

TEKST NR 10

1979

JAN CHRISTENSEN

JEANNE MORTENSEN

TERMODYNAMIK

I

GYMNASIET

Projekt rapport

Vejledere:

Karin Beyer

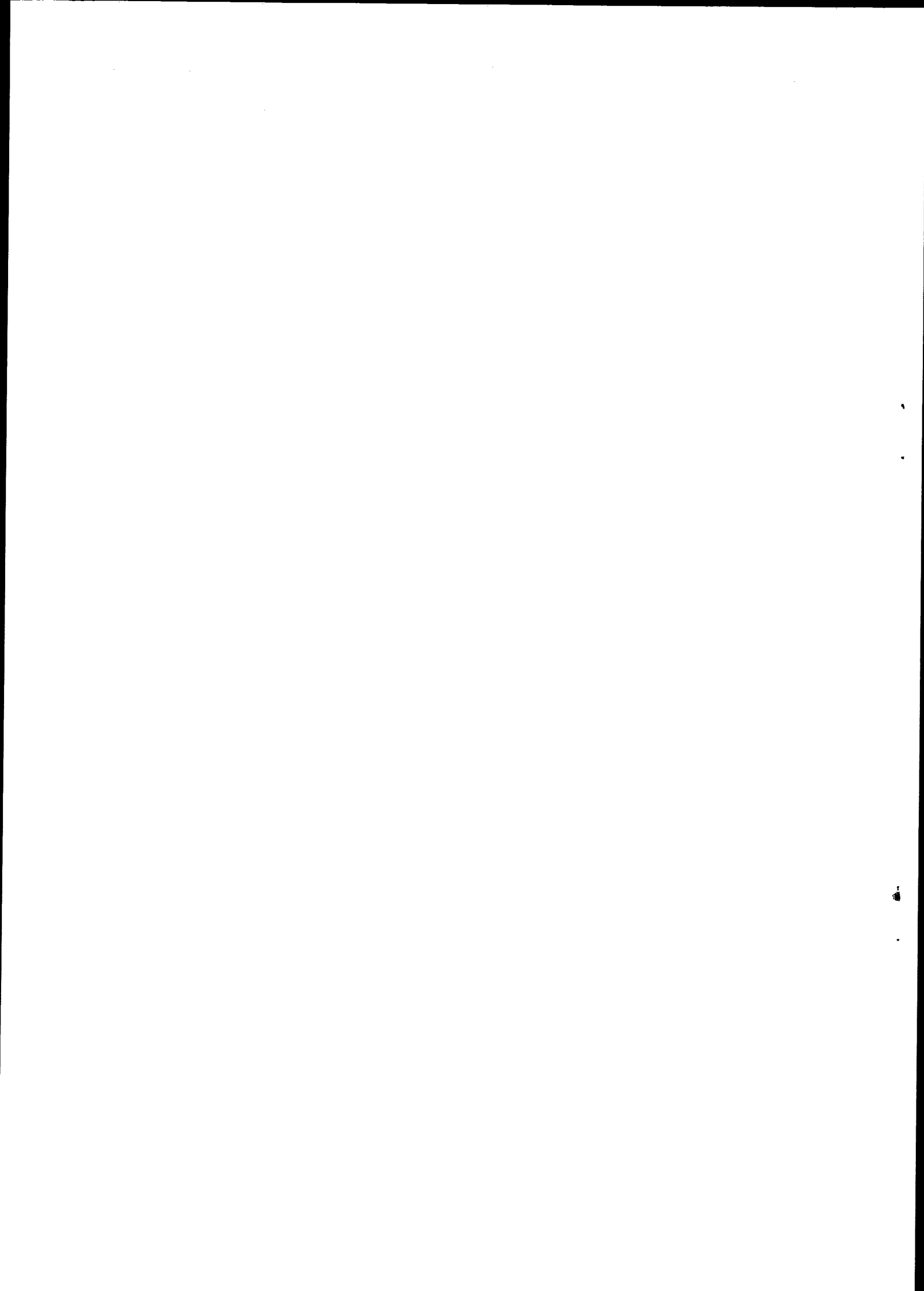
Peder Voetmann Christiansen

TEKSTER

fra

IMFUFA

ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER
INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES
FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER



Rettelser til IMFUFA-tekst nr. 10: Termodynamik i gymnasiet (JC, JM)

side 19: Under formlen tilføjes: Exergien er så energiforskellen mellem P og P_u .

side 20: linje 2 f.n.: "exergi" rettes til energi.

side 24: Angående eb-teknikken henvises til Appendix I (side 50).

side 25: signaltegnene i båndet med den indsatte transducer ombyttes.

side 26: linje 12 f.n.: "mek/pot" rettes til kin/pot.

side 35 midt på siden: "E = 19229 J/mol eller E = 4.6 kcal/mol" rettes til E = 14387 J/mol eller E = 3.4 kcal/mol.

side 36: linje 5 f.o. "4.6" rettes til 3.4
linje 8 f.o. "2.4" rettes til 1.8
midt på siden: "på kun ca. 1.1 kcal/l" rettes til på kun ca. 1.180 kcal/l.

side 37: udtrykket for E_{irr} rettes, så der kommer til at stå:

$$E_{irr} = \int_{V_0}^{V_0(-1 + P_s/P_r)} (P_r V / V_0) dV = \frac{1}{2} P_r V_0 \left(\frac{P_s}{P_r} - 1 \right)^2$$
$$= \frac{1}{2} P_s V_0 \cdot \frac{P_s}{P_r} \cdot \left(1 - \frac{P_r}{P_s} \right)^2 = \frac{1}{2} RT_r \cdot \frac{P_s}{P_r} \cdot \left(1 - \frac{P_r}{P_s} \right)^2, \text{ idet } P_s V_0 =$$

RT_r når 1 mol komprimeres.

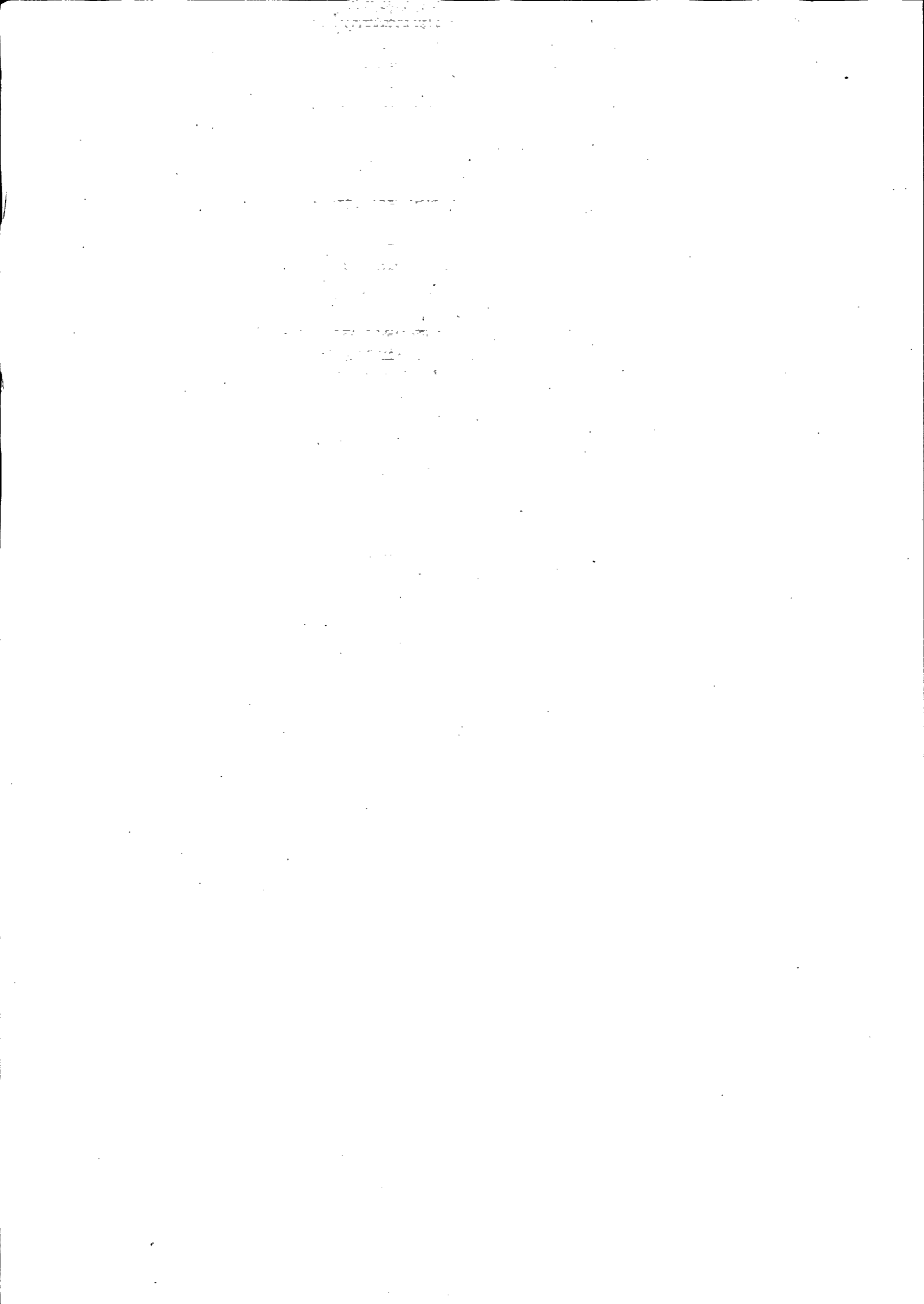
$$E_{irr} \approx \frac{1}{2} RT_r \cdot \frac{P_s}{P_r}$$

side 38: nederst skal der stå: $E_{irr} = \frac{1}{2} RT_r \cdot \left(\frac{P_s}{P_r} - 1 \right)^2 \cdot \frac{P_r}{P_s} =$

$$\frac{1}{2} RT_r \cdot \left(1 - \frac{P_r}{P_s} \right)^2 \cdot \frac{P_s}{P_r} \quad \frac{E_{irr}}{E_{rev}} = \frac{P_s}{P_r}$$

side 40: linje 9 f.o.: "udgjorde ca. 2.4%" rettes til udgjorde ca. 1.8%.

side 43: linje 9 f.n.: efter "IFIAS" tilføjes 9



FORORD.

=====

Denne projektrapport er udfærdiget til eksamen januar 1979 ved centrets fysiklæreruddannelse. Projektet opfylder sammen med kurserne: generel dynamik og termodynamik, kravene til gymnasielæreruddannelsens dybdemodul i faget fysik.

Rapporten har gymnasielærere i fysik og fysiklærerstuderende som målgruppe og forudsætter et grundlæggende kendskab til den klassiske termodynamik.

INDHOLDSFORTEGNELSE

0. Indledning

0.1	Procesbeskrivelse	side 1
0.2	Udviklingsmodellen	4
0.3	Erkendelsesspiralen	5

1. Vort sigte med undervisningen

1.1	Overordnede holdningsmål	7
1.2	Kompetenceideal	9
1.3	Undervisningens indhold	12

2. Skitse af teoretisk baggrundsviden

2.1	Introduktion	16
2.2	Energibegrebet	17
2.3	Anvendelse af energibåndsteknik - et eksempel	23
2.4	Effektivitet	27

3. Anvendelse af termodynamik samt undervisningseksempler

3.1	Transporteksempel	30
3.2	Biogaseksempel	32
3.3	IFIAS og energianalyser	41

4. Overvejelser over undervisningens metode og organisation

4.1	De overordnede holdningsmål	45
4.2	Fysificering	47
4.3	Fysikens rolle i samfundet	48
4.4	Fysik som videnskabsfag	49

Appendix 1

	Energibandsformalismen	50
--	------------------------	----

Appendix 2

	Udregning til biogaseksemplet	51
--	-------------------------------	----

0. INDLEDNING

=====

0.1 Procesbeskrivelse.

Når man som studerende efter endt basisuddannelse begynder på gymnasielæreruddannelsen - og i vores tilfælde fysik- og matematiklæreruddannelsen - begynder man naturligt at overveje, hvilken rolle, man selv kommer til at spille i en undervisnings-situation samt hvilken funktion, man gerne vil have eller måske bliver tvunget til at have.

Vi er begge student fra et studenterkursus - Statens Studenterkursus og Ahms Studenterkursus - så det "rigtige" gymnasieliv kender vi ikke af egen erfaring. Alligevel vil vi tillade os at påstå, at mange ting er fælles, hvad vi dog også til dels er blevet bekræftet i ved vore besøg på to gymnasier.

Når vi så tænker tilbage til vores kursustid, er der mange spørgsmål, der trænger sig på: Kunne man ikke lære noget andet eller noget mere på den samme tid? Kunne man ikke få mere ud af den erhvervede viden? Hvorfor har undervisningen så lidt med virkeligheden at gøre? Skal man overhovedet lære matematik og fysik? I givet fald, hvor meget og hvilken slags matematik og fysik? Hvordan lærer man at arbejde videnskabeligt og hvad vil det sige? Gøres det bedre andre steder, så erfaring herfra kunne udnyttes?

Disse og mange andre lignende spørgsmål stillede vi os selv i starten af sidste semester - vores første på overbygningen - for at forsøge at nærme os et problem, som vi kunne beskæftige os med. Da vi var klar over, at vi ikke kunne gå til bunds i alle disse spørgsmål, og da vi endnu ikke var parat til at formulere et problem eller en idé til projekt, besluttede vi at informere os lidt rundt omkring. Vi beskæftigede os en del med begrebet videnskabelighed til dels inspireret af Thomas Söderquist's seminar om dette emne, vi havde nogle videnskabsteoretiske diskussioner, og vi beskæftigede os lidt med forholdet model/virkelighed i samtaler med Karin Beyer og Anders Madsen.

Fra starten var det meningen, at vi ville beskæftige os med DDR's polytekniske enhedsskole. Både fordi vi dels har hørt

godt om resultaterne af undervisningen i DDR og dels har besøgt et par skoler (og børnehaver) i DDR og talt med et par af eleverne, og derved fået lyst til at vide mere om den polytekniske dannelse. Og fordi vi håbede tydeligt at kunne se, hvordan de to forskellige samfundssystemer afspejler sig i undervisningen - indholdsmæssigt og ideologisk.

Selve idéen med at åbne skolerne ud mod det omgivende samfund, som det sker i DDR, hvor eleverne dels jævnligt er beskæftiget i produktionen, og dels på andre måder bliver forberedt til livet uden for skolen, virkede umiddelbart meget tiltalende og helt i overensstemmelse med vores svagt formulerede intentioner.

Men hvor godt lykkes det i DDR, og kan vi bruge nogle af deres erfaringer? Foreløbig har vi ikke kunnet besvare disse spørgsmål. I gruppen er det kun blevet til et mundtligt oplæg om den historiske baggrund for og strukturen af DDR's uddannelsessystem.

Samtidig med den brede orientering i valgte emneområder (matematik- og fysikundervisning i gymnasium og HF) og med at vi beskæftigede os med DDR, besøgte vi to gymnasier - Nørre Gymnasium og Herlev Statsskole. På disse skoler overværede vi undervisning i både fysik og matematik, og vi talte med nogle af lærerne om fagintegration, om problemorientering og om praktiske problemer, der spiller ind på undervisningen.

Vi erfarede ved disse samtaler, at der ville være mange begrænsninger for "utraditionel" undervisning, men vi synes selvfølgelig stadig, at det er vigtigt for en kommende gymnasie-lærer at stille sig måske utopiske mål, som så stadig må tages til overvejelse og revideres efter nye erfaringer og indhøstet viden.

I den indledende fase har vi som sagt orienteret os bredt om en række emner, som vi finder relevante for kommende matematik-fysiklærere. Det skal dog lige nævnes, at vi har gjort meget lidt ud af udviklingspsykologi og herunder teorier for indlæring.

I midten af dette semester - efterår '78 - fremlagde vi ved et seminar en slags midtvejsrapport, hvor vi præsenterede vore hidtidige diskussioner med de konklusioner vi på dette tidspunkt var nået frem til. Midtvejsrapporten indeholdt foruden en procesbeskrivelse en diskussion, der ledte frem til bestemmelsen af et kompetenceideal for vores undervisning i matematik og fysik. Vi havde på en række punkter sammenstillet matematik og fysik, hvad der selvfølgelig medførte en del kritik fra husets lærere. Denne kritik, som vi til dels var forberedt på, vil vi ikke komme nærmere ind på her, da vi i vort senere arbejde i dette semester udelukkende har beskæftiget os med fysik og nærmere betegnet termodynamik og generel dynamik.

I midtvejsrapporten forsøgte vi også at definere, hvad vi kaldte et vulgær-pragmatisk program for indholdet af fysikundervisningen i gymnasium og HF, eller som vi også kaldte det et rindalistisk program, hvilket skulle være et minimumskrav for, hvad fysikundervisningen nødvendigvis måtte indeholde for at udstyre eleverne med de nødvendige færdigheder til at kunne klare sig i dagligdagen. I forvejen havde vi overtaget et tilsvarende for matematikundervisningen i folkeskolen fra Jens Høyrup (1). Vores intentioner var, at udbygge disse programmer til ønskelige indhold i undervisningen, når vores kompetenceideal skulle opfyldes.

Selvfølgelig fandt vi ud af, at man ikke på denne måde kunne "starte nedefra" og definere sig frem til et indhold, samtidig med, at det heller ikke helt lykkedes os at finde ud af, hvad man egentlig behøvede af fysisk viden for at kunne begå sig. Det var straks noget andet med matematikken og regningen, hvor man med det samme kan sige, at man f. eks. skal kunne lidt simpel talregning.

I stedet for vendte vi så at sige problemstillingen om og spurgte os selv, hvad det egentlig var ved termodynamikken, som havde gjort, at vi specielt havde vores interesse her og at vi synes det skulle undervises i det. Vores overvejelser i denne retning vil fremgå af denne rapport, hvor vi også beskæftiger os med energibåndsteknik som et egnet redskab til at få overblik over fysikken.

Det skal på dette sted bemærkes, at vi ikke har taget smålige hensyn til faktorer som gymnasiets organisation, pensumkrav, elevernes forudsætninger o. lign., så for en gymnasielærer vil det hele måske forekomme som utopisk tankespind, men vi mener faktisk godt, at vore overordnede mål kan indpasses i undervisningen. Under alle omstændigheder vil det være problemstillinger, vi vil blive stillet over for i vores videre uddannelse, så vi føler, at vi kan tillade os denne luksus på dette tidspunkt.

Til sidst i dette afsnit vil vi kort omtale nogle elementer fra en bog om pædagogisk udviklingsarbejde redigeret af Jens Bjerg (2), som har haft væsentlig indflydelse på den første del af vores arbejde - bestemmelsen af kompetenceidealet og den brede orientering i emnet - og dermed også lidt mere indirekte indflydelse på det videre arbejde. Det drejer sig dels om en udviklingsmodel for den menneskelige erkendelse og dels en erkendelsesspiral.

0.2 Udviklingsmodellen.

Denne model beskrives i "Pædagogisk udviklingsarbejde" på følgende måde:

"... et menneske (kan) under sin udvikling i en given sammenhæng befinde sig på et af de to planer: det assimilative og det akkomodative.

På det assimilative plan foregår de assimilative processer: man er optaget af at omforme og omdanne omverden - i overensstemmelse med sine mål - til kendte situationer, hvor ens kunnen og viden slår til.

På det akkomodative plan analyserer man sin viden og sine færdigheder og frigør delhandlinger (operationer) og videnselementer af deres sammenhæng, således at ny sammenhæng (kombinationer og synteser) kan fremtræde.

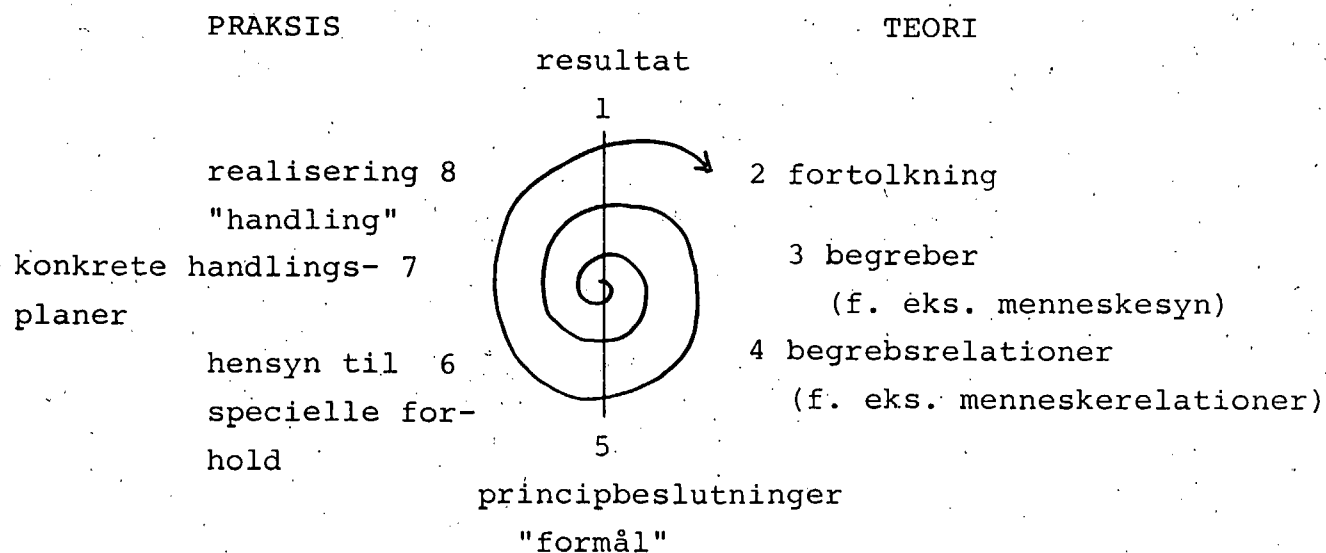
Man vil komme fra det assimilative plan til det akkomodative gennem "kritiske situationer", hvor ens parate viden ikke slår til. Og gennem indsigt i nye kombinationsmuligheder i "integreerede situationer" bringes man tilbage til det assimilative plan."

Ud fra vore egne erfaringer, der som nævnt ikke omfatter dyberegående indsigt i udviklingspsykologi og indlæringssteori, finder vi denne udviklingsmodel tillidsvækkende. Modellen peger på, at indlæringsmetoden skal muliggøre flere forskellige faser, og at indlæring derfor ikke er et spørgsmål om enten eller men om både og.

Modellen peger desuden på, at arbejdsmetoden skal muliggøre "kritiske situationer", som aktiverer det intellektuelle beredskab.

0.3 Erkendelses-spiralen.

I "Pædagogisk udviklingsarbejde" (2) lanceres ligeledes en model, erkendelses-spiralen, der generaliserer de ovennævnte faser og kritiske situationer fra at gælde indlæring til at gælde menneskelig erkendelse i det hele taget (f. eks. incl. forskning). Denne erkendelses-spiral beskrives i bogen på følgende måde:



Figuren skal forstås således, "at viden om verden for det enkelte menneske og for menneskeheden opnås ved bestandig cirkulation "højre om" igennem de nævnte faser. Vore handlinger (8) får et resultat (1), der fortolkes (2) til begreber om det, vi handlede med eller mod (3). Disse begreber må ses i relation til den del af verden (samfundet) som de fremtræder i (4), for at vi kan få formodninger om, hvad der tjener f. eks. menneskets funktion, hvad der tilslører indblik i dets "sande" natur, i hvilket omfang det er påvirkeligt o.s.v. Denne viden underordnes menneskers bestræbelser på, ud fra de sociale og materielle vilkår at sikre deres eksistens og skaffe deres fornødenheder, d.v.s. anvendes med et formål (5), der under altid specielle omstændigheder (6) omsættes til handling (7 - 8) med et forventet resultat (1).

Disse faser er alle nødvendige i den forstand, at hver enkelt fase har sin forudsætning i den foregående og sin betydning for den følgende. Brydes faserækkefølgen, bliver erkendelsesprocessen selvbekræftende ("cirkulær"), hvorved muligheden for at bruge erfaringer forsvinder og resultatet er stagnation. (....)

Noget afgørende for om gennemløbet af de nævnte faser fører til andet end en bekræftelse på, hvad man ved i forvejen, er den måde, hvorpå man forholder sig til de "afvigende resultater". Betragtes de som en udfordring, som noget der skal fortolkes til udvidede forestillinger eller begreber om ting og mennesker, eller betragtes de som fejl som følge af mangelfