenderade den effektivaste panelen eller om det var någon annan de föredrog. Dessutom skulle eleverna diskutera vilken aspekt av verkningsgrad, utseende, hållbarhet eller miljö som de ansåg var viktigast i beslutsprocessen. (Hammar, 2010)

Två versioner av laborationen var framtagna. Dels en tretimmarslaboration och en nitio minuterslaboration. Eftersom flödet i plattsolfångaren och vakuumrörsolfångaren inte fungerade var man tvungen att mäta temperaturutvecklingen på värmebäraren (vatten) över tid. Som del i detta examensarbete ordnades så att flödet fungerade. Detta skapade större frihet i laborationens utförande eftersom den, av solfångarna, absorberade effekten gick att finna med hjälp av en mätning. Mer om detta finns att läsa i avsnittet *Teknisk laborationsutveckling*.

3.4.3 Skiftat fokus, mot förståelse av tekniken

Eftersom det inte längre var nödvändigt att göra flera mätningar på plattsolfångaren och vakuumrörsolfångaren för att beräkna den absorberade effekten lades istället fokus på att förstå hur solfångarna fungerade. Denna förändring gjordes efter intervjuer med den första testklassen som gjorde laborationen. Under fokusgruppsintervjun framkom att eleverna ville få en djupare förståelse för solpanelerna hellre än att göra flera mätningar och få högre precision i den beräknade verkningsgraden. Variation under fysikpass är viktigt (Angell et al., p. 699). För att laborationspasset skulle skifta mellan helklassformat och gruppundersökning planerades upplägget av besöket om. Under presentationen (se bilaga), innan solpanelernas funktion diskuteras undersöker eleverna solpanelerna och deras respektive informationsblad gruppvis. Därmed får eleverna tid att studera panelerna närmare och distraheras inte av att samtidigt behöva utföra mätningar. Först när panelerna diskuterats i helklass påbörjar eleverna sina mätningar.

3.4.4 Elevmaterial

Förutskick

Materialet kan skickas till läraren när denne bokar besöket. Läraren kan sedan dela ut materialet till eleverna för att de skall kunna fundera på frågorna som behandlas under

laborationen. Materialet är kortfattat och består till stor del av frågor som eleverna kan reflektera över och söka mer information om de inte kommer fram till ett tillfredsställande svar på egen hand.

Presentation

Presentationen som används under laborationen har anpassats till solfångarnas nya funktion och några av bilderna har bytts ut. Annars är den i samma skick som vid examensarbetets start.

Informationsblad till solfångare

Alla informationsbladen utom det för solcellspanelen är kraftigt omarbetade. Det ingick inte i detta examensarbete att arbeta med solcellspanelen. Under arbetets gång har det dock konstaterats att detta egentligen skulle vara nödvändigt eftersom dess verkningsgrad blir orimligt låg (kring 4%) om det föreskrivna avståndet mellan halogenlampor och panel används.

Laborationspapper

Det dokument som delas ut till eleverna när de skall laborera är något omarbetat. Framförallt har formlerna skrivits om för att fungera med det nya tillvägagångssättet för att mäta absorberad effekt för solfångarna. Under arbetets gång övervägdes att ta bort de härledda formlerna för absorberad effekt från dokumentet. Dock kan elever ha problem att utföra de algebraiska manipulationer som krävs för att göra härledningen själva (Angell et al., p. 692). Därför beslutades att låta dem stå kvar.

3.4.5 Laborationsplanering

En mer detaljerad bild kan fås av att läsa besöksledarmanualen (bilaga) och titta på ett filmat besök som finns på: <http://youtu.be/2JMpnTw8xs0>

Presentation

Besökshandledaren presenterar sig själv, Vetenskapens Hus och laborationen.

Scenario och frågeställning presenteras

Tanken är att solenergi skall användas istället för el för att tillhandahålla tappvarmvatten i en normalstor villa under månaderna april-september. Energin som behövs för att värma vatten under dessa månader uppskattas till 2500 kWh. Hur många kvadratmeter behövs av de olika panelerna för att kunna tillhandahålla energin till varmvattnet?

Motivering av solenergi som intressant energikälla

Jämförelse mellan mänsklighetens årliga energibehov och instrålning från solen görs. Det konstateras att solen strålar in mänsklighetens årliga energibehov på drygt en timma.

Instrålad effekt beror på vädret

Instrålningens intensitet vid olika väderlek presenteras, från 1000 W/m^2 vid klart väder till $40 - 80 \text{ W/m}^2$ vid regnväder.

Instrålningens säsongsvariation

Årstidernas inverkan på instrålad energi per månad i Stockholm presenteras. Under april-september erhålles 1030 kWh/m^2 av årets totala 1300 kWh/m^2 .

Verkningsgrad

Begreppet och hur det kan användas för att bestämma aperturarea för solpanelerna diskuteras.

Intressanta parametrar för jämförelse av solpanelerna

Verkningsgrad, aperturarea, kostnad och livslängd som jämförelseparametrar diskuteras.

Undersökning av solpanelerna

Eleverna delas in i grupper om maximalt fyra elever och får på egen hand undersöka de fyra solpanelerna. Vid varje panel finns ett informationsblad. De informeras om att efter rundvandringen kommer varje solpanel diskuteras i helklass.

Diskussion av solpanelerna

Solpanelerna diskuteras i helklass. Eleverna har ordet så länge det är möjligt. Besöksledaren fyller i när det behövs eller klargör något som blir otydligt. Hur denna del av besöket ser ut beror mycket på dynamiken i gruppen. Hur man kan göra för att beräkna den absorberade effekten för de olika panelerna diskuteras också. Den presentation som används innefattar formlerna. De finns också på det papper som eleverna använder vid mätningar och beräkningar.

Mätningar och beräkningar görs

Eleverna gör mätningar och beräknar den absorberade effekten för solpanelerna. Varje grupp gör en mätning på respektive solpanel. Om tiden inte räcker till kan man även reducera antalet mätningar för att hinna med en givande efterföljande diskussion.

Diskussion av resultat

Medelvärden av elevernas beräknade verkningsgrader används för att finna den installerade area av respektive solpanel som krävs för att täcka energibehovet till sommarhalvårets tappvarmvatten. Kostnad för paneler och kringutrustning jämförs. Det konstateras att solcellspanelen har i särklass lägst verkningsgrad men att den också levererar en högre energikvalitet än övriga paneler och inte är lämplig om varmvatten efterfrågas. Luftsolfångaren är inte heller lämplig till detta ändamål eftersom den varma luften måste passera en värmeväxlare för att värmen skall överföras till vatten. Värmeväxlaren påverkar både totalkostnaden och den totala verkningsgraden. Återbetalningstid och livslängd för de olika panelerna diskuteras.

3.4.6 Utvärderingens tillvägagångssätt

Utvärdering av laborationen gjordes med hjälp av fokusgrupper, som beskrivits tidigare. Bilder på laborationsuppställningen visades och eleverna fick diskutera dessa utifrån frågor som ställdes av intervjuledaren. Deltagande skedde på frivillig basis. Istället för morot användes kaffe och godis/kakor som motivator för att få eleverna intresserade.

Utvärderingens syften var flera.

- Undersöka om laborationens mål uppfylldes.
- Undersöka vad eleverna lärt sig av laborationen.
- Undersöka om eleverna förstått varför och hur de bestämde verkningsgraden för de olika solpanelerna.
- Undersöka vad som uppfattades som svårt med laborationen.
- Undersöka om eleverna ansåg att lärdomarna de gjort under laborationen var applicerbara på verkligheten. Det vill säga om de ansåg att laborationsuppställningen var tillräckligt lik en verklig installation och om användandet av halogenlampor som vikarier för solen var acceptabelt.

Frågorna som ställdes under fokusgruppsintervjuerna:

1. Vad tyckte ni om introduktionen?
2. I labbet ersatte vi solen med halogenlampor. Vad tyckte ni om det?
3. Hur fungerar denna [Plattsolfångare]?
4. Hur kan man bestämma uteffekten P_u ?
5. Varför satt det en tving på slangen in i solfångaren?
6. Hur fungerar denna [vakuumrörsolfångare]?
7. Hur kan man bestämma uteffekten P_u ?
8. Varför sitter den en ventil på slangen in i solfångaren?
9. Hur fungerar denna [luftsolfångare]?
10. Hur kan man bestämma uteffekten P_u ?
11. Hur mäts och beräknas effekten in till panelerna P_i ?
12. Varför tycker ni att man skall lära sig mer om solpaneler?
13. Vad tror ni är annorlunda med en verklig installation jämfört med laborationsuppställningen?
14. Vetenskapens Hus har fyra värdeord, inspirerande, seriöst, personligt och nytänkande. Hur upplever ni dem i relation till laborationen?

Om diskussionerna kring frågorna ovan avstannade i ett tidigt skede ställdes följdfrågor.

Fokusgrupper genomfördes med tre grupper som hade varit på besöket *Solpaneler* på VH. Två av dessa möten spelades in. Den tredje gruppen bestod av en blandad grupp med årskurs 8-9, några av eleverna var för unga för att själva kunna skriva under ett godkännande om att bli inspelade. De andra grupperna hade läst merparten av fysik 1 på gymnasiet. Efter upprepade genomlysningar av de inspelade fokusgrupperna har några av diskussionerna transkriberats.

3.4.7 Utvärdering med första testklassen

Vad tyckte ni om introduktionen?

- Gick rätt snabbt tyckte jag. Kunde gått igenom lite mer innan. Om vad vi skulle göra och sådär. Det gick undan.
- Kan hålla med lite om det, men jag tycker om när det går fort. Tyckte det var bra.
- Jag tänkte faktiskt inte ens på att det gick fort. Tyckte det var bra. Tydligt och välrepresenterat. Man kunde relatera till scenariot.

Vad tyckte ni om instruktionerna till laborationsdelen?

- Det kändes ganska tydligt tyckte jag faktiskt, inte så mycket frågor kring det. Det var ganska fritt. Vi diskuterade ganska mycket kring hur vi skulle mäta och sådär. Inget problem så, att göra det.
- Allt står nästan på pappret, även fast man inte hängde med så mycket var det lätt att komma igång.
- Väl förberett, bara att göra mätningar och skriva in. Så var det klart.
- T.o.m. formlerna var ju med.
- Ja.

Vad tyckte ni om det?

- Det var väl bra, eller både och. Man tänkte väl själv inte så mycket. Det var bara dit, mät sen kanske man inte tänkte så mycket på vad man gjorde. Allt stod redan där. Men för vissa var det kanske bra.
- Vi lyckades göra fel ändå. (Skratt)
- Jag tänker på... jag som inte läser fysik längre behövde ju formlerna. Gör man det blir det ju bara en svårare uppgift men det hade gått. För mig var det bra för jag hade inte kommit ihåg hur man skulle lösa det där.
- Inte jag heller.
- Jag tror det skulle blivit lite roligare. Men det skulle krävts mer utav oss.
- Det hade vart ännu mer utmaning om det inte stod vad vi skulle mäta heller.
- Vi hade inte kommit på vilka formler man skulle använda själv. Men eftersom vi har läst fysik så... säger man liksom aha, ok.

- Vi kände ju igen allt. Vad vi använder.

Känns det ok att ersätta solen med lampor?

- I ett lab, ja.
- Jag vill veta varför det funkar med lampor, alltså solen funkar ju inte som en lampa, alls. Det är ju helt andra saker en sol strålar ut än en lampa. Så jag hade velat veta hur man kan ersätta.

Resultat representativa för verkligheten? Eller några stora fel som ni tänker på?

- Det kändes väldigt lätt att man kunde få något mätvärde fel. Det kändes konstigt att det skall bero på så litet mätfel.
- Jag tyckte det kändes ganska trovärdigt. Med ersättning för solenergi hemma. Det var ingenting jag tänkte på, faktiskt.
- Vattnet som kom ut vart ju jättevarmt, det som droppade där.

Hur bestämde ni uteffekten på denna [luftsolfångare]?

- Det var på den här det kunde skilja sig mest beroende på vart man mätte [luftflödet]. Om man mätte i mitten av inloppet eller i kanten av inloppet.
- Här kändes det lite otydligt. I början nämnde du att det skulle blåsa mest i mitten men jag förstod aldrig varför och varför vi skulle mäta i mitten. Det tyckte jag var otydligt men jag menar... jag gjorde som jag vart tillsagd.

När ni gick runt bland panelerna, tittade ni på dem och funderade på... vad händer här? Eller gick ni bara och tittade på pappret, mätte, skrev, gick vidare, tittade, skrev, ..., räkna?

- Det klart man kollade och försökte förstå hur det fungerade.
- Den första vi kollade på var den här... plan solfångare... det var den första vi mätte på. Då försökte vi komma på vad det var vi gjorde. Men... ja... annars var det ju mest att bara mäta liksom.

Hur kan man komma förbi det då? Stressen att man vill mäta och räkna mycket.

- Alltså, jag tycker ju att inte själva räknandet är det roliga. Det roliga är väl mer å förstå.
- Man kanske skulle gjort det innan man började gå igenom allting sen så noggrant. Innan man började mäta. Så det fick vara en egen del att bara gå och kolla på dom olika och försöka lista ut hur man faktiskt tjänar på att använda den här panelen.
- Ja, liksom stå och diskutera kring den, gå runt i gruppen och få diskutera kring just den här.
- Just det här att det är temperaturskillnaden och vad har man för nytta av energin och vad är skillnaden på dom olika.

Hela labgruppen eller era smågrupper?

- Det spelar nog egentligen ingen roll.
- Jag tror att det blir mer diskussion ifall man är färre då. Sen kunde man gått igenom det i större grupp. Bara för att få nån uppfattning om vad det är vi ska göra... redan innan. För sen när vi hade gått igenom alla [i helgrupp] så visste vi ju redan hur dom fungerade liksom. Så det där med att man värmdde upp själva panelen var ju... det visste vi ju redan. Vi hade ju en temperaturskillnad, vi visste ju redan att det blev det och att det var det vi skulle leta efter.

Vilket upplägg tror ni skulle vara bäst... att man delade upp er i smågrupper direkt när ni kom in och så fick ni kika lite på dom här en stund. Eller att man kör ett intro och sen får ni gå runt. Sen kör man klart introt och sedan får ni mäta en gång på varje panel i ett lugnare tempo och hinner titta mer.

- Det beror ju på vilket syfte man har, det är ju bra att man mäter flera gånger just för att man labbar. Det är ju bra om man gjort flera mätningar då har man ju koll på felkällor och så som måste vara med. Om vi hade gjort en mätning hade ju vi fått strömmen fel på solcellerna och det hade ju inte vart bra. Då hade ju vi haft fel. Det är ju viktigt att man gör det ändå... kollar flera gånger, absolut.
- Jag tycker det är mer viktigare att förstå sig på hur det fungerar än att lyckas få rätt mätvärde.

Varför ska man lära sig om solpaneler?

- Future! Eller... nej.
- Det är ju det jag tycker det känns som också.
- Ny lite utvecklad teknik.
- Kul att se hur vi ser på saken och om vi har några inovativa idéer. (Skratt)
- Det kanske är dom som gör labben som utvecklar framtidens solpaneler.
- Det är ju det man vill, att de ska bli bättre så då är det väl lika bra att lära sig från början. Det är ju ingen idé att börja lära oss om fossila bränslen för man vet att det inte kommer funka. Så det känns ju naturligt. För energi är väldigt viktigt för oss. Så absolut, det måste ju vara med.
- Det vore ju dumt att lägga energi på att vi skulle utveckla nåt som är sämre än vi skulle kunna göra egentligen. Typ som med fossila bränslen. Visst det är viktigt men...
- Det beror ju på att vi ska hålla oss undan ifrån det.

Varför är det viktigt att befolkningen i stort, en vanlig godtycklig människa, får lära sig om solpaneler?

- För att kunna byta ut de här energislagen man använder idag. Just att många kör ju på det gamla vanliga och har inte riktigt koll på att det finns tekniker som går framåt och kanske blir bättre... än vad man har nu. För att veta att det här kommer gynna alla så småningom, både ekonomiskt och hållbart... i stort... i samhället och i hushållet. Så det handlar ju om att informera om framtidens bättre teknik. Det är ju självklart att alla ska veta det.

Går det att applicera de grejor som ni mätte på verkligheten eller känns det som att man ser en koppling mellan labben och att man kan ha de här grejorna i verkligheten. Eller är det långt mellan labben och en vanlig installation?

- Jag tyckte det var ganska bra. Som du nämnde där med den plana solfångaren att ni hade ställt upp den lodrätt för att den installeras ju så egentligen, till exempel. Man smackar på den på ett hus på det sättet.

Upplevde ni den här labben som något som var inspirerande för er?

- Ja

Varför?

- För att jag tycker solceller och solenergi i stort är jättespännande.

Innan du kom dit eller tycker du mer det nu?

- Innan och därför vart det väldigt intressant att göra den här labben en gång till. Den kändes mer välutvecklad än den vi gjorde innan.
- Just i det där tror jag att det är ett viktigt steg att man själv innan får kolla och klura kring hur det fungerar snarare än att ni bara ger informationen pang bom såhär. Jag skulle uppskatta att man gick runt och ni frågade hur tror ni dom här fungerar. Sen samlas man och sen går man igenom.
- Ja, just det. Då har man ändå funderat hur det skulle kunna funka. Hade man rätt så hade man rätt, hade man fel har man kunnat tänka igen det och då bli ännu mer fascinerad över hur det funkar egentligen.

Personligt?

- Det var personligt, för att vi var ju en väldigt liten grupp också. Det är ju en fördel då. Det är inte klassrumsmiljö som det är annars. Då det är väldigt mycket sitta vid bänken och bara lyssna. Utan det är ju det som är roligt med lab, att man får göra lite själv. Just det här med att det kändes väldigt nära dom här solpanelerna på nåt sätt. För att det var vi som fick mäta dom och se i praktiken hur dom fungerar. Allting kom närmare på nåt sätt. Så... mmm.
- Jag tyckte ni var välkomnande.

Seriöst?

- Aaa

Nytänkande?

- Scenariot var bra, det hade vart tråkigare om det inte var det. Det gör att man kan koppla och få lite bättre verklighetsbild.

3.4.8 Utvärdering med andra testklassen

Vad tyckte ni om introduktionen?

- Det var bra. Det var liksom nånting som man faktiskt behövde. Eftersom... ja alltså det var... man fattade liksom att det här är inget svårt som vi skall hålla på med. Men man behövde ju lite bakgrund kring vad vi skulle göra.
- Jag kommer inte ihåg de där slidesen. Man fick en... hur mycket det finns att hämta liksom. Bara man liksom... får igång det ordentligt... typ. Det var en bra inledning
- Jag håller med.

Vad tyckte ni om att istället för att vara ute i solen på riktigt hade vi halogenlampor istället?

- Det fanns inte så mycket sol, så det var inte så mycket att välja på. Så var det också lite kreativt att ni kom på att man kan använda halogenlampor.

Tror ni det skulle fungera på samma sätt om man var ute i solen eller känns det orimligt på något sätt att ersätta solen med halogenlampor?

- Det känns rimligt. Man får ju ett exakt värde på hur mycket man har pumpat in.
- I verkligheten så... vet du inte... i verkligheten kommer värdet vara annorlunda.
- Det beror väl på... vilken dag det är, vilken vinkel du har mot solen om du har den fast på ett tak kommer det ju variera [...] En molnig dag kommer man få mycket mindre. Hade man åkt ner till Afrika och satt upp dom så hade man fått mer. Fördelen med halogenlampor är ju att man får samma värde hela tiden, man kan jämföra. Det blir mer stabilt.
- Det är ju i utbildningssyfte liksom.

Kunde ni allt innan eller känner ni att ni fått något som är värdefullt?

- Ja.
- Jag hade ingen aning om att verkningsgraden för solceller var så låg. Jag trodde det var mycket högre men det var verkligen värdelöst nästan.
- Jag trodde de låg runt 20%. Men de gjorde de inte.
- Vakuumgrejen hade jag aldrig sett.
- Inte jag heller.
- Jag hade heller inte sett den där grejen som värmer upp luft.

Varför ska man lära sig om solpaneler?

- Miljövänligt men... kanske kommer det bli något i framtiden. Jag tror på kärnkraft fortfarande.

- Ja, jag tror också på kärnkraft men om man vill göra långsiktiga investeringar i sitt hushåll så tror jag att det är något man ska ha i åtanke. Man kan... om man liksom lägger ner, istället för att köpa den där lite extra coola bilen så köper man den där vanliga bilen och köper solpaneler också. Så i längden så vinner man på det. Man får en lägre månadskostnad.
- Kanske inte i Sverige. Eftersom, så som sagt, vi har väldigt lite sol här. Skulle man bo någonstans i Afrika, så absolut. Det skulle du säkert vinna på.
- Där har man ju inte samma problem med att värma upp huset.
- Dom flesta var det ju bara några års återbetalningstid på... så...

Det vi gjorde i labbet. Känns det som att det fungerar likadant i verkligheten?

- Lamporna lyser ju konstant medan solen kan täckas av molnen och sånt. Det är ju det som är problemet. Eftersom vi inte kan påverka det.
- Om det kommer smuts på dom.
- Plattsolfångaren kommer inte fungera längre om det blir kallt.

Inspirerande?

- Ja, jag tyckte det. När jag först såg den hemmabyggda luftsolfångaren... innan jag visste att den bara värmdde upp luft så tänkte jag, det här ser ju aslätt ut att bygga. Bygger man en sån så får man gratis el men den gör ju inte elektricitet, så det var lite synd.
- Det var ju tredje gången vi var där men det var ganska roligt för det här var enda som handlar om el, producera och sånt där. Jag tycker det är ett intressant ämne att hålla på med.
- Det har vi hållt på med i fysik och i teknik. Vi är ganska vana vid det. Så ja...

Personligt?

- Det känns som en... när vi kom dit var det ju två eller tre andra klasser med, jag tror de gick i åttan eller nian Då kände man lite, det är nästan som en skola, man förstår ju också att det här ni gör. Dom här laborationerna, det är inte första gången ni gör dom liksom. Man känner sig ju alltid välkommen, ni lägger alltid mycket tid och engagemang på det.

Seriöst?

- Ja
- Jamen seriöst, ja, alltså... det är väldigt lärorikt, det är något man skulle kunna ta upp i framtiden. Men det var verkligen seriöst alltså. Det var bra att vi fick lära oss om hur stor verkningsgrad och allt sånt men kanske... det är inget som vi kommer använda just nu. Det kanske vi kommer göra senare när vi blir vuxna och tänker på vår egen el och allt sånt.

Nytänkande?

- Ja, bara att det var solpaneler var ju nytänkande i sig. Sen vet jag inte hur länge det har funnits men det är ju ändå något som inte alla använder.

Har ni några idéer till förbättringsmöjligheter?

- Nej jag tycker inte det, jag tycker den var jättebra.
- Nej jag kommer inte på någonting sådär.

Var det bra att gå runt och bara titta på panelerna?

- Jag tyckte det var smart att man gick runt och kollade. Så man får en bild av hur det fungerar.
- Först fick man ju bara en inblick i vad det är, hur det fungerar. Lapparna som vi fick läsa, det var också bra. Kanske det var lite för mycket text, bakgrund och sådär. Men jag tyckte det var bra.
- Jag tyckte lapparna var bra. Utan lapparna skulle jag nog inte förstått hälften lika mycket. Jag läste lappen och så fick jag en överblick av hur det skulle fungera och så kollade jag på den och så förstod jag ju.

3.4.9 Utvärderingens resultat

Under utvärderingen med den första testklassen framkom att tempot under introduktionen, av några elever, upplevdes som för högt. Dock uttryckte de att information kring vad de skulle göra under laborationen var tillräcklig. När eleverna gjorde mätningar var de aktiva och diskuterade sinsemellan hur de skulle göra.

Eleverna upplevde att laborationsuppställningen väl efterliknade en verklig installation. Dock var de något tveksamma till om det var rimligt att ersätta solen med halogenlampor. Ett framtida förbättringsarbete är att diskutera användandet av halogenlampor under den inledande fasen av laborationen.

Under diskussioner kring hur mycket eleverna hann undersöka panelerna och fundera på hur de fungerar framkom att de skulle uppskatta att få undersöka panelerna närmare utan att utföra mätningar. Därför justerades planeringen för framtida grupper. Följande grupper uppskattade det nya upplägget.

Eleverna upplevde att solpaneler kan vara en del av framtidens energiförsörjning och ansåg att laborationen återspeglades Vetenskapens Hus värdeord *inspirerande*, *seriöst*, *personligt* och *nytänkande*.

Flera av eleverna uttryckte i olika sammanhang att det var roligt med mycket teknisk utrustning i laborationssalen.

Grundskoleeleverna kom på besök till Vetenskapen Hus som ett avslutande moment i ett långvarigt projekt om hållbar utveckling. De uttryckte att besöket varit lärorikt och att de hade lärt sig mycket nytt. Formlerna som användes upplevdes av eleverna som lite svåra”. Framförallt berodde detta på användandet av tecknet Δ som de inte stött på tidigare. Tyvärr framkom inte detta under laborationens introduktion, varför en kort förklaring tillhandahölls medan eleverna arbetade med solpanelerna. Uppenbarligen blev denna inte tillräcklig då eleverna fortfarande hade svårt att uppfatta ΔT och Δt , som en förändring, under utvärderingen.

Grundskoleeleverna uttryckte att de tyckt om besöket på VH och att det varit inspirerande för dem. De ville gärna lära sig mer om solpaneler och ställde många frågor under

utvärderingen. Eleverna uppskattade att de hade fått tid att undersöka panelerna utan att göra mätningar på dem och tyckte det var roligt att deras tankar om panelerna fick styra den fortsatta genomgången.

Efter diskussioner med eleverna i fokusgrupperna konstaterades att laborationen mål uppfyllts under de berörda besöken. Eleverna upplevde att de blivit mer intresserade av energi och miljö. De övriga två målen uppfylldes genom att eleverna var aktiva under laborationstillfället.

3.5 Diskussion

Flöde i solfångarna

Den ursprungliga tanken med att få ett fungerande flöde i de berörda solfångarna var att laborationen skulle upplevas som mer samlad, då vakuumrörsolfångarens och plattsolfångarens funktion mer skulle efterlikna luftolfångaren. Naturligtvis fanns också en förhoppning att de skulle fungera bättre. Förändringen i uppmätt verkningsgrad för vakuumrörsolfångaren var från 16% till kring 45%. Innan flödet fungerade multiplicerades det uppmätta värdet med fyra med motiveringen att absorbatorrören var ungefär en fjärdedel så långa som i en normal vakuumrörsolfångare. Därmed erhöles en rimlig verkningsgrad på 65%.

Dagen efter de delar som behövdes för att få flödet i panelerna att fungera hade levererats till VH skulle en grupp lärare från Åland genomföra solpanellaborationen. Stefan (handledare på VH) och jag var sugna på att testa om vi kunde få igång flödet, så med 6 timmar kvar tills lärarna skulle anlända började vi montera pumpar och slangar på vakuumrörsolfångaren och plattsolfångaren. Vi hann precis bli färdiga med montering och framställning av övrig laborationsutrustning innan lärarna kom. Flödet fungerade och vi beslutade att premiärköra utrustningen inför publik. Eftersom besökarna var fysiklärare behövdes inte formelpappret, som eleverna använder under laborationen, delas ut. Laborationen genomfördes utan större hinder och de beräknade verkningsgraderna hamnade i ett rimligt intervall, dock hade vi glömt informera om att vakuumrörsolfångarens absorberade effekt skulle multipliceras med fyra. Det var först någon dag senare vi upptäckte misstaget och insåg att faktorn inte längre var nödvändig.

Plattsolfångarens verkningsgrad ökade från 28% till 25%-50% med fungerande flöde. Till stor del berodde sannolikt detta på att temperaturmätningarna som utfördes innan flödet fungerade inte var representativa för hela vätskevolymen.

Det bör nämnas att flödet inte är det enda som skiljer de uppmätta verkningsgraderna ovan. Innan detta arbetes början mättes inte instrålningen till panelerna utan ett visst värde antogs vid ett bestämt avstånd mellan lampor och solpanel. Ingen undersökning med en direkt jämförelse mellan verkningsgrad vid stillastående vatten och flöde i panelerna har genomförts.

Värmeförlusterna från vakuumrörsolfångaren och plattsolfångaren är större än vid en normal installation. Detta beror på att anslutningsslangarna är oisolerade. I synnerhet för höga tillloppstemperaturer till vakuumrörsolfångaren kan värmeförlusterna genom slangarna spela en betydande roll. Detta eftersom flödet är lågt och tillloppstemperaturen T_{in} mäts innan vattnet passerar genom slangen.

Mätning av instrålning

De mätningar som utfördes med hjälp av pyranometern och solarimetern resulterade i att instrålningen till solfångarna kunde bestämmas noggrant vid varje laborationstillfälle. Att ha ett korrekt värde på instrålningen gjorde att noggrannheten i verkningsgraden blev högre. Samtidigt resulterade mätningarna i kombination med iordningställande av pumpar och ökad vätskemängd att det tog lång tid att förbereda laborationen (90-120 minuter). Detta kan resultera i bekymmer eftersom den berörda laborationssalen måste vara tillgänglig och förberedelsetiden leder till ökade kostnader för VH.

Önskemål från VH har uttryckts att återigen använda sig av tabellvärden för instrålningen till solfångarna när dessa befinner sig på ett definierat avstånd från lamporna. Om en sådan tabell upprättas i framtiden är det viktigt att tabellens giltighet undersöks. Dels med avseende på små variationer i avståndet mellan lampor och panel men även med avseende på fabrikat, angiven effekt på halogenlamporna och riktning av armaturerna. Den instrålade effekten varierar exempelvis mellan $0.1 - 0.4 \text{ kW/m}^2$ vid olika punkter vid luftsolfångaren med avståndet 70 cm mellan panelens genomskinliga täckskiva och lampornas stativ.

Volymflöde genom luftsolfångaren

På laborationspappret som användes under solpanellaborationen innan arbetets början stod det att $C_{p,luft} = 377 \text{ J/m}^3\text{K}$. Då lufts specifika värmekapacitet och densitet är $C_{p,luft} = 1,0 \text{ kJ/kgK}$ respektive $\rho_{luft} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ är det oklart hur det tidigare värdet erhållits. När de korrekta värdena användes blev dock verkningsgraden för luftsolfångaren mycket nära 100%. Detta upplevdes som orimligt. En förklaring till överskattningen av den absorberade effekten var att volymflödet genom luftsolfångaren beräknades utifrån centrumvärdet av flödeshastigheten i tilloppsröret. Implementering och validering av en enkel tumregel för att erhålla den genomsnittliga flödeshastigheten utfördes. Under förutsättning att den använda faktorn motiveras för eleverna tycks den inte resultera i tvivel kring den beräknade verkningsgradens giltighet. De elever som diskuterade faktorn under fokusgrupperna uttryckte att den upplevdes som "en nyhet" men att de förstod varför den var nödvändig.

Fokusgrupper

Att träffa eleverna som besökt VH var intressant och givande. Diskussionerna ledde till förbättringar av laborationsplaneringen. De elever som gjorde laborationen när de fick gå runt och undersöka solpanelerna utan att samtidigt utföra mätningar uttryckte att de uppskattade detta. Det är dock svårt att mäta om förändringen lett till en ökad förståelse för panelerna. Som besöksledare upplevdes eleverna som mer aktiva under introduktionen efter de fått undersöka panelerna.

Eleverna uttryckte att de var nöjda med besöket som helhet och att de kände sig inspirerade att lära sig mer om solpaneler.

Kapitel 4

Vindkraftslaboration

4.1 Utrustning

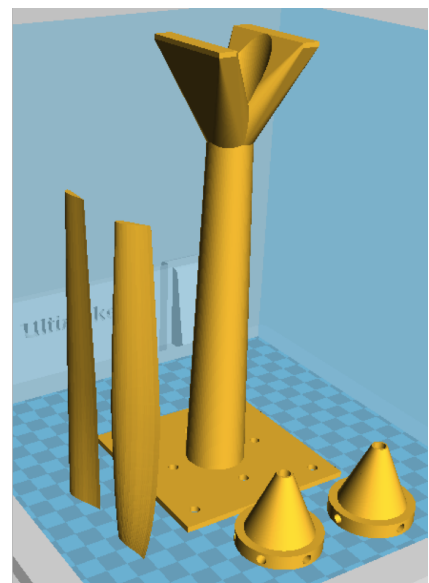
4.1.1 Vingar

De vingar som fanns till vindkraftverksmodellerna påminde om väderkvarnsvingar. De bestod av en ram med ett segel i. Till experimentet behövdes en mer avancerad vinge som mer liknar den som återfinns på riktiga vindkraftverk. En viktig egenskap var att vingarna skulle kunna vridas i sina fästen för att kunna optimera deras beteende vid olika vindhastigheter.

För att kunna påverka vingarnas dimensioner och utseende valdes att skriva ut vingar i en 3D-skrivare. Som utgångspunkt för vingarna valdes en redan konstruerad parametrisk modell av ett propellerblad från <http://www.thingiverse.com>. Modellen modifierades för att kunna användas som vindkraftsvinge.

Två typer av vingar skapades. En modell som inte var vriden, utan liknade en flygplansvinge och en vinge som vreds längs sin längd för att behålla samma vinkel till det upplevda luftflödet. För att det skall gå att jämföra vingarnas funktion har de samma dimensioner om man bortser från vridningen.

Fem vindkraftverksmodeller byggs. Varje vindkraftverksmodell utrustas med sex olika vingkonstellationer där antal vingar (2, 3 och 4) samt deras form (rak och vriden) varierar. Totalt behövs alltså 18 vingar till varje vindkraftverksmodell, totalt 90 vingar.



Figur 4.1: Delar till vindkraftverket som skrivs ut i 3D-skrivaren

4.1.2 Nav och torn

För att kunna montera olika många vingar på modellvindkraftverket skapades också två typer av nav på vilka vingarna fästes medelst skruvar. Navtyperna anpassades till två eller fyra respektive tre vingar. Naven monterades på vindkraftverkets maskinhus av LEGO och anslöts till generatoren, via kugghjul, med hjälp av en axel. Att fästa vingarna i naven med hjälp av skruvar valdes eftersom det då är möjligt att vrida vingarna för att optimera deras möjlighet att fånga energin i vinden. Samtidigt minimeras risken att en vinge skall lossna och potentiellt orsaka skada under laborerandet. Vilken vinkel som ger högst effekt beror på vindhastigheten och vingarnas rotationshastighet som bestäms av belastningen på generatoren och friktionsförluster i konstruktionen.

Ursprungligen hade vindkraftverksmodellerna ett torn av lego. Detta var dock inte tillräckligt stabilt och hamnade lätt i svängning om de roterande delarna var obalanserade. Ett torn som skrevs ut i 3D-skrivaren konstruerades. Detta fästes i en kloss av trä.

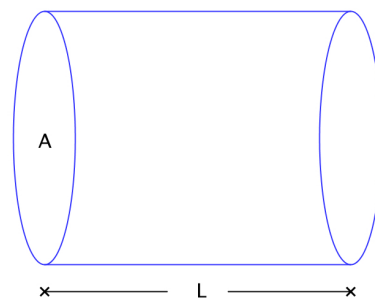


Figur 4.2: Färdigt vindkraftverk med fyra vridna vingar

4.2 Teknisk referensram

4.2.1 Samband mellan vindhastighet, rotordiameter och effekt

För att förstå vilka faktorer som påverkar rörelseenergin i vinden är det av intresse att härleda ett uttryck för detta. Eftersom de vindturbiner som används i laborationen sveper ut en cirkulär yta i vertikalplanet undersöks rörelseenergin i en rät cirkulär cylinder. Därefter bestäms ett uttryck för vindens effekt.



Figur 4.3: Vindcylinder

Rörelseenergin i vinden uttrycks med hjälp av formeln

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (4.1)$$

Hastighet definieras som

$$v = \frac{L}{t} \quad (4.2)$$

Luftens massa beror på volymen och densiteten.

$$m = \rho \cdot V \quad (4.3)$$

Effekt är energi per tid.

$$P = \frac{E}{t} \quad (4.4)$$

Volymen av en cylinder.

$$V = A \cdot L \quad (4.5)$$

Arean för en cirkel, basen i en cirkulär cylinder.

$$A = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.6)$$

Rörelseenergin i vinden kan uttryckas som.

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} = (4.3) = \frac{\rho V v^2}{2} = (4.5) = \frac{\rho A l v^2}{2} = (4.2) = \frac{\rho A v t v^2}{2} \quad (4.7)$$

Därmed fås effekten.

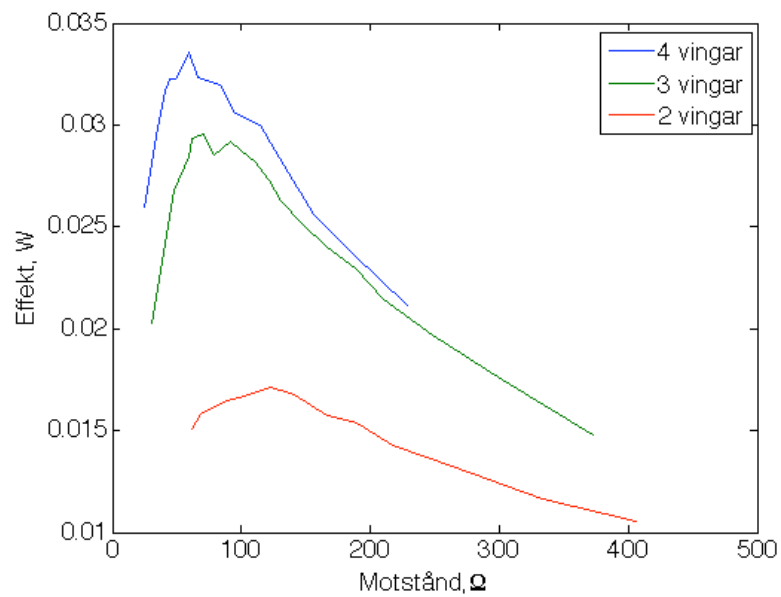
$$P = \frac{E}{t} = (4.7) = \frac{\rho A v t v^2}{2t} = \frac{\rho A v^3}{2} = (4.6) = \rho \frac{\pi D^2}{8} v^3 = \frac{\rho \pi}{8} D^2 v^3 \quad (4.8)$$

Man kan alltså konstatera att effekten i vinden är proportionell med rotordiametern i kvadrat och vindhastigheten i kubik. Detta är anledningen till att ett noggrant förarbete med korrekta mätningar av vindhastigheten är avgörande för hur framgångsrikt ett vindkraftsprojekt blir.

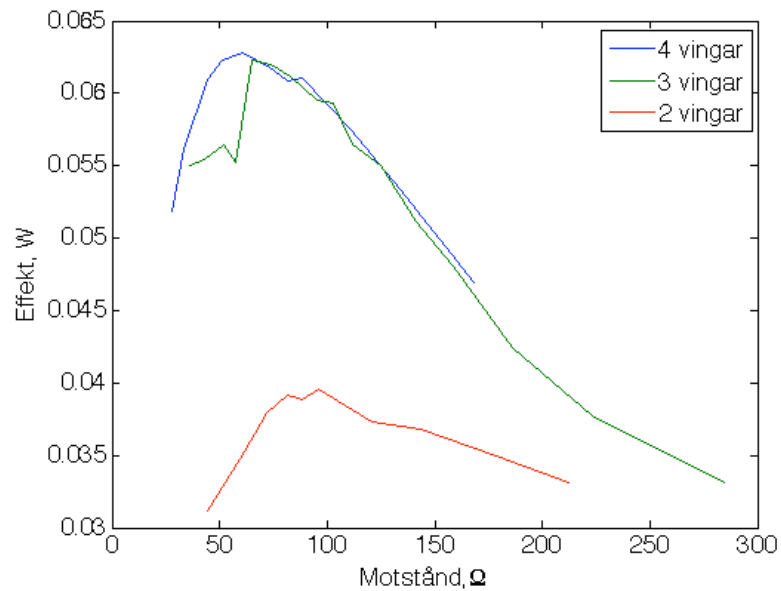
4.3 Teknisk laborationsutveckling

4.3.1 Olika vingkonstellationers effektivitet

Sex olika vingkonstellationer konstruerades till respektive laborationsuppställning. 2, 3 och 4 vridna respektive raka vingar fästes på varsitt nav. För att kontrollera de olika vingkonstellationernas effektivitet utfördes mätningar där en kraftig fläkt placerades framför modellvindkraftverket. För att finna den maximala effekten utfördes flera mätserier på respektive vingkonstellation. Den första mätserien utfördes med vingarnas toppvinkel nära vinkelrätt mot vinden. Därefter justerades vingarna så att vinkeln mot vindriktningen blev mindre i små steg. Under varje mätserie varierades generatorns belastning i små steg i området $0 \Omega \leq R \leq 500 \Omega$ tills ett maximum var funnet. De mätserier för respektive vingkonstellation som gav högst maximal effekt återfinns i nedanstående grafer.



Figur 4.4: Jämförelse av mätningar av maximal effekt, vindkraftverksmodell med raka vingar

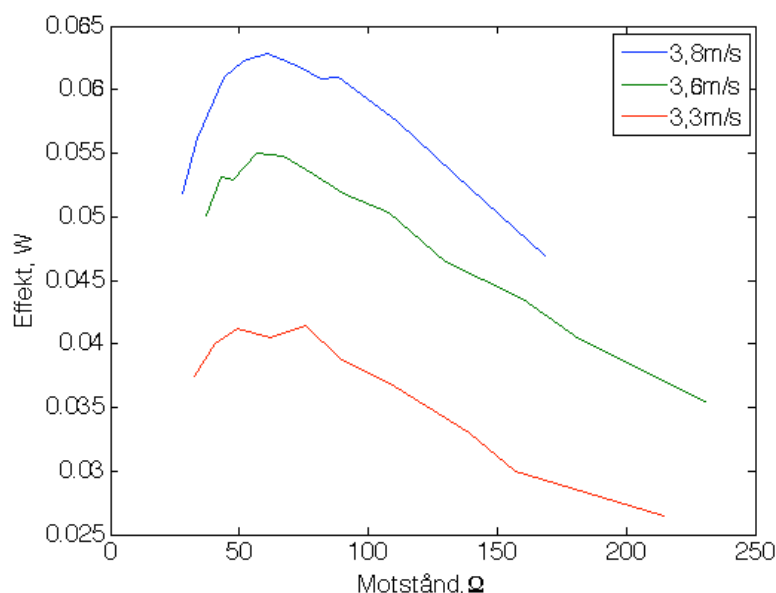


Figur 4.5: Jämförelse av mätningar av maximal effekt, vindkraftverksmodell med vridna vingar

Mätningarna gjordes för att finna en lämplig resistans att koppla vindkraftverket under elevlaborationen. För en mer fullständig analys skulle mer data behöva samlas in. Att utföra de mätningar som står till grund för graferna ovan, där både vingarnas vridning och generatorns motstånd varieras, innebär två dagars arbete för en given vindhastighet. Då den laboration eleverna genomför skall klaras av på ca 60 minuter måste antalet fria variabler minskas. Genom att ansluta motståndet $100\ \Omega$ minskar tiden det tar att genomföra laborationen och eleverna kommer ändå få resultat i närheten av verkliga effektmaxima för de olika vingkonstellationerna.

Effektkurvan för vingkonstellationen med tre vridna vingar har en något taggigare form än de andra kurvorna. Detta orsakades av obalans i vingarnas infästning. Resonans uppstod i tornet, som fortfarande var konstruerat av LEGO när mätningarna gjordes. Vibrationerna påverkade friktionsförlusterna och därmed effekten vid låga varvtal (låg elektriskt motstånd).

Den vridning på vingarna som ger maximal effekt påverkas också av vindhastigheten. För att kontrollera om motståndet ovan kan användas vid olika vindhastigheter utfördes mätningar vid olika effektinställningar på fläkten.

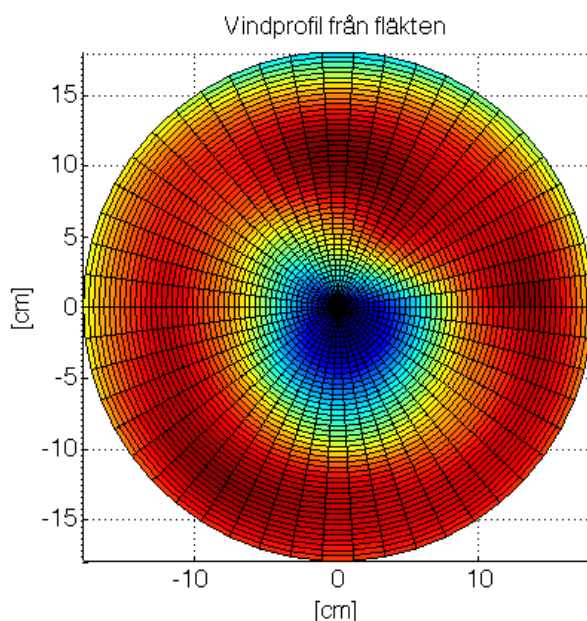


Figur 4.6: Jämförelse av maximal effekt vid olika vindhastigheter, vindkraftverksmodell med 4 vridna vingar

Det kan konstateras att motståndet, vid vilket maximum inträffar, varierar försumbart mellan de olika vindhastigheter som är aktuella under laborationen.

4.3.2 Luftflöde från fläkten

Luftflödet från fläkten hindras från att rotera med hjälp av plaströr. Däremot är inte vindhastigheten lika i det plan som vindkraftverkets vingar befinner sig i under laboration. Mätningar av vindhastigheten från fläkten utfördes med hjälp av en varmtrådsanemometer i ett plan 18 cm från rörens öppningar. Avståndet mellan mätpunkterna är två centimeter i den radiella riktningen, vinkeln varieras med steget 45° . Splineinterpolation mellan mätpunkterna har utförts. Hur hastigheten varier kan ses i Figur 4.7.



Figur 4.7: Vindprofil från fläkten

Vindhastigheten varierar mellan 0,2 m/s och 4,8 m/s i det område vinkraftverkmodellens vingar befinner sig under laboration. Eftersom vindkraftverksmodellerna ej testats i vindtunnel kan man inte med säkerhet uttala sig om hur mycket detta påverkar effekten från dem.

4.4 Didaktik

4.4.1 Laborationens mål

- Skapa intresse för vindkraft och i förlängningen förnybar energi.
- Skapa förståelse för att ett vindkraftverk är en komplex konstruktion.
- Introducera vingarnas funktion och de överväganden som krävs för att välja form och antal.

4.4.2 Frågeställningsbaserad laboration

Laborationen planerades som en handledande frågeställningsbaserad laboration (eng. *guided inquiry based*), alltså nivå 2 enligt Tabell 2.1.

4.4.3 Elevmaterial

Presentation

Presentationen som skapats för laborationen utgår från att eleverna har vissa fysikkunskaper, motsvarande grundskolan årskurs nio eller gymnasiet årskurs ett. Det vill säga att eleverna känner till begreppen kraft, energi och effekt samt är åtminstone ytligt bekanta med elektriska kretsar.

4.4.4 Laborationsplanering

En mer detaljerad bild kan fås av att läsa besöksledarhandledningen och powerpoint-presentationen (bilagor) samt titta på ett filmat besök som finns att se på youtube: <http://youtu.be/OdgbqpbUADM>.

Presentation av besöksledare, VH och laboration

Besöksledaren inleder besöket med att kortfattat introducera sig själv, Vetenskapens Hus och vindkraftlaborationen.

Besökets schema

För att eleverna skall veta vad som väntar under besöket presenteras ett kortfattat schema.

Historisk användning av vind

Mänskligheten har sedan länge använt vinden för att utföra arbete. Segelbåten, väderkvarnen och den vinddrivna vattenpumpen används som exempel.

Hur skapas vind?

Ojämn uppvärmning av jordens yta och därmed luften i dess närhet används som enkel modell för hur vind skapas.

Effekt i vind

Uttryck (4.8) $P = \frac{\rho\pi}{8} D^2 v^3$ och dess härledning diskuteras. En fördubbling av rotordiameter ökar effekten med en faktor fyra och en fördubbling av vindhastigheten ökar effekten med en faktor åtta.

Vindhastighet och höjd

Att vindhastigheten ökar med höjden från marken tycks många elever ha en vardagsförståelse för. Man kan också diskutera att hur fort vindhastigheten ökar med höjden beror på hur den omgivande terrängen ser ut. Träd och andra hinder håller vindhastigheten låg nära marken.

Vindkraftsutvecklingens drivkrafter

Växthuseffekten, ökande bränslepriser, minskad kostnad per kW för vindkraft, förnybar energikälla, gratis bränsle och konsumentefterfrågan används som faktorer som driver vindkraftsutvecklingen framåt.

Ett vindkraftverks komponenter

Vingar, nav, växellåda, generator, maskinhus och torn pekas ut i en bild. Motsvarande delar pekas ut på modellvindkraftverken som används under laborationen. Detaljer om funktion och tillverkning har valts bort av tidsskäl. Däremot är det lämpligt att nämna att maskinhuset vrids efter vindriktningen samt att vingarnas vinkel relativt navet varierar med hjälp av servomotorer beroende på vindhastigheten.

Större = bättre

Vindkraftverken har vuxit under de senaste årtionden. Från 75 kW under 80-talet till 8 MW idag. Man har funnit att både pris och miljöpåverkan minskat, räknat per kW.

En vinges funktion

Utifrån en bild diskuteras vad som får en vinge att röra sig i luften när den sitter på ett vindkraftverk. Vingens vinkel relativt vindens rörelseriktning diskuteras kortfattat. Det konstateras att en vridningsvinkel, av vingen relativt vindens riktning, måste finnas sådan att maximal effekt erhålls.

Dags att laborera

Ett sätt att rikta in vingarna beskrivs med hjälp av en bild. Eleverna får en frågeställning: Vilka vingar skulle ni använda till ert vindkraftverk? Besöksledaren informerar om att eleverna kan planera sin undersökning för att undvika att behöva testa alla de sex vingkonstellationer som finns tillgängliga. Eleverna informeras om att de kommer presentera sin strategi och slutsats gruppvis efter laborerandet.

Laboration

Elevgrupperna genomför sin planerade undersökning. Besöksledaren observerar och besvarar frågor och ger tips till eleverna vid behov.

Presentationer

Varje elevgrupp presenterar strategi och slutsats på ett par minuter per grupp.

Diskussion

Elevernas strategier och slutsatser diskuteras.

Varför har stora vindkraftverk ofta tre vingar?

De belastningar som uppstår vid jämnt antal vingar diskuteras. Marginellt mer effekt med fyra vingar, jämfört med tre vingar. Vingar är dyra och tunga. Den ökade vikten vid maskinhuset påverkar övrig konstruktion. Sammantaget blir det inte ekonomiskt att ha fler än tre vingar.

4.4.5 Utvärderingens tillvägagångssätt

Utvärdering av laborationen gjordes med hjälp av fokusgrupper, som beskrivits tidigare. Bilder på presentationen och laborationsuppställningen visades och eleverna fick diskutera dessa utifrån frågor som ställdes av intervjuledaren. Deltagande skedde på frivillig basis. Istället för morot användes kaffe och godis/kakor som motivator för att få eleverna intresserade.

Fokusgrupper genomfördes med tre grupper som hade varit på besöket *Vindkraftslaboration* på VH. Två av dessa möten spelades in. De grupperna hade läst merparten av fysik 1 på gymnasiet. Den tredje gruppen bestod av grundskoleelever (åk 8-9). Eleverna

var för unga för att själva kunna skriva under ett godkännande om att bli inspelade. Anteckningar fördes istället under den utvärderingen.

Efter upprepade genomlysningar har delar av det inspelade materialet transkriberats.

Frågor som ställdes under intervjun:

- Har ni något ni vill säga om besöket som helhet?
- Vad tyckte ni om presentationen?
- Var det lagom mycket information i presentationen?
- Vad tyckte ni om att det var en härledning med i presentationen?
- Vad tyckte ni om frågeställningen ni fick arbeta med?
- Vad tyckte ni om att få planera utförandet av undersökningen själva?
- Hur gick det när ni laborerade med vindkraftverksmodellen?
- Var det något särskilt som var svårt?
- Hur tror ni laborationen varit om ni hade fått mer utförliga instruktioner, exempelvis i en lista?
- Vad tyckte ni om grupppresentationerna?
- Vad tyckte ni om informationen om varför stora vindkraftverk ofta har tre vingar?
- Vad tyckte ni om upplägget under laborationen?
- Hur var ert deltagande under presentationen och laborationen?
- Tycker ni att laborationen återspeglade VH:s värdeord *inspirerande*, *seriöst*, *personligt* och *nytänkande*?

Om diskussionerna kring frågorna ovan avstannade i ett tidigt skede ställdes följdfrågor.

4.4.6 Utvärdering med testklasser

Har ni något ni vill säga om besöket som helhet?

- Det var väldigt lärorikt. Jag kände att jag, min kunskapsnivå höjdes ett snäpp, kom upp en level, under just den labben. För det du gick igenom kände vi relativt bra till för vi har ju själva jobbat med det. Men det var att man lärde mer... eller... tog fram den kunskapen igen och fick en djupare förståelse för den kunskapen och att man sedan kunde använda den i praktiken. Det var väldigt bra tycker jag. För hittills har vi enbart haft teori på sådana saker.
- Jag tycker typ att allting du gör är aktuellt, väldigt lärorik labb liksom... ja. Men jag tycker det är jätteintressant att hålla på med sådanadär saker och det var... såhär... det var bra uppbyggt. Lite introduktion, lite intressanta fakta. Sen fick man försöka lite själv... och... jaha, varför fick vi dom här resultaten.

- Det var lätt att förstå också det sätt dom var byggda på, vindkraftverken, det tyckte jag var... rätt bra. Generator och alla delarna som var... man kunde se dom.
- Informationen och språket i självaste presentationen var lätt och tillgängligt så jag kan tänka mig att man kan använda det på olika sorters människor med olika mycket kompetens. För just språk å vetenskap, allt det där. Hur som helst kommer man ju lära sig om det man håller på med. Så det är inte enbart att man kommer in om ett ämne och ingen kan någonting om... och sedan måste man utveckla det, utan man... introduktionen var likt en grund som man sedan byggde upp på.
- Men precis, det känns som att man kunde ha gjort den här laborationen för några år sen också. Sen kanske det beror på, nu hade inte vi inte så mycket formler, så det var väl det som gjorde att det gick att ta till sig på alla nivåer.
- Jag tyckte det var bra att man inte behövde räkna (gruppen skrattar), alltså inte såhär... jag tyckte det var bra att inse att fysik är inte bara att räkna, räkna, räkna, utan det är ju att testa också och att... över huvud taget, jag tyckte det var en bra lab.
- Jag tänkte såhär... en förändringsfaktor... är att få mer tid till att laborera. Jag tyckte det var alldeles för kort, hade velat testa allihop och verkligen gå in i djupet med den. Ta ut vindkraftverket ville jag också så gärna göra... och sen sätta dit delarna för mig själv. Det vill jag göra.
- Nu hade ju vi inte så mycket tid. Det var ju svårt för alla kom fram till olika slutsatser, så med mer tid hade man kanske nått mer lika resultat. Men... lång tid kan också göra det långtråkigt.

Tyckte ni det var ett problem att man fick olika slutsatser och att jag sen så vad jag hade kommit fram till eller kändes det ok?

- Det kändes så ok, för att jag tänkte just det här att när sådana här situationer uppstår när man får olika resultat... utvidgar ens perspektiv på problemet. Hade alla fått samma resultat hade det vart såhär, inse fakta det här är resultatet. Men nu fick vi inse fakta men vi fick olika resultat och kunde tillsammans think outside the box på problemet liksom.
- Det kanske är bra att man såhär... att man redovisar allas resultat och sen wow fick vi olika resultat för då utvidgar man ju liksom, jamen det är skitbra att tänka outside the box... fast sen vill jag gärna ha ett resultat så jag vet vad jag kan ta med mig och så. Men det var bra att du gick igenom på slutet... nej men jag fick dom här resultaten därför att... typ.

Härledningen: Vad tyckte ni om den här bilden med härledningen?

- Sånt älskar vi, sånt har vi gått igenom hundratusentals gånger, så vi känner igen det där. Jag kan tänka mig att om någon får se det där som inte är bekväm med formler hade blivit väldigt confused. Men du förklarar det ju... att det var en härledning och hur man kunde se. Ja... simpelt.

- Men det är såhär skönt att tydliggöra också att såhär knyter man ihop dom olika formlerna. För det är ju ett problem i fysik att man har dom här... du har den här faktan och så vet du inte hur du ska kunna få till svaret för du behöver en formel som är mycket mer komplicerad. Å du vet att du kan ersätta dom olika bokstäverna med den här faktan, så det är skönt att du såhär knyter ihop och får en kedja typ.
- Det är så skönt när man knyter fysik till verkligheten, annars tänker man såhär... ja men fysik är böcker. Men när man knyter det till verkligheten blir man såhär... jahaaa.

Vad tyckte ni om bilden med vingen?

- Den var lite svår. Speciellt hur vingen tar till sig energin... och riktningen.
- Då var det bra att du tog fram... alltså vi hade ju massor vingar där. Då såg jag på den... då var det lättare att förstå
- Det här är en sådan där typisk bild som man måste prata mer om för att förstå.
- Inte bara visa att det är så, utan...

Hur gick det för er att ställa in riktningen på vingarna?

- Jag tyckte också att just när jag såg den bilden... att jag inte riktigt förstod vad man skulle göra.
- Jag tror man fick testa ut det där lite själv.
- Vi hade samma person som testade eftersom man använde ögonmått.

Vad tyckte ni om presentationens längd?

- Jag tycker det var bra med så här... det var en lagom lång presentation, det var såhär... det var inte för mycket malande, det var såhär... man tog till sig, så var det roliga fakta och lite bilder och lagom långt. Sen fick man testa på själv. För då är man hela tiden alert och nyfiken och sådär närvarande. För korta presentationer kanske inte är så bra och för långa brukar inte vara det heller för då blir man uttråkad och så tappar man lite sugen. Men nu kände man sig såhär... ja... alltså lite på under hela laborationens gång. Var det inte en och en halv timme... eller? Det är ganska länge men jag tyckte det kändes kortare.
- Det kändes som en halvtimme.
- Jag vet, det kändes kortare än en vanlig lektion. Just för att det var en bra fördelning mellan aktivt arbete och teori och såhär... bakgrund... bra.
- Presentationen var kort och koncis men även du som föreläsare var väldigt rolig, använde humor, vilket gjorde oss mer motiverade.

Vad tyckte ni om frågeställningen? Vilken vinge ni skulle sätta på ert vindkraftverk... kändes det som en bra frågeställning... var den tillräckligt öppen så att ni kände er motiverade att engagera er i frågan. Jag hade kunnat fråga också: Vad är bäst, vridna eller raka vingar? Hur många vingar ska man ha? Vad tror ni hade varit bäst?

- Att behålla den du har nu, för att ifall du hade tagit... enligt mig... ifall du hade tagit den här korta, skruvade eller raka vingar. Så tycker jag det kommer reducera det man själv får undersöka. Men man fick testa både olika typer, olika många vingar och raka och skruvade. Då fick man själv tänka mer och ta det ett steg längre... outside the box helt enkelt.
- Det blev väldigt fritt och öppet, vilket jag tyckte var väldigt bra då man själv kunde tycka och tänka.
- Det som var bäst var att det kändes såhär lärorikt, samtidigt som det var kul. Just för att det inte var så här... ja, jag är inte ett fan av att räkna så mycket. Jag tänker såhär... även om du haft en teoretisk lektion med mycket räkna så hade det varit en bra öppningsfråga, vilken vinge är bäst. För då är man så här... aha, och så räknat, och så kan man börja på lite mer djupare nivå. [...] Det är en väldigt bra öppningsgrej för då blir man intresserad.
- Jag tyckte att... det blev inte så stressande, ofta är det så här ganska många frågor. Då blir det lite stressande och så här... man ska hinna med allting. Nu var det så här en fråga, man ska så här hitta det svaret.
- Då lär man sig oftast mer också, för då stressar man inte igenom... och testar olika teorier. Det blir en stabilare grund tror jag.

Vad tyckte ni om att ni fick planera er lösningsmetod själva?

- Det tyckte jag var väldigt bra för då fick man som sagt planera och själv med den kunskap man hade komma fram till en hypotes på hur det ska vara... eller hur det kan vara. Att man själv fick dom fria händerna till att tänka och tycka.
- Det är alltid bra, för då strukturerar man upp eleverna lite som annars kanske är lite förvirrade. Aha, nu vill han att vi ska göra det här... hur? Men om man får planera först då tänker man mer skärpt såhär, jaha men hur kommer vi fram till... ja... en bra planering och ett strukturerat utförande för hur vi ska göra och så.
- Sen kan det bli väldigt förvirrande att planera själv då man inte alltid vet vad man ska göra. Men ni gick ju runt...
- Riktlinjer det är bra.
- Det är också bra, man låter eleverna tänka själva men hjälper på vägen. För att... alltså det är väl lite som att låta fågelungar flyga, man måste putta ut dom men sen kan man hjälpa dom å skrika flaxa mera. Okej det var ett konstigt exempel men ni förstår vad jag menar (alla skrattar).
- Det är väldigt bra att göra såhär. Man föds ju inte med all kunskap, det är ju någonting man måste lära sig men det är ju viktigt att man tar eget initiativ att lära sig. Det saknas väldigt mycket i det här samhället så det är ju väldigt bra... liksom... pusha igång.
- Och att man själv får ifrågasätta just det hära citatet... gud hur gick det... många såg äpplet falla men få frågade varför. Så kom Newton in i bilden och frågade varför. Så utvecklades hela den här gravitationsprincipen och allt det där.

- Ja precis, om man får riktlinjer att såhär ska du göra din lab, då blir man den som bara observerar äpplet falla... typ.
- Ja.
- Mm.

Vad var svårt med utförandet?

- Vrida vingar så de var på exakt streck... alltså, alla var på samma streck. Kanske vart skalan lite närmare så att man kunde få exakt... på alla.
- Ja, eller om man kunde mäta på ett annat sätt.
- Jag tyckte det var väldigt svårt att man själv skulle definiera på vad som var den högre graden och på vad som var den reducerande graden. Men samtidigt tycker jag inte att man borde ha... det här är rätt, det här är fel för då får man själv tänka och göra misstag men sen lära sig av sina misstag. Men förvirrande var det, att kunna definiera själv. Men ändå väldigt mycket.... man fick den friheten som man längtar efter att få i sådana här laborationer.
- Men precis, det är ju mycket i skolan som är... du ska göra såhär och såhär och på laborationer så är det skönt med lite du får tänka själv uppgifter.
- Det fick man göra nu, själv testa.
- Det blir ju inte heller lika dåligt att göra fel. Alltså för annars om man har liksom instruktion. Om man gör fel så kan det ju så här påverka liksom lite negativt. Nu påverkas det inte negativt. Nu är det så här om du gör fel kommer du lära dig någonting av det sen... det är en del av undersökningen liksom.
- Utveckla sin kunskap på vägen också.
- Det är ju sant.
- Ett plus om det här. VI kom ju fram att dom fyra skruvade funkade bäst men inte i verkligheten. [...] Jag menar för när vi åker genom Danmark så är det så... åå dom har tre, men nu kommer det vara såhär... men fyra dom funkar bättre. Det är just det här att man får så många perspektiv. Det är så intressant och som student så älskar man ju sånt. Att man kan ifrågasätta. Se och lära sig.

Vad tyckte ni om att ni fick presentera i små grupper och berätta vad ni hade kommit fram till?

- Jag tycker alltid gruppresentationer är bättre än enskilda presentationer. Det var bra för det var ganska kort och så här. Det blev inte så stort men ändå sammanfattande och såhär att man fick en... alltså bra sammanfattning av varandras resultat så att man kunde liksom... att man delade med varandra, det är jättebra.
- Just att den... att den var väldigt såhär det var ju ingen... man fick ju inte den här rädslan på samma vis... ååå nu måste jag prestera, nu måste jag köra en kick ass presentation och imponera på allt och alla. Det här var liksom... visa mina resultat, diskutera med dom andra. That's it. Vilket är otroligt bra.

Inspirerande: Stämmer det in på laborationen?

- Yes
- Mm, det tycker jag.
- Ja alltså det här med inspirerande, det ligger ju väldigt mycket i vem det är som inspirerar. Du lyckades inspirera.
- Ja verkligen.
- Som du, även fast man inte vill jobba med vindkraftverk och just det du pluggar till. I framtiden vart man ju jag vill ha mer kunskap om, jag vill känna till mer.
- Ja, det var lite för att du fick en bra blandning mellan allt och det blev liksom... det kändes nära, man kunde ta åt sig. Man tar åt sig jättemycket av ambitiösa lärare, det gör man.
- Mycket bra.

Upplevde ni VH som seriöst?

- Det var ju det, vi fick ju... ja.
- Hur seriöst ska det vara, det ska inte vara allt för seriöst för då blir det tråkigt.
- Men alltså en del av seriöst är ju att man vill kunna skämta lite om det också. Det är ju inte kul om man är såhär stel och så bara... skämtar ingenting och så där. Det är ju inte lika kul. Det ska ju vara kul också liksom.
- Seriöst är när man kan koppla det till vardagen och förstår varför man har nytta av kunskapen. Även om man kanske inte vill jobba med det är det ändå intressant. Det var en rolig lektion. Eftersom det vi sa innan finns med... typ.

4.4.7 Utvärderingens resultat

Eleverna upplevde laborationen som spännande och lärorik. Innehållet kändes aktuellt, välplanerat och inspirerande. Under gruppdiskussionerna pratade de mycket om hur roligt det var att lego använts till vindkraftverksmodellen. Fascinationen över 3D-skrivartekniken var också stor.

Att räknandet under laborationen kan väljas bort uppskattades av eleverna. De flesta valde att maximera spänningen från vindkraftverket istället för effekten. Härledningen som kortfattat diskuteras under introduktionen uppskattades av gymnasieeleverna. Grundskoleeleverna däremot tyckte den var svår men förstod vad dess resultat innebar. Det vill säga att vindhastigheten har stort inflytande på hur mycket effekt ett vindkraftverk genererar.

Vissa detaljer i presentationen har justerats efter kommentarer från eleverna. Bland annat upplevdes informationen om historisk användning som malplacerad och diskuteras nu som första punkt under introduktionen.

Under laborationen fick laborationsgrupperna olika resultat. Detta tyckte inte eleverna var ett problem. Däremot tyckte de att det var bra att man diskuterade varför det kan bli så och vilka resultat man kunde förvänta sig vid en noggrannare undersökning.

Eleverna hade flera förslag på mer information de ville ha med i introduktionen men kunde inte ge något förslag på något som det tyckte var viktigare än det som är i presentationen i dagsläget. Med det något pressade schemat tyckte de inte att något skulle bytas ut.

Ett återkommande problem med laborationen är att ställa in vingarna i lämpliga vinklar för att optimera spänningen (eller effekten). Flera olika varianter har testats, bland annat med hjälp av PRAO-elever som varit på VH. Den variant som används, där vingens spets riktas mot en markering på basen, verkar vara enklast att förstå. Dock tar det en stund innan de som laborerar känner sig bekväma även med den metoden.

Eleverna gav uttryck för att de uppskattade den öppna frågeställningen som gör att de själva får planera sin undersökning. De tyckte också det var intressant att få lyssna på de andra gruppernas strategier och resultat.

Samtliga elevgrupper ville ha mer tid för att laborera men tyckte samtidigt inte att något i introduktionen eller den avslutande diskussionen skulle tas bort. Det konstateras därför att besöket kan bli bättre av att förlängas till 120 minuter istället för 90 minuter.

4.5 Diskussion

Vindkraftverksmodeller

Att få arbeta med en så relativt ung teknik som 3D-skrivare har varit spännande. Mycket tid har fått läggas på att hålla skrivaren i skick under utskrifterna av alla delar som behövts till vindkraftverksmodellerna. Den totala utskriftstiden uppskattas till 200 timmar, ungefär en tredjedel av de delar som skrivits ut har av olika anledningar inte kunnat användas. Problemets karaktär har varierat och att finna lösningen på dem har krävt en hel del felsökning. Med ökad erfarenhet har arbetet flutit på bättre.

För att kunna skapa modellerna till 3D-skrivaren har viss kunskap i CAD krävts. Denna har fått inhämtas då nya utmaningar dykt upp. Ytterligare en tankenöt var att finna en lämplig metod att fästa vingarna vid naven. Att använda skruv valdes eftersom vinkeln på vingarna skall kunna varieras men samtidigt får inte vingarna kunna flyga iväg. Risk för ögonskador skulle då vara överhängande. Än har ingen vinge lossnat men skyddsglasögon används för att minimera risken. En svaghet med fästmetoden som används är att vingkonstellationerna ibland blir obalanserade. Detta beror på svårigheter med att fästa skruvarna helt rakt i navet och att sedan fästa vingarna helt rakt på skruven. Med ökad vana vid arbetet har resultaten generellt blivit bättre.

Litet kommersiellt vindkraftverk

Kontroll och användning av det lilla kommersiella vindkraftverk som finns på VH har inte hunnits med inom examensarbetets ramar. Det kan vara intressant att inkludera detta i besöket *Vindkraft* i framtiden.

Motstånd som används under laborationen

Med hjälp av mätningarna av effekten från vindkraftverksmodellerna för olika vinklar på vingarna och olika motstånd bestämdes de motstånd som gav maximal effekt för de olika vingkonstellationerna. Det har beslutats att använda ett fast motstånd under elevlaborationerna. $100\ \Omega$ ligger tillräckligt nära det verkliga maximat för att utgöra en

acceptabel approximation till de olika vingkonstellationernas maxima. När eleverna laborerar styrs inte avståndet mellan fläkt och vindkraftverk eller vilken effektinställning som skall användas på fläkten. Den maximala uppmätta effekten som konstateras under laborationerna kommer alltså ändå inte överensstämja med de som beskrivs i denna rapport.

Luftflöde från fläkten

Det luftflöde som erhålls från fläkten som används under laborationen är inte jämnt fördelat över ett plan parallellt med fläktens vingar, vilket ses i Figur 4.7. Det skulle vara intressant att undersöka hur mycket detta påverkar modellvindkraftverken genom att köra dem i en vindtunnel eller utomhus vid jämn vind.

Laborationens mål

FN har utsett åren 2005-2014 till ett årtionde för utbildning för hållbar utveckling. Vindkraft kan vara en del i en sådan utveckling, därför är det passande att VH nu har ett inspirerande besök om denna förnybara energikälla. Besökets mål är:

- Skapa intresse för vindkraft och i förlängningen förnybar energi.
- Skapa förståelse för att ett vindkraftverk är en komplex konstruktion.
- Introducera vingarnas funktion och de överväganden som krävs för att välja form och antal.

De elever som deltog i fokusgrupperna verkade ha varit intresserade av förnybar energi redan innan besöket på VH. Gruppdeltagarna uttryckte att deras intresse för vindkraft ökat efter laborationen. De ställde också många fördjupande frågor om hur vindkraftverkens olika komponenter (exempelvis generatoren) fungerar. Förvånansvärt många visade intresse för att få veta mer om vindkraftverkets kontrollsystem, alltså hur vindkraftverket mäter och ställer in sig beroende på vindriktning och vindstyrka. Detta kan vara ett fördjupningsområde om besöket förlängs. Elevernas frågor pekade mot att de vill lära sig mer om vindkraft.

Att introducera vingarnas funktion och de överväganden som krävs för att välja form och antal har visat sig återknyta till målet att skapa förståelse för att ett vindkraftverk är en komplex konstruktion. Elevernas diskussioner kring vingarnas funktion, form och antal var livliga och engagerade både under laborationstillfällena och fokusgrupperna.

Det är min åsikt att laborationens mål uppfyllts mycket väl för de grupper som hittills gjort laborationen. En svaghet med målen är att de inte är lätta att mäta under ett besök utan att träffa eleverna efteråt och diskutera laborationen. Det har kommit till min kännedom att VH önskar att alltid kunna mäta måluppfyllelsen under laborationen. Alltså kan det vara lämpligt att utveckla kompletterande mål som är enklare att mäta genom att observera eleverna under besöket.

Didaktik

Litteraturstudier visade att *guided inquiry* verkade vara en lämplig laborationsform för vindkraftlaborationen och teorin användes under planeringen. Det är svårt att i förväg veta hur djuplodande teorin kring en laboration skall vara för att den skall göra att eleverna har kontroll över situationen utan att ha en avskräckande effekt. Fokusgrupperna

har visat att besökets form, omfattning och innehåll har motiverat eleverna att vilja lära sig mer om vindkraft. Därmed inte sagt att den valda utformningen var den bästa tänkbara men den är bra.

Under arbetet med de inspelade fokusgrupperna var det svårt att välja ut lämpliga diskussioner att transkribera. Jag har gjort mitt bästa för att ge en saklig bild av vad som sades utan att bli alltför långrandig. En vidare analys av resultaten från fokusgrupperna skulle vara möjlig men ryms inte inom ramarna för detta examensarbete. Det skulle vara intressant genomföra fler fokusgrupper om förändringar av besöken görs i framtiden.

Det problem som fortfarande kvarstår med laborationen är att inställning av vingarna upplevs som både svårt och inexakt. Eleverna upplever det dock inte som ett hinder i arbetet utan mer som en utmaning. Arbetet med att utveckla en bättre metod lämnas som ett framtida förbättringsarbete.

Besöket skulle, i framtiden, också kunna anpassas för att diskutera den vetenskapliga metoden. Som besöket ser ut nu finns det många variabler som eleverna obehindrat kan variera (medvetet eller av misstag). För att nämna några: Fläktens vinkel relativt underlaget, placering av vindkraftverksmodell relativt fläkten, effektinställning på fläkten, vinkel på vingarna, vingarnas antal och vingarnas form.

Kapitel 5

Slutsats

De tidigare delarna av denna rapport har haft en tydlig uppdelning mellan didaktik, solpanellaboration och vindkraftslaboration. Slutsatsen nedan behandlar frågeställningen till alla nämnda delar. För mer information, se respektive diskussionsdel.

För att erhålla ett flöde genom solfångarna behövdes pumpar, slangar och slangklämmor. Detta var inte helt oväntat. Effekten av ett fungerande flöde genom vakuumrörsolfångaren och plattsolfångaren var att mätningar kunde genomföras i princip momentant och att verkningsgraden för de berörda panelerna ökade. Laborationsuppställningen blev också mer lik en verklig installation. För att inte få höga värmeförluster innan temperaturgivaren för utgående vatten från vakuumrörsolfångaren var det nödvändigt att placera en temperaturgivare vid panelens anslutning för utgående värmebärare. Övriga temperaturgivare kunde placeras före och efter tilloppslang respektive frånoppslang.

Fler förbättringar av laborationen än vad som var tänkt från början har genomförts. En metod för att mäta instrålningen till panelerna har utvecklats och en ny metod för att bestämma den absorberade effekten av luftolfångaren har implementerats och validerats.

Anpassning av solpanellaborationen till gymnasieskolans nya kursplaner var oproblematisht. Det konstaterades att laborationen passade väl i *fysik 1* i sitt befintliga utförande. Flera av Vetenskapens Hus interna dokument till besöket har uppdaterats (se bilagor). Besökets plan har justerats för att få ett ökat fokus på förståelse av de olika solpanelerna och ökad interaktion mellan besöksledare och elever. Detta har åstadkommit genom att eleverna får studera panelerna även utan att samtidigt utföra mätningar.

Ett sätt att utforma besöken som inspirerar eleverna att vilja lära sig mer har funnits. Vindkraftlaborationen utformades som *guided inquiry based* och solpanellaborationen förbättrades genom ökad variation mellan föreläsningsform och egen undersökning. Variationen i solpanellaborationen har också lett till en ökad interaktion mellan besöksledare och elever. Att eleverna motiveras att lära sig mer har konstaterats med hjälp av fokusgrupper.

Att välja vilken information om vindkraft som skulle inkluderas i introduktionen av besöket har varit en balansgång. Under fokusgrupperna har elever som upplevt besöket *Vindkraft* på VH uttryckt att det finns mycket mer de vill veta om vindkraft men inget som bör prioriteras högre än det som i dagsläget finns med. Alltså har en lämplig teoretisk omfattning uppnåtts. Samtidigt observeras genom detta att ett av besökets mål uppfyllts. Eleverna vill lära sig mer och upplever besöket som inspirerande.

Besöken har utvärderats med hjälp av fokusgrupper. Under dessa möten har eleverna bidragit till förbättringar av laborationerna och givit underlag för att kunna bedöma måluppfyllelsen för respektive besök. För eleverna i fokusgrupperna har måluppfyllelse konstaterats.

5.1 Förbättringsområden

5.1.1 Solpanelllaboration

- Flera av eleverna har under fokusgrupperna uttryckt att de inte känner sig säkra på att halogenlampor kan ersätta solen under laborationen. Det kan vara bra att finna ett sätt att diskutera detta under besöket.
- De formler som används under laborationen upplevdes som svåra av grundskoleeleverna, framförallt tecknet Δ var svårbegripligt. Antingen kan mer tid läggas på att diskutera detta under introduktionen eller så kan formeln skrivas om.
- Förberedelsetiden för laborationen har ökat, både på grund av pumparna som måste anslutas och på grund av instrålningsmätningarna. Tabellvärden för instrålningen kan skapas. Det är dock viktigt att giltigheten undersöks om lamptyp eller armaturer byts.
- Inhandla en kraftigare pump till plattsolfångaren. Den nuvarande pumpen orkar inte fylla solpanelen om denna inte läggs på golvet. En ny pump skulle göra arbetet enklare för de som inte är vana vid den befintliga utrustningen.

5.1.2 Vindkraftslaboration

- Förbättring av metoden för att ställa in vingarnas vridningsvinkel relativt navet. Den nuvarande metoden upplevs som något svår och inexakt.
- Om besöket görs om till ett 120-minuters besök kan med fördel information om vindkraftverkens kontrollsystem inkluderas. Flera elever har uttryckt att de är intresserade av detta. Information om hur det går till då vindkraftverken monteras verkar också vara eftertraktat.
- En diskussion om hur man genomför vetenskapliga undersökningar under introduktionen skulle kunna göra laborationen både mer intressant och lärorik. En fara är dock att introduktionen skulle upplevas som alltför teoretisk och inspirationsfaktorn skulle sjunka.
- Kompletterande mål för laborationen som är enklare att mäta under besöket kan utvecklas.
- Konstruktion av åtminstone en vindtunnel där man kan studera vindkraftverkmodellernas funktion närmare skulle vara intressant. Kanske är detta arbete lämpligt som gymnasiearbete eller ett nytt examensarbete.
- Finna ett sätt att inkludera det lilla kommersiella vindkraftverket som finns på VH i besöket.

Litteraturförteckning

- [1] Andersson, B., 2001, *Elevers tänkande och skolans naturvetenskap, forskningsresultat som ger nya idéer*, Lenanders Tryckeri AB, ISBN 91-89314-62-X
- [2] Angell, C., Guttersrud, Ö., Henriksen, E., 2004, *Physics: Frightful, But Fun, Pupils' and Teachers' Views of Physics and Physics Teaching*, Published online 1 June 2004 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com)
- [3] American Society for Testing and Materials (ASTM), 1993, *Manual on the use of thermocouples in temperature measurement*, Fourth edition, Miami 1993, ISBN 0-8031-1466-4
- [4] Björneloo, I., *Hållbar utveckling: att undervisa utifrån helheter och sammanhang*, Liber, Sockholm, (2011), ISBN 978-91-47-10038-5
- [5] Blanchard, M., Southerland, S., Osborne, J., Sampson, V., Annetta, L., Granger, E., 2010, *Is Inquiry Possible in Light of Accountability?: A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction*, Published online 11 March 2010 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com)
- [6] Domin, D., 1999, *A Review of Laboratory Instruction Styles*, Journal of Chemical Education Vol. 76 No. 4 April 1999
- [7] Granryd, E. et al. *Refrigeration Engineering*. Stockholm, Sweden: Department of energy engineering, Division of applied thermodynamics and refrigeration, Royal Institute of Technology (KTH), (2011) ISBN 978-91-7415-415-3
- [8] Gyllenpalm, Jakob , Wickman, Per-Olof and Holmgren, Sven-Olof (2010) *Teachers' Language on Scientific Inquiry: Methods of teaching or methods of inquiry?*, International Journal of Science Education, 32: 9, 1151 —1172, First published on: 04 August 2009 (iFirst)
- [9] Hammar, L. *Laborativt arbete baserat på casemetodik vid Vetenskapens Hus, Tema: Solenergi i våra bostäder*, M.Sc thesis, Kungliga Tekniska Högskolan, Sverige. (2010)
- [10] Högström, P., Ottander, C., Benckert, S., 2006, *Lärares mål med laborativt arbete: Utveckla förståelse och intresse*, NorDiNa 5, 2006.
- [11] Högström, Ottander & Benckert, *Laborativt arbete i grundskolans senare år: Lärares perspektiv*, 2010, NorDiNa 6(1), 2010
- [12] Johansson, P., Svensson, A., *Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer*, Andra upplagan, Edita 2007, ISBN 978-91-540-6001-6
- [13] Kitzinger, J., 1994, *The methodology of Focus Groups: the importance of interaction between research participants*, Sociology of Health & Illness Vol. 16 No. 1, 1994, ISSN 0141-988

- [14] Lederman, N., 1999, *Teachers' Understanding of the Nature of Science and Classroom Practice: Factors That Facilitate or Impede the Relationship*, JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, VOL. 36, NO. 8, PP. 916–929 (1999)
- [15] Lee, T.-W., 2008, *Thermal Flow and Measurements*, CRC Press, Taylor & Francis Group, ISBN 978-0-84937970-3
- [16] Ryder, J., 2001, *Identifying science understanding for functional scientific literacy: implications for school science education*, Paper presented in the symposium 'Science-as-it-is-taught and Science-as-it-ispractised: Teaching About Science in the Classroom' at the American Educational Research Association Annual Meeting, Seattle WA, 10-14 April 2001
- [17] Ryder, J., 2002, *School science education for citizenship: strategies for teaching about the epistemology of science*, J. Curriculum Studies, 2002, vol. 34, no. 6, 637–658.
- [18] Sadler, T., 2004, *Informal Reasoning Regarding Socioscientific Issues: A Critical Review of Research*, JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING VOL. 41, NO. 5, PP. 513–536 (2004)
- [19] Skolverket, 2011, Ämne - Fysik, Finns att hämta på skolverkets hemsida: <http://www.skolverket.se/laroplaner-amnen-och-kurser/gymnasieutbildning/gymnasieskola/fys/subject.pdf?subjectCode=FYS&tos=gy&lang=sv>, hämtad 2013-12-18 kl. 10:57.
- [20] Statens offentliga utredningar, Betänkande av Kommittén för utbildning för hållbar utveckling, *Att lära för hållbar utveckling*, Stockholm 2004, SOU 2004:104
- [21] Strömdahl, H. (red.). 2002. Kommunicera naturvetenskap i skolan? några forskningsresultat. Studentlitteratur, Lund.

Kapitel 6

Bilagor

6.1 Solpanellaboration

31 januari 2014

Solpanellaboration – Hur fångar vi solens energi?

Besöksledarhandledning

Leif Hammar 2010

Reviderat av Johan Stare 2013/2014



VETENSKAPENS HUS

AlbaNova universitetscentrum, 106 91 Stockholm
08 - 553 784 60, vh@vetenskapenshus.se, www.vetenskapenshus.se



Stockholms
universitet

Solpanellaboration - Besöksledarhandledning

Namnförtydliganden

- Solpanel syftar till något som omvandlar solstrålning till någon annan energiform.
- En solfångare omvandlar solstrålning till värme.
- En solcell (PV-cell, där PV står för photo voltaic) omvandlar solstrålning till elektricitet. När det är en enstaka solcell kallas det för solcell. Om man kopplar samman flera solceller fås en solcellspanel (PV-panel)
- Anemometer, mäter vindhastighet
- Pyranometer, mäter solinstrålning medelst en kalibrerad solcell.

Inledning

Laborationen går ut på att mäta verkningsgraden för fyra olika solpaneler. De olika typerna är vakuumrörsolfångare och plattsolfångare som producerar varmvatten, luftolfångare som producerar varm luft och en solcellspanel som producerar elektricitet. Under laborationen belyses panelerna med halogenlampor eftersom det är vanskligt att förlita sig på klart väder och solsken i detta land.

Detaljer om de olika solpanelerna och hur man beräknar den absorberade effekten finns i slutet av denna handledning.

Laborationsinstruktionen är skriven så att laborationen kan genomföras med casemetodik. Detta är ett förslag på hur undervisningen kan gå till. När ni känner er bekväma med materialet har ni kanske er egen version av hur undervisningen fortlöper. Förutom detta dokument bör man ha läst igenom och förstått informationsbladen till solpanelerna för att vara förberedd att handleda eleverna. Det finns en powerpointpresentation som med fördel används under introduktionen av besöket. En viktig förändring som skett är att eleverna får tid att studera panelerna på egen hand utan att samtidigt göra mätningar. Detta sker innan panelerna diskuteras i helklass. Förändringen har fört med sig en ökad interaktion mellan elever och besöksledare samt bidrar till en ökad förståelse av panelerna. Ett filmat besök finns på <http://youtu.be/2JMpnTw8xs0>. Genom att titta på det filmade besöket fås ett helhetsintryck av hur ett besök kan gå till.

Laborationens mål

- Skapa intresse för ämnet energi och miljö
- Undersöka olika solpanelers verkningsgrad
- Undersöka hur de olika panelerna kan påverka en familjs ekonomi

Under laborationen undersöks hur stor area de olika typerna av solfångare måste ha för att täcka en familjs energibehov för varmvatten under sommarhalvåret. Besöket är uppdelat i tre delar: introduktion av situationen, laboration och diskussion av resultat.

Förberedelser

(Räkna med 90-120 minuter)

Laborationsuppställning

Lamporna drar väldigt mycket ström och måste kopplas in med eftertanke. Beroende på var laborationen genomförs är rekommendationerna olika. Generellt kan sägas att trefasuttagen, med ansluten skarvsladd, skall användas. Dessa klarar en högre belastning än de vanliga uttagen. Det finns tre vanliga kontakter på anslutningskabeln till trefasuttaget. **Koppla så att fyra lampor ansluts till respektive uttag.** Annars är risken stor att elektriker måste tillkallas för att återställa en säkring i källaren som vi inte kommer åt. Lamporna skall inte flyttas när de är på och får gärna svalna lite innan de flyttas efter de varit påslagna.

Plan solfångare

Luta solfångaren, på höjden, mot en vägg eller annat stadigt objekt så att vattnet från pumpen flödar in i den nedre anslutningen.

Placera ett lämpligt kärl med minst 20 liter vatten på ett närstående bord.

Placera pumpen med ansluten slang i kärlet med vatten. Kontrollera först att pumpen står på maximal hastighet.

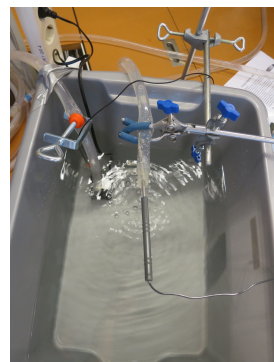
Fixera frånloppsslangen från solfångaren i ett stativ (exempelvis medelst silvertejp eller klämma) så att vattnet hamnar i kärlet igen när det passerat solfångaren.

Skruva loss tvingen om den sitter på slangen. Starta pumpen och se till att vattnet tar sig genom systemet. Om solfångaren var helt tömd innan laborationen kan det vara nödvändigt att tillfälligt lägga den på golvet för att pumpen skall orka fylla den med vatten.

Minimera mängden luft i slangarna genom att böja dem så att luften kan ta sig ut vidare. Börja vid pumpen och följ båda slangarna i flödesriktningen.

Skruva fast tvingen på slangen från pumpen så ett flöde om 3-5 dl/min erhålls.

Placera det för ändamålet byggda lampstativet framför panelen så att stativets stöd är i kontakt med solfångaren. Se till att lampstativ och solpanel är parallella.



Solpanellaboration - Besöksledarhandledning

Tänd lamporna och mät den instrålade effekten vid solfångaren med hjälp av pyranometern. Genomför 8-10 mätningar jämnt fördelat över panelens yta. Beräkna medelvärdet av dina mätningar och finn den genomsnittliga instrålade effekten med hjälp av översättningstabellen som återfinns senare i detta dokument. Skriv upp detta värde på tavlan så att eleverna kan använda det i sina beräkningar.

Lamporna och pumpen bör vara igång minst 10 minuter innan några mätningar genomförs. Enklarest är att låta dem vara igång under introduktionen av laborationen.

Vakuumsolfångare

Placera vakuumsolfångaren på ett bord.
Placera ett lämpligt kärl med ca 10 liter vatten bredvid solfångaren.
Placera pumpen med ansluten slang i kärlet.
Fixera frånloppsslangen från solfångaren i ett stativ (exempelvis medelst silvertejp eller klämma) så att vattnet hamnar i kärlet igen när det har passerat solfångaren.

Vrid ventilen till fullt flöde. Starta pumpen.

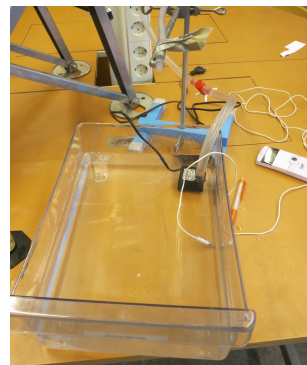
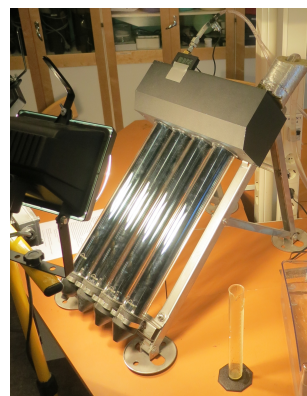
Minimera mängden luft i systemet. Börja med slangen från pumpen. Luta sedan solfångaren åt sidan så att luften i flödestanken kommer ut i slangen som går tillbaka till kärlet.

Vrid ventilen så att ett flöde om 0.5-1 dl/min erhålls.

Placera stativet med två lampor som kan riktas nedåt framför solfångaren. Se till att få jämn instrålning på solfångaren genom att rikta lamporna.

Tänd lamporna och mät den instrålade effekten vid solfångaren med hjälp av pyranometern. Genomför 6-8 mätningar jämnt fördelat över panelens yta. Beräkna medelvärdet av dina mätningar och finn den genomsnittliga instrålade effekten med hjälp av översättningstabellen som återfinns senare i detta dokument. Skriv upp detta värde på tavlan så att eleverna kan använda det i sina beräkningar.

Lamporna och pumpen bör vara igång minst 30 minuter innan några mätningar genomförs. Enklarest är att låta dem vara igång under introduktionen av laborationen.



Solpanellaboration - Besöksledarhandledning

Luftsolfångare

Placera luftsolfångaren mot en vägg eller annat stadigt objekt.

Placera stativet med fyra lampor 70 cm från panelen och starta fläkten.

Mät instrålad effekt på samma sätt som ovan för ca 10 punkter och använd översättningstabellen. Skriv upp resultatet på tavlan.

Lamporna och fläkten bör vara igång minst 10 minuter innan några mätningar genomförs. Enklart är att låta dem vara igång under introduktionen av laborationen.



Solcellspanel

Placera solcellspanelen på ett bord.

Seriekoppla en sluten krets med solcellspanelen, det variabla motståndet (ställt på 33Ω) och en amperemätare. Använd krokodilklämmor till solcellspanelens skalade anslutningskablar.

Parallellkoppla en voltmeter med motståndet.

Placera ett stativ med två halogenlampor 50 cm från panelen. Här är det mycket viktigt att åstadkomma en jämn belysning. Kontrollera med hjälp av pyranometern.

Instrålningen är 150 W/m^2 .



Beräkna effekt in till panelerna

När instrålningens intensitet är funnen vid de olika panelerna kan man beräkna effekten P_i som träffar dem. Detta skrivs lämpligtvis upp på en tavla i laborationssalen. Exempelvis såhär:

Paneltyp	Area [m^2]	Instråln. [W/m^2]	P_i [W]
Solcell	0,45	150	67
Plan.	0,92	396	364
Vakuum	0,080	623	50
Luft.	1,0	414	414

Under besöket

Introduktion av laborationen

Introducera arbetssättet och den situation som laborationen handlar om. (ca 20-30min)

Fråga eleverna hur de förberett sig för laborationen. Anpassa genomgången efter deras kunskapsnivå.

Två möjliga öppningar till laborationen:

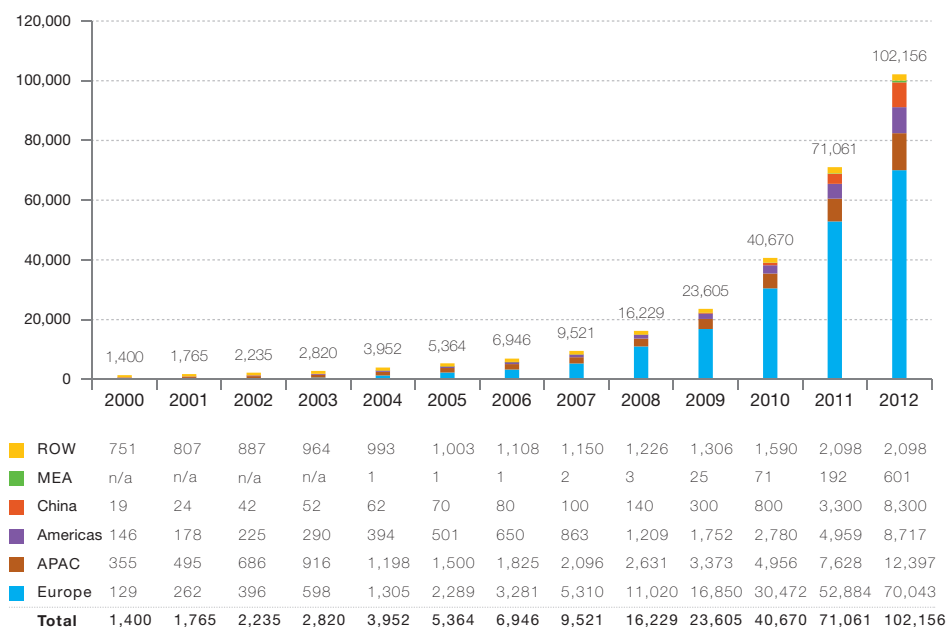
"Solen är jordens enda energikälla" Stämmer detta?

Vilka energikällor känner eleverna till? (t.ex. fossilt, vind, vatten, sol, bio, fusion/fission)

Alla dessa kommer ifrån vår sol mer eller mindre direkt förutom fusion/fission.

eller

Har ni sett solceller eller solfångare på tak eller vägg i Stockholm eller någon annanstans i Sverige?



Figur 1: installerad effekt (MW) solceller. Källa: EPIA



Solpanellaboration - Besöksledarhandledning

	Market 2011	Cumulative 2011	Market 2012	Cumulative 2012	W/habitant 2012		Market 2011	Cumulative 2011	Market 2012	Cumulative 2012	W/habitant 2012
Austria	92	188	230	418	50	Lithuania	0.1	0.3	6	6	2
Belgium	996	2,051	599	2,650	241	Luxembourg	5	30	0	30	59
Bulgaria	105	141	767	908	123	Malta	10	12	0	12	29
Croatia	0	0	0.2	0.2	0.04	Netherlands	58	141	125	266	16
Cyprus	3	9	0	9	11	Norway	0	0.1	0	0.1	0.02
Czech Republic	6	1,959	113	2,072	196	Poland	1	3	4	7	0.1
Denmark	10	16	378	394	70	Portugal	47	195	49	244	22
Estonia	0.1	0.2	0	0.2	0.1	Romania	2	4	26	30	2
Finland	1	1	0	1	0.2	Slovakia	321	508	15	523	95
France	1,756	2,924	1,079	4,003	61	Slovenia	46	81	117	198	97
Germany	7,485	24,807	7,604	32,411	398	Spain	472	4,889	276	5,166	110
Greece	426	624	912	1,536	144	Sweden	4	11	8	19	2
Hungary	3	4	0	4	0.4	Switzerland	105	216	200	416	53
Ireland	3	3	0	3	1	Turkey	1	7	2	9	0.1
Italy	9,454	12,923	3,438	16,361	273	Ukraine	188	191	182	373	8
Latvia	0.2	0.2	0.4	1	0.3	United Kingdom	813	904	925	1,829	29

Figur 2: Installerad effekt, solceller, för olika länder. Källa: EPIA

Presentera laborationen för eleverna. Använd den tillgängliga Powerpoint-presentationen. Beroende på elevernas ålder och grad av förberedelse kan detta ta olika lång tid. Vad handlar situationen om? Vad är frågeställningen? Vilken information finns tillgänglig?

Ett upplägg som fungerar bra är att låta eleverna dela in sig i grupper och undersöka solpanelerna innan deras funktion diskuteras i helklass.

Några saker man kan prata om innan eleverna laborerar:

- Det finns både termiska och elektriska paneler.
- Lagring av energi i ackumulatortank eller batterier, hur länge man kan lagra energin.
- Vad våra bostäder använder energi till och hur det ändras över året.
- Hur solinstrålningen är fördelad över året och vad denna kan användas till.
- Effekt och verkningsgrad.
- Hur de olika solpanelerna fungerar, denna information skall också finnas vid respektive arbetsstation.

Informera om att ni först kommer laborera och sedan samlas för att diskutera resultatet och elevernas tankar. Berätta ungefär hur lång tid det är tänkt att detta skall ta. Laborationen bygger på att eleverna sätter sig in i bilagorna till laborationsinstruktionen. Dessa skall finnas vid respektive arbetsstation. Innan eleverna kommit in i arbetssättet tar det längre tid vid respektive station.

Informera om säkerheten under laborationen:

- Rör ej lamporna, dessa blir mycket varma.
- Rör ej anslutningarna till solcellspanelen när halogenlamporna är påslagna. Risk för stötar föreligger.



Solpanellaboration - Besöksledarhandledning

- Maximal temperatur som bör tillåtas i vattensolfångarna är 60 grader. Annars finns risk för brännskador.

Laboration

30-45 min

Dela in eleverna i grupper. Det skall vara högst fyra grupper eftersom det finns fyra olika solpaneler. Dela ut pappret där eleverna kan samla data och genomföra beräkningar. Berätta ungefär hur ofta de skall rotera mellan de olika stationerna och i vilken riktning detta skall ske. Låt eleverna utföra mätningar på samtliga fyra paneler minst en gång. Till en början behöver eleverna kring 5-10 minuter för att utföra mätningar vid respektive station. Allteftersom de blir vana går det fortare. När eleverna hinner kan de även göra beräkningar under laborationen.

Diskussion

Samla eleverna för diskussion. (ca 15 min)

När eleverna utfört 1-2 mätningar på varje panel samlas de i sina grupper och utför beräkningar av absorberad effekt (och verkningsgrad). Be dem beräkna medelvärdet av verkningsgraden för respektive panel (om tid finns).

I excel-arket samlas respektive grupps verkningsgrad för de olika panelerna. Medelvärden för respektive grupps värden skapas i excel-arket, använd kommandot =MEDEL(...;...;...). De värden som då beräknas i arket står till grund för diskussionen.

Det viktigaste när ni laborerar är att eleverna får bekanta sig med de olika teknikerna och bilda sig en uppfattning om hur de fungerar. Laborationen kan antingen göras så att eleverna har tid att bearbeta resultatet och hinner diskutera kostnad och miljö i smågrupper eller så kan ni göra det i helklass, innan ni diskuterar vilka aspekter av effekt, ekonomi och miljö som eleverna anser är viktigast. Upplägg får variera, beroende på hur mycket tid ni har kvar efter laborationsdelen.

Laborationens resultat är öppet och det finns inget rätt svar till vilken installation som vore bättre än någon annan. Svaret är ett resultat av mätningar och värderingar gjorda under laborationens gång.

Man kan börja diskussionen med att fråga vilken av solpanelerna eleverna skulle välja och sedan ställa samma fråga igen efter diskussionen. Led eleverna genom en diskussion kring frågeställningarna:

1. Vilken solfångare kan ge mest användbar energi?
2. Hur många kvadratmeter behöver familjen?
3. Rekommenderar ni den mest effektiva solfångare eller finns det någon annan ni föredrar?
4. Vilken aspekt är viktigast: effektivitet, konstruktion (utseende), material (miljö), kostnad?



Solpanellaboration - Besöksledarhandledning

Resultaten under laborationen kommer visa att solcellen har lägre verkningsgrad än övriga paneler. Här kan det vara bra att prata om energikvalitet. Det vore exempelvis något ogenomtänkt att använda elektricitet skapad i en solcell för att värma tappvarmvatten.

De första två frågorna är mera faktabaserade och de olika gruppernas resultat från mätningar kan samlas på tavlan eller i excelarket.

Fråga 3 och 4 är mera diskussionsbaserade och här kan man behöva skapa diskussion om eleverna inte spontant diskuterar dessa frågor. Början till en diskussion kan vara möjliga för- och nackdelar för de olika solpanelerna.

Förhoppningsvis har ni klarat av de huvudsakliga målen för laborationen (som står i början av detta dokument) om ni hunnit med att laborera och någon form av diskussion. Det är eleverna som konstruerar ny kunskap och om man inte hinner med alla delar bör detta inte ses som ett misslyckande utan eleverna har fortfarande haft möjlighet att tillskansa sig nya kunskaper om solenergi och förhoppningsvis blivit intresserade av att lära sig mer.

Litteratur om case

För litteratur om praktisk caseundervisning rekommenderas följande:

Kjellén, B. (1994): Att undervisa med casemetoden, en handbok om att undervisa och att skriva.
Stockholm: Högskolans grundutbildningsråd. Nationellt centrum för casemetodik
<http://hgur.hsv.se/case-methods/Casemetodik/handbook1.html> (Network for Case Methods Learning).

Allard, Michael (2001): Att arbeta med case i skolan. Lund, Studentlitteratur.

Egidius, Henry (1999): PBL och casemetodik. Lund, Studentlitteratur.

Bengtsson, L. (2001): Att arbeta med case. Stockholm: Liber distribution.



Solpanellaboration - Besöksledarhandledning

Pyranometerns mätvärde motsvarar en instrålning från halogenlamporna enligt nedanstående tabell. Enheter i tabellen är watt per kvadratmeter.

Mätning	Verklig	Mätning	Verklig	Mätning	Verklig	Mätning	Verklig	Mätning	Verklig
100	151	200	290	300	422	400	546	500	664
102	154	202	293	302	424	402	549	502	666
104	157	204	295	304	427	404	551	504	669
106	160	206	298	306	429	406	554	506	671
108	162	208	301	308	432	408	556	508	673
110	165	210	303	310	434	410	558	510	675
112	168	212	306	312	437	412	561	512	678
114	171	214	309	314	440	414	563	514	680
116	174	216	311	316	442	416	566	516	682
118	177	218	314	318	445	418	568	518	684
120	179	220	317	320	447	420	570	520	687
122	182	222	319	322	450	422	573	522	689
124	185	224	322	324	452	424	575	524	691
126	188	226	325	326	455	426	578	526	693
128	191	228	328	328	457	428	580	528	696
130	193	230	330	330	460	430	582	530	698
132	196	232	333	332	462	432	585	532	700
134	199	234	335	334	465	434	587	534	702
136	202	236	338	336	467	436	590	536	705
138	205	238	341	338	470	438	592	538	707
140	207	240	343	340	472	440	594	540	709
142	210	242	346	342	475	442	597	542	711
144	213	244	349	344	477	444	599	544	714
146	216	246	351	346	480	446	601	546	716
148	219	248	354	348	482	448	604	548	718
150	221	250	357	350	485	450	606	550	720
152	224	252	359	352	487	452	608	552	722
154	227	254	362	354	490	454	611	554	725
156	230	256	365	356	492	456	613	556	727
158	232	258	367	358	495	458	615	558	729
160	235	260	370	360	497	460	618	560	731
162	238	262	372	362	500	462	620	562	733
164	241	264	375	364	502	464	623	564	736
166	243	266	378	366	505	466	625	566	738
168	246	268	380	368	507	468	627	568	740
170	249	270	383	370	510	470	629	570	742
172	252	272	385	372	512	472	632	572	744
174	254	274	388	374	515	474	634	574	747
176	257	276	391	376	517	476	636	576	749
178	260	278	393	378	520	478	639	578	751
180	263	280	396	380	522	480	641	580	753
182	265	282	398	382	524	482	643	582	755
184	268	284	401	384	527	484	646	584	757
186	271	286	404	386	529	486	648	586	760
188	274	288	406	388	532	488	650	588	762
190	276	290	409	390	534	490	653	590	764
192	279	292	411	392	537	492	655	592	766
194	282	294	414	394	539	494	657	594	768
196	284	296	417	396	542	496	659	596	770
198	287	298	419	398	544	498	662	598	773





Solpanelslaboration – Hur fångar vi solens energi?

Bakgrund

En klar majoritet av den energi mänskligheten använder sig av kommer ursprungligen från solen. Vilka energikällor känner du till? Vilka av dessa kan härledas till solens strålning? Vad är det som gör att solen ständigt sänder ut närmast ofattbara energimängder?

Fossilt och förnybart

Det talas mycket om *förny(else)bar energi* och *global uppvärmning* i dagens samhälle. Vet du vad som avses med dessa begrepp eller behöver du ta reda på mer?

Solpaneler

Under laborationen undersöks verkningsgraden för fyra olika typer av solpaneler¹. De olika typerna är *vakuumrörsolfångare* och *plattsolfångare* som producerar varmvatten, *luftsolfångare* som producerar varm luft och en *solcellspanel* som producerar elektricitet. Under laborationen belyses panelerna med halogenlampor eftersom det är vanskligt att förlita sig på klart väder och solsken i detta land.

Genom de tre solfångarna² flödar vätska respektive luft som värms upp. Genom att mäta flödes hastigheten samt temperaturen av det flödande mediet innan och efter solfångaren kan den absorberade effekten bestämmas. Om du vill kan du fundera på hur denna beräkning går till. När den absorberade effekten beräknats kan verkningsgraden bestämmas. Vad är verkningsgrad och vilka saker, utöver den absorberade effekten, måste man veta för att kunna beräkna den?

Laborationens mål

- Öka förståelsen för olika typer av solpaneler.
- Beräkna hur stora solpaneler som krävs för att täcka energibehovet för att värma tappvarmvatten till en familj under sommarhalvåret.
- Jämföra återbetalningstider för de undersökta solpanelerna.

¹ *Solpanel* syftar till något som omvandlar solstrålning till någon annan energiform.

² *Solfångare* syftar till något som omvandlar solstrålning till värme.



Solpanellaboration

Vilken typ av solpanel är effektivast?

Vi vill använda solpaneler för att värma varmvattnet i en normalstor villa.

Bakgrund - solenergi

- Total energianvändning i världen Ett år (2010): 503×10^{18} J
- Solens instrålning till jorden En timme: 430×10^{18} J

Hur fångar vi in solenergin?
Hur lagrar vi energin?

Solinfångning-energiomvandlingar **Vi fokuserar på tekniker som kan användas på** **vanliga hus.**

- In kommer elektromagnetisk strålning.
- I den här laborationen tittar vi på omvandling till:
elektricitet (hög energikvalitet),
varmt vatten och
varm luft.

Scenario – dagens uppgift

Tanken är att vi vill använda solenergi istället för elektricitet för att värma upp varmvattnet i en villa i Stockholm under högsäsong april till september. Villans varmvattenförbrukning under dessa 6 månader beräknas till 2500 kWh.

Hur många m^2 paneler krävs för att uppnå detta?
Hur mycket solenergi har vi tillgång till?

Solpanellaboration - Presentation

När solen ligger på för fullt är solstrålningen 1000 W/m^2 .
Moln, dimma och föroreningar i atmosfären kan snabbt ändra solstrålningen temporärt. Några vanliga värden finns nedan:

Solen högt på himlen	W/m^2
Klar sikt	1000
Soldis	500
Mulet	150
Tunga regnmoln	40-80

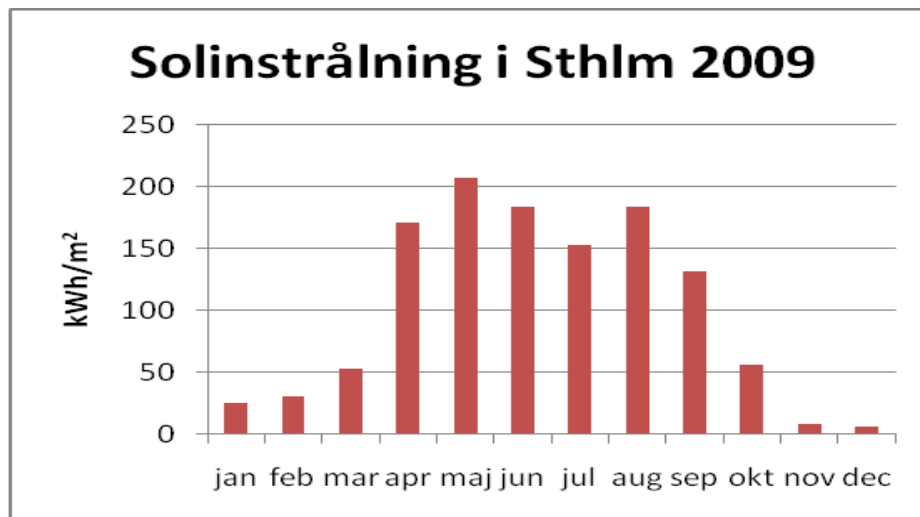
Och sen har vi årstiderna också...



VETENSKAPENS HUS



Stockholms
universitet



2009 fick Stockholm 1200 kWh/m^2 varav 1030 kWh/m^2 var under högsäsong april till september.



VETENSKAPENS HUS



Stockholms
universitet

**Vi räknar alltså med 1000 kWh på varje m^2 .
Om vi har 100% infångning av solstrålningen
så behöver vi alltså $2,5 m^2$ solpanel för att
fånga in önskad mängd energi.**

Men vi har inte 100%. Vi måste bestämma verkningsgraden
för varje solpanel.

Jämförelser mellan olika paneler. - Viktiga parametrar

- Verkningsgrad, uppfångad energi i förhållande till instrålad energi
- Yta som krävs för att fånga in önskad mängd energi.
- Kostnad för den ytan.
- Kostnad för utrustning för energilagring
- Livslängd (hinner anläggningen betala sig?)

Solpanellaboration - Presentation

Plan solfångare

Vatten strömmar genom solfångaren av plast och värms.

Temperaturhöjningen i vattnet ΔT mäts, flödet av vatten genom solfångaren behöver också mätas.

Energien beräknas med

$$E = C_p \times m \times \Delta T, \text{ så}$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{C_p \times m \times \Delta T}{\Delta t}$$

$$\text{Värmekapaciteten för vatten } C_p = 4180 \frac{J}{kg \cdot K}$$



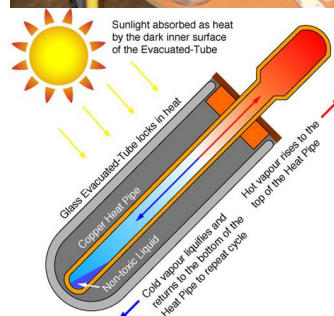
Vakuumrörsolfångare

Solen värmer upp en "heatpipe" som är isolerad av vakuum. Värmen överförs till ett vattenrör.

Temperaturhöjningen i vattnet ΔT och flödet mäts.

$$P = \frac{C_p \times m \times \Delta T}{\Delta t}$$

$$\text{Värmekapaciteten för vatten } C_p = 4180 \frac{J}{kg \cdot K}$$



Solpanellaboration - Presentation

Luftsolångare

Luften värms av solljuset.

Temperaturskillnaden mellan in och utluft ΔT mäts. Flödes hastigheten v för luften mäts.

$$\begin{aligned} P &= \frac{C_p \times m \times \Delta T}{\Delta t} = C_p \times \frac{\rho \times A \times \Delta s}{\Delta t} \times \Delta T \\ &= C_p \times \rho \times A \times \frac{\Delta s}{\Delta t} \times \Delta T = \\ &= C_p \times \rho \times A \times 0,7 \times v \times \Delta T \end{aligned}$$

Luftens värmekapacitet $C_p = 1006 \frac{J}{kg \cdot K}$
Luftens densitet $\rho = 1,2 kg/m^3$



Solcell

I polykristallina kisel solceller omvandlas solljuset direkt till elektrisk ström.

Belastningsmotståndet ställs in på det värde som ger maximal effekt.

Ström och spänning mäts.

$$P = U \times I = U \times U/R$$



Frågeställningar

- Vilken solfångare kan ge mest användbar energi?
- Hur många kvadratmeter behöver familjen?
- Rekommenderar ni den mest effektiva solfångare eller finns det någon annan ni föredrar?
- Vilken aspekt är viktigast: effektivitet, konstruktion(utseende), material(miljö), kostnad?

Luftsolångare

Bakgrund

En luftsolångare använder solinstrålningen för att värma genomströmmande luft.

Utseendet av en luftsolångare varierar. Det finns kommersiella produkter men också många lyckade hemmabyggen.

Vill man bara värma ett utrymme så som garaget eller ett enstaka rum är det populärt att bygga en egen solångare. Många letar överblivet material som gamla fönster eller varför inte göra tuber av läskburkar för att leda luft. Dessa blir oftast billiga, både att bygga och att underhålla.

På KTH har man utvecklat ett system med glaspannor som kan användas som alternativ till annan takbeläggning. Under glaspannorna bildas en luftspalt som agerar solångare.

Den uppvärmda luften kan användas direkt för att värma upp ett utrymme eller värma upp vatten till annan användning med hjälp av en värmeväxlare. Om en värmeväxlare skall användas krävs hög temperatur på luften och därmed en stor solångare. Vanligtvis uppnås, trots hög lufttemperatur, endast en verkningsgrad kring 50% i värmeväxlaren.

Den luftsolångare som används under laborationen består av en genomskinlig täckskena i plast, och en isolerad trälåda som är målad svart på insidan. Trälådan är byggd så att luft strömmar genom hela lådan. Värme överförs från lådan till den genomströmmande luften. Luftflödet drivs av en fläkt.

Data

Den instrålade effekten per kvadratmeter är uppskriven på tavlan i laborationssalen.

Aperturarea är 1 m^2 .

Mätningar

- Luftens temperatur vid inlopp och utlopp till solångaren
- Diameter på inloppet till solångaren
- Vindhastigheten vid inloppet till luftsolångaren med hjälp av anemometern

Ekonomi och miljö

Denna panel kostar ungefär 2000 kr/m^2 . Det tillkommer drivpaket, installation och ackumulatortank om man vill lagra värme. Vill man lagra luftens värme i vatten får man ungefär halva effektiviteten, på grund av värmeväxlaren, jämfört med direktverkande luft men har då möjlighet att använda energin när den behövs.

Solångaren består till huvuddel av trä och plast men kan byggas på många olika sätt med annat material som till exempel glas istället för plast.

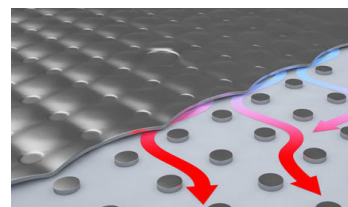


Plan solfångare



Bakgrund

Den plana solfångarens absorbatör består av två svarta plastplattor som delvis etsats samman så att det bildas ett mönster av celler sammanbundna av smala kanaler. Cellernas placering är sådan att den flödande värmebäraren ej kan följa en rät linje från absorbatorns inlopp till dess utlopp. Detta för att öka värmeöverföringen till värmebäraren. Absorbatören är placerad i en isolerad plastlåda med ett genomskinligt plastlock. De celler som gränsar mot absorbatorns kortsidor är sammanbundna av en större kanal vid respektive kortsida. Dessa har anslutningar i bägge ändar. Absorbatören har alltså fyra möjliga anslutningspunkter. För att flödet skall bli lika stort i hela panelen bör anslutningar i motstående hörn användas. I absorbatören flödar en värmebärare, vanligtvis en glykolblandning eller vatten beroende på den förväntade lägsta temperaturen. Värmebärarens flödeshastighet kan varieras beroende på den önskade sluttemperaturen. Dock bör nämnas att panelens effektivitet beror på temperaturskillnaden mellan den omgivande luften och värmebäraren då panelen ej är perfekt isolerad.



Data

Den instrålade effekten per kvadratmeter är uppskriven på tavlan i laborationssalen.

Aperturarea är $0,92 \text{ m}^2$.

Börja utföra mätningar när lamporna och cirkulationspumpen varit påslagna i minst 10 minuter.

Mätningar

- Vattnets temperatur in i solfångaren och ut ur solfångaren
- Vattnets flöde, alltså volym per tid

Ekonomi och miljö

Denna plana solfångare består mestadels av ABS-plast och återvunnen fiber (isoleringen).

Denna panel kostar ungefär 2000 kr/m^2 . Det tillkommer drivpaket, ackumulatortank och installation.

Polykristallina solceller

Bakgrund

En kiselcell består av en tunn skiva av ett halvledarmaterial med kontakter på fram- och baksidan. När solinstrålningen träffar solcellen skapas en elektrisk spänning mellan fram- och baksidan. Kopplar man in dessa i en krets får man ut en ström.¹

En kiselcell ger ca 0,5 V, vilket är för låg spänning för att vara praktiskt användbar. Därför seriekopplar man ett antal celler (30-36 st) i en modul för att de tillsammans ska komma upp i en lämplig spänning, t.ex. för att kunna användas till laddning av batterier eller anslutas till en växelriktare.

Kisel är ett halvledarmaterial som används i solceller. Kiselceller är den vanligaste typen av solceller på marknaden idag.² Kiselceller är antingen polykristallina eller monokristallina. Skillnaden är att monokristallina solceller tillverkas av en kristallstruktur medan polykristallina byggs upp av flera kiselkristaller. Polykristallina solceller är billigare eftersom de kan göras av flera olika kristaller som ofta blir över vid tillverkning av monokristallina solceller. Polykristallina solcellers uppbyggnad ger dem en något lägre verkningsgrad än monokristallina.

Data

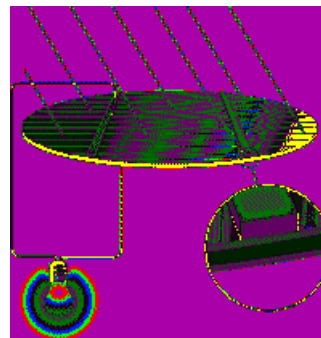
När lamporna är 50 cm från solcellerna motsvarar detta en solstrålning på ungefär 150 W/ m².

Solcellernas area är 0,45 m².

Ekonomi och miljö

Denna panel kostar ungefär 3000 kr/m². Det tillkommer styrelektronik, installation och batterier om man vill lagra el.³

Solcellerna består till huvuddel av silikon, glas och stål.



¹ <http://energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Vad-ar-energi/Energibarare/Fornybar-energi/Sol/Solceller/>

² <http://energimyndigheten.se/sv/Energifakta/Energikallor/Sol--/Fakta-om-solceller/>

³ <http://www.solarbuzz.com/Moduleprices.htm>

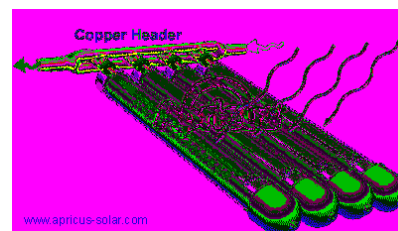
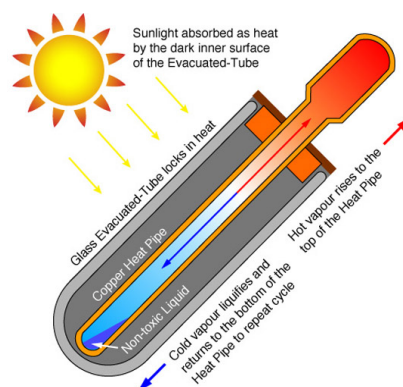


Vakuumsolfångare

Vakuumsolfångaren är absorberaren i denna typ av solfångare. Röret består av två koaxiala glascylindrar separerade av vakuum. Den yttre cylindern är genomskinlig och släpper igenom strålningen, den inre cylindern är täckt med ett svart skikt för att absorbera strålningen. Vakuum är en väldigt dålig värmeledare, det håller till exempel vätskor varma i vissa typer av termosar. Solfångarens genomskinliga rör släpper in strålningen men håller värmen kvar på grund av vakuumisoleringen.

Det inre röret är en så kallad *heat pipe* som växlar värme mellan vakuumsolfångaren och vätskan som värmer vattnet i en ackumulatortank. En *heat pipe* är ett slutet rör med en liten mängd vätska inuti. Trycket i röret är lågt, på det sättet får vätskan inuti röret en lägre kokpunkt än vid normaltryck. Kokpunkten för vätskan i denna *heat pipe* är från 30°C. När vätskan i det slutna röret kokar ökar det partiella ångtrycket och kokpunkten höjs. Beroende på den aktuella solinstrålningen och värmeöverföringen till värmebäraren kommer alltså kokpunkten för vätskan i *heat pipen* variera.

När vätskan förångas stiger gasen till den övre delen av röret där värmen överförs till en förbiströmmade vätska på väg till ackumulatortanken. När värme överförs kondenserar vätskan och rinner ner till botten av röret för att återigen värmas upp och förångas.



Data

Den instrålade effekten per kvadratmeter är uppskriven på tavlan i laborationssalen.

Aperturarea är 0,08 m².⁴

Börja utföra mätningar när lamporna och cirkulationspumpen varit påslagna i minst 30 minuter.

Mätningar

- Vattnets temperatur in i solfångaren och ut ur solfångaren
- Vattnets flöde, alltså volym per tid

Ekonomi och miljö

Solfångaren består till huvuddel av stål, glas, koppar och aluminium.

Vakuumsolfångarepaneler kostar i snitt 3500 kr/m². Det tillkommer drivpaket, ackumulatortank och installation.

⁴ http://www.apricus.com/html/solar_collector_technical_info.htm

Solpanellaboration - Tabeller

$$\text{Verkningsgrad} = \frac{\text{Uppmätt Effekt}}{\text{Infallande Effekt}} = \frac{P_u}{P_i}$$

Solcell

Spänning (V)	Ström (A)	Uppmätt effekt, P_u (W)

Solcell: $P_u = U \cdot I$

Plan Solf.: $P_u = C_p \cdot \Delta T \cdot m / \Delta t$

Vakuumsolf.: $P_u = C_p \cdot \Delta T \cdot m / \Delta t$

Luftsolfångare: $P_u = A \cdot v \cdot 0,7 \cdot \Delta T \cdot C_p$

Plan Solfångare

Värmekapacitet för vatten C_p : 4180 J/kg K

Tid, Δt (s)	Massa, m (kg)	Temp in (°C)	Temp ut (°C)	ΔT (°C)	Uppmätt effekt, P_u (W)

Vakuumsolfångare

Värmekapacitet för vatten C_p : 4180 J/kg K

Tid, Δt (s)	Massa, m (kg)	Temp in (°C)	Temp ut (°C)	ΔT (°C)	Uppmätt effekt, P_u (W)

Luftsolfångare

Värmekapacitet för luft $C_{p,l}$: 1006 J/kg K

Temp in (°C)	Temp ut (°C)	Insläppsradie	Vindhastighet, v (m/s)	ΔT (°C)	Insläppsarea, A (m ²)	Uppmätt effekt, P_u (W)

Produktblad solarimeter

In meteorology and climatology as well as in agriculture and horticulture, it is of great importance to observe the daily process of the intensity of the Total Radiation from sun and sky.

The Kipp Solarimeters, Albedometer and Actinometer in conjunction with our indicating instruments are excellently suited for this purpose and have a world wide reputation.

The Kipp solarimeters embody perfect sealing of the mounting by the use of "sealing" rings in rectangular grooves and the application of an elastic sealing compound for fixing the inner and outer glass dome.

solarimeter measurement of the Total Radiation of sun and sky



Solarimeter (model CM 5)

In the Kipp solarimeter a Moll thermopile is used. For protection against atmospheric influences this thermopile is mounted under glass domes.

Gorczyński has indicated that a solarimeter only satisfies the cosine law if accurately ground hemispheres with a diameter of 50 mm or more are used.

Therefore a glass hemisphere to this specification is used, with an effective transmission range of 300 nm to 2.5 μm .

In order to achieve perfect stability regardless of temperature changes of the outer dome a second glass hemisphere, also accurately ground, is incorporated within the outer dome.

This second hemisphere blocks the radiation exchange between the thermopile and the outer dome, whereby a marked increase in stability is achieved.

A white lacquered screen prevents the mounting from being heated by radiation. An easily removable drying cartridge is incorporated in the cylindrical housing in order to keep the air under the glass domes free from moisture. The base of the instrument is provided with a spirit level for placing the solarimeter exactly horizontally.

All solarimeters are individually calibrated. A calibration certificate stating both the calibration constant and the internal resistance is supplied with each instrument.

This calibration is effected according to International Pyrheliometer Scale 1956.

specification:

wavelength range 300 nm to 2.5 μm .

sensitivity approx. 115 mV per Wcm^{-2}

internal resistance approx. 10 ohms

accuracy within 1%

linearity better than 1% over the whole range. With increasing ambient temperature there is a small decrease in sensitivity of the solarimeter. The temperature coefficient is approx. 0.15% per degree centigrade as compared with the calibration temperature = 22° C.

response time: 99% of final deflection in 30 sec.

70% of final deflection in 3 sec.

See back-page of this leaflet for details on typical value of variation in sensitivity according to angles of inclination.

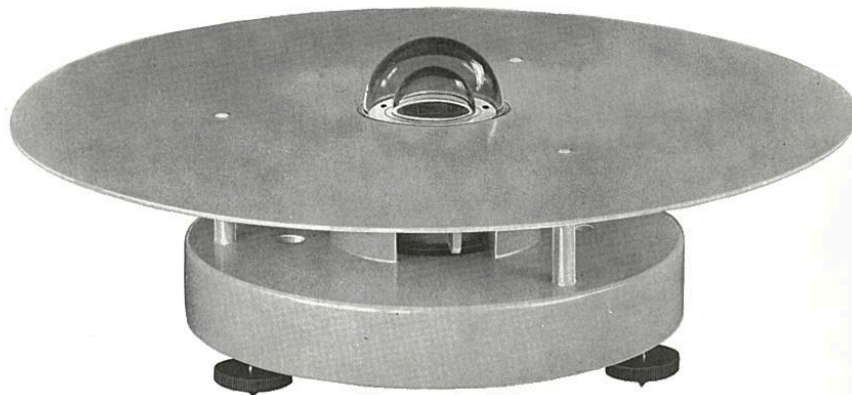
diameter screen 30 cms - height 11 cms -

weight 3.7 kg incl. base and screen

weight solarimeter only: 0.8 kg

Note: 1 $\text{Wcm}^{-2} \equiv 14.33 \text{ cal.cm}^{-2}\text{min}^{-1}$

1 $\text{Jcm}^{-2} \equiv 0.239 \text{ cal.cm}^{-2}$



Solarimeter (CM 5) with base and screen, model CM 6

6.2 Vindkraftslaboration

16 april 2014

Vindkraftslaboration - Besöksledar- handledning

Johan Stare, 2014



VETENSKAPENS HUS

AlbaNova universitetscentrum, 106 91 Stockholm
08 - 553 784 60, vh@vetenskapenshus.se, www.vetenskapenshus.se



Inledning

Laborationen går ut på att undersöka hur stor skillnad antalet blad och deras form gör för den energi en vindturbin kan fånga vid en viss vindhastighet. För att kunna svara på frågor från eleverna under laborationen kan det vara bra att veta lite om vindkraftverk. Det är svårt att rekommendera någon bra källa till information, eftersom risken finns att vad som är bra information när du läser detta har ändrats. Vindindustrin befinner sig i ständig utveckling. Sökning på *wind turbine* och/eller *wind power* i lämplig sökmotor bör ge en överblick. Ett filmat besök finns att se på: <http://youtu.be/OdgbqpbUADM>

Säkerhet - skyddsglasögon

Vingarnas tendens att lossna har i princip eliminerats i och med användandet av skruv som fästmekanism. Om en vinge trots detta skulle lossna kan den slungas flera meter med hög hastighet. Träffar den någons öga så kommer skador uppstå. ANVÄND DÄRFÖR ALLTID SKYDDSGLASÖGON vid experimenterandet. Detta gäller alla som vistas i laborationssalen.

Förberedelser

(Tidsåtgång 30-45 minuter)

- Fyra laborationsstationer är oftast lagom beroende på antal elever (2-4 elever per station).
- Utrustningen finns i labskåpen i Cleve.
- Ställ fläktarna så att de inte riktas mot någon annan laborationsstation, annars blir eleverna blåsta (på). Placera vindkraftverksmodell ca 20-30 cm framför fläkten.
- Varje station behöver också voltmeter, motstånd ($100\ \Omega$), 2 kontaktklämmor, 5 sladdar av varierande längd, 6 olika vingkonstellationer (2,3,4 vingar med vridna respektive raka vingar).
- Beroende på elevernas förväntade elkretskompetens kan en krets kopplas med vindkraftverk, motstånd och voltmeter.
- Starta powerpoint-presentationen på labsalens projektor.



Laborationens mål

- Skapa intresse för vindkraft och i förlängningen förnybar energi
- Skapa förståelse för att ett vindkraftverk är en komplex konstruktion
- Introducera vingarnas funktion och de överväganden som krävs för att välja form och antal.

Under besöket

Introduktion av laborationen

- Använd powerpointpresentationen som stöd under introduktionen om du vill. Det kan vara värdefullt att ha presentationen tillgänglig när du läser detta dokument.
- Presentera dig själv och besöket schema
- Diskutera historisk användning av vind. Några exempel finns i form av bilder i presentationen.
- Diskutera hur vind skapas
- Diskutera uttrycket för effekt i vinden och vad det innebär (kvadratisk beroende på diametern gör att en fördubblad diameter innebär att fyra gånger så stor area utnyttjas, kubiskt beroende på vindhastigheten gör att en fördubbling av vindhastigheten innebär åtta gånger så mycket effekt)
- Belys att vindhastigheten ökar med höjden från marken. I mån av tid kan du nämna att hur mycket vindhastigheten ökar beror på den omgivande terrängen. Detta gör att tornhöjden generellt är lägre för vindkraftverk till havs.
- Diskutera vad som driver vindkraftsutvecklingen framåt.
- Berätta om vindkraftverkets olika delar. Observera att man börjat använda även andra typer av generatorer som undviker växelådan som hittills varit den svagaste länken i konstruktionen. I dessa generatorer fästs navet direkt till generatorns rotor. Rotationshastigheten varierar och därmed även frekvensen på strömmen från generatorn. Strömmen måste sedan passera en AC-DC-AC konverterare för att anpassas till strömmen i nätet.
- Maskinhuset kan vridas så att vindkraftverket alltid har lämplig riktning mot vinden.
- Vingarnas vinklar kan i modernare vindkraftverk varieras så att maximal effekt för den givna vindhastigheten erhålls.
- Vindkraftverken har vuxit ordentligt sedan 80-talet.
- Miljöpåverkan och pris per kW har minskat.
- Berätta om 3D-skrivaren som använt för att skriva ut vingar, torn och nav om tid finns.



Vindkraftslaboration - Besöksledarhandledning

- Berätta hur eleverna gör för att testa vilken effekt en viss vingkonstellation ger.
- Frågeställningen diskuteras. Belys att det är viktigt att eleverna gör upp en plan för hur de skall genomföra sitt test och att varje grupp skall presentera sin strategi och slutsats på ca 2 minuter när undersökningen är genomförd.

Laboration

Eleverna delas in i maximalt fyra grupper, det bör vara två till fyra elever i varje grupp.

- Om det inte redan är gjort kopplar eleverna ihop kretsen med generator, motstånd ($100\ \Omega$), och voltmeter över motståndet.
- Vingkonstellationerna testas enligt elevernas strategi. Tanken är att eleverna skall finna den vingkonstellation som ger högst effekt. Detta görs genom att variera vinkeln mellan vingens spets och vindriktningen. Enklast är att börja nästan vinkelrätt och sedan ändra vinkeln i små steg genom att använda markeringarna på vindkraftverkets bas enligt bild i presentationen.
- Fläkten körs på maximal hastighet. När rotationshastigheten har stabiliserats, det tar en stund för vingarna att komma upp i hastighet, avläses voltmeter. Värdena används för att beräkna effekten enligt $P=UI$ och $U=RI$. Gör härledning för lämplig effektformel på tavlan om det efterfrågas av eleverna. Det går också bra att undersöka vilken vingkonstellation som ger maximal spänning eftersom motståndet är konstant. Det kan man nämna under eller efter elevernas presentationer. Kul att se hur många som faktiskt undersöker effekten istället för spänningen och om de som använder spänning istället motiverar det valet under presentationen.

Presentationer och diskussion

Låt eleverna presentera sina strategier och resultat.

Väntade resultat är att de vridna vingarna ger nästan dubbelt så hög effekt jämfört med de raka vingarna. En stor ökning (60%-80%) i effekt observeras vid byte från två till tre vingar. Ytterligare en liten ökning (0-20%) observeras vid byte från tre till fyra vingar.

Det kan motiveras att bytet till fyra vingar, för ett stort vindkraftverk, inte är ekonomiskt på grund av vingarnas kostnad och att övrig konstruktion behöver göras mer tålig. Detta för att klara de cykliska belastningarna som uppstår då den översta vingen upplever en högre vindhastighet än den lägre. Dessutom passerar den lägre vingen en "vindskugga" framför tornet. Problemet med cykliska belastningar är störst när två vingar används men även med fyra vingar och högre jämna antal behöver belastningarna beaktas.



Vindkraftslaboration

Besöksledare: Johan Stare



VETENSKAPENS HUS



Vad händer under de närmaste 90 minuterna?

Information om vindkraft

- Historisk användning
- Vad är vind?
- Dagens vindkraftverk
 - Komponenter
 - Storlek
 - Effekt
- Laboration - skyddsglasögon på!



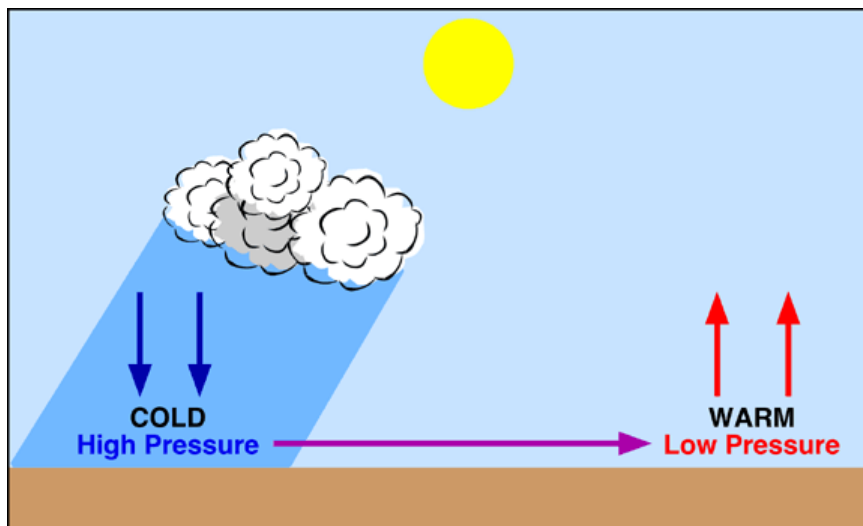
VETENSKAPENS HUS



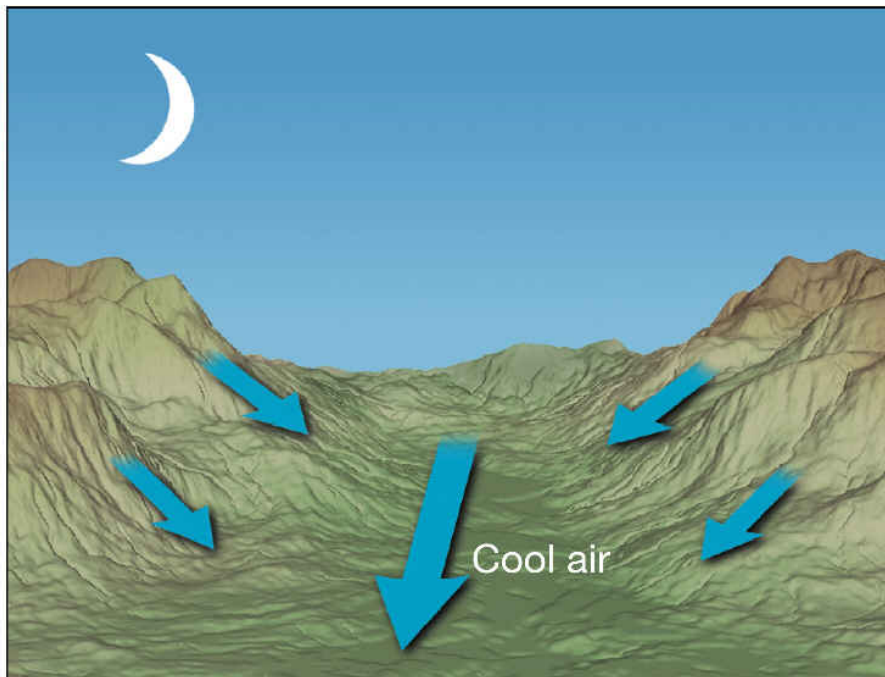
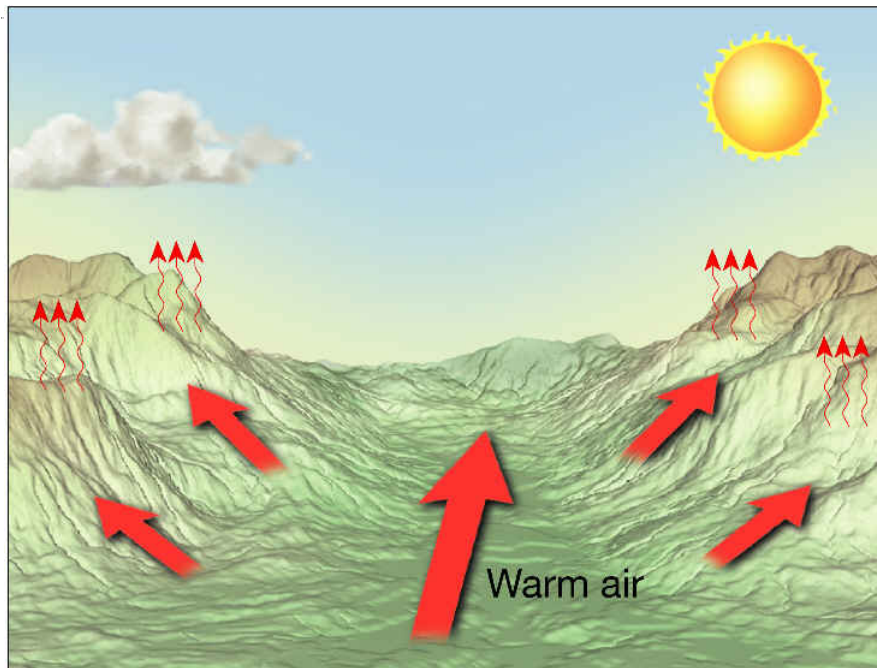
Historisk användning av vind



Vind skapas av ojämn uppvärmning



Vindkraftslaboration - Presentation



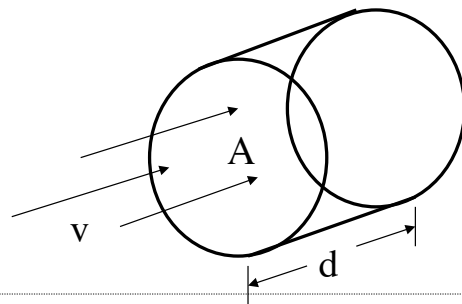
Rörelseenergi i vind

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad m = \rho A d \quad d = v \Delta t$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{(\rho A d)v^2}{2} = \frac{\rho A (v \Delta t) v^2}{2} = \frac{\rho A \Delta t v^3}{2}$$

Effekt i vind

$$P = \frac{E_k}{\Delta t} = \frac{\frac{\rho A \Delta t v^3}{2}}{\Delta t} = \frac{\rho A}{2} v^3$$



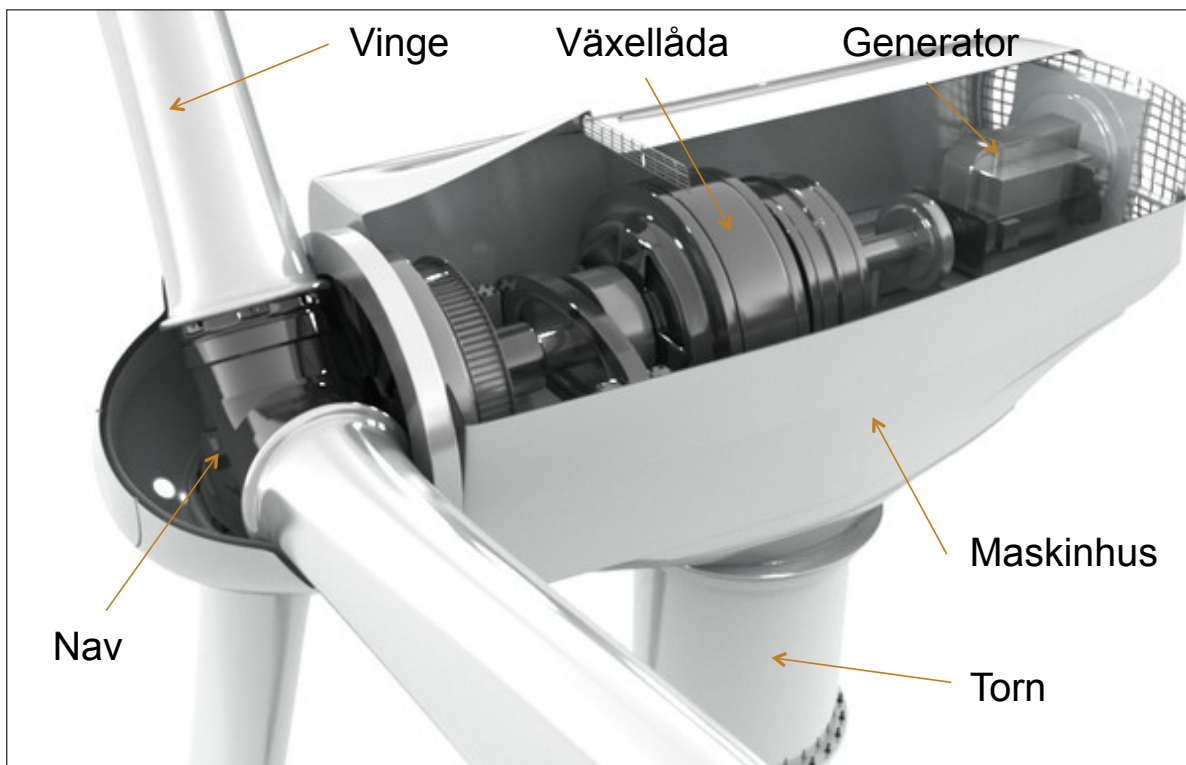
Vindhastighet och höjd

Högre höjd
medför jämnare
och starkare vind

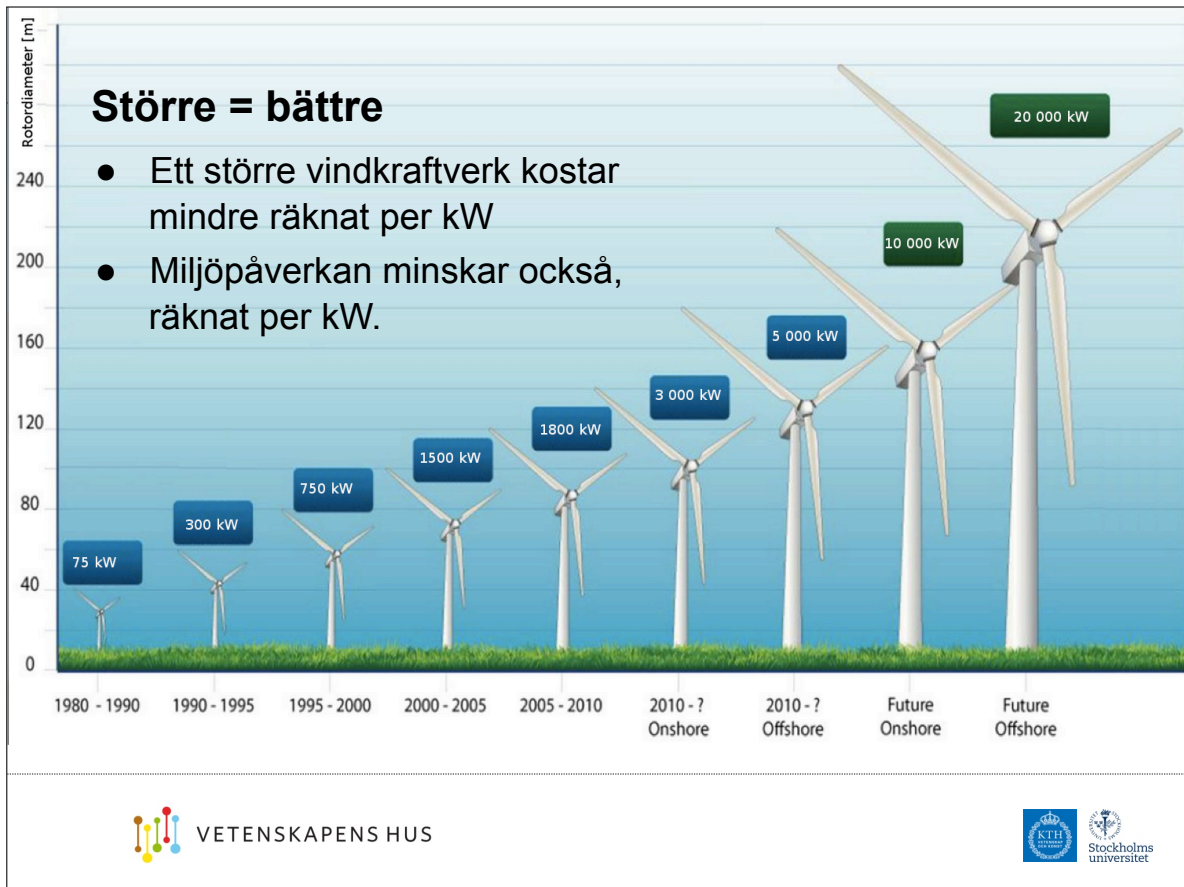


Vad driver vindkraftsutvecklingen framåt?

- Växthuseffekten
- Högre bränslepriser
- Lägre kostnad för vindkraft
- Förnybar energikälla
- “Bränslet” är gratis
- Konsumentefterfrågan



Vindkraftslaboration - Presentation



Hur fungerar en vinge på ett vindkraftverk?

- Den kraft vinden utövar på vingen håller den i rörelse.
- Vid en viss vridningsvinkel av vingen ger vindkraftverket maximal effekt.

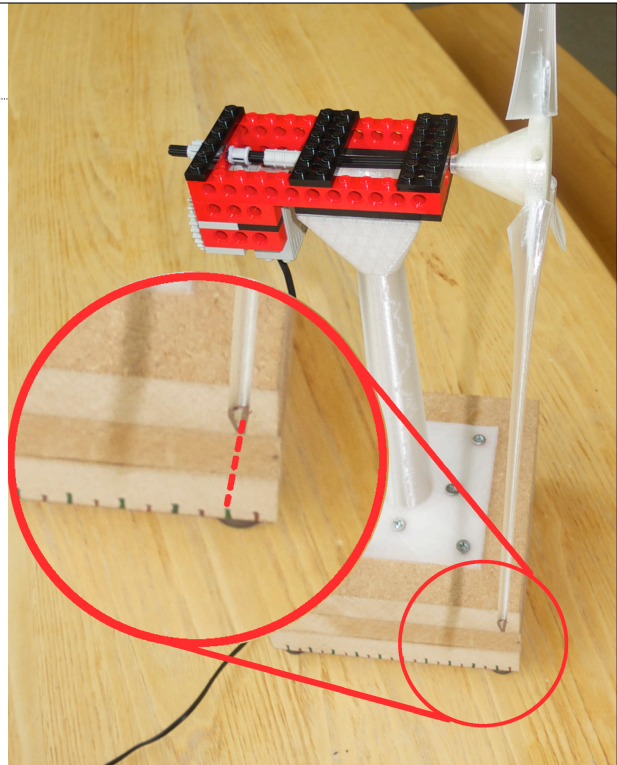
Vindriktning

VETENSKAPENS HUS

KTH Stockholms universitet

Dags att laborera – skyddsglasögon på!

- Vilka vingar skulle ni använda till ert vindkraftverk?
- Förbered en 2 minuters presentation per grupp.
- Motståndet är $100\ \Omega$



Till stora vindkraftverk används oftast 3 vingar

- Belastning på maskinhus och torn större vid användning av jämnt antal vingar
- Marginellt mer effekt med fyra vingar, jämfört med tre vingar
- Vingar dyra och tunga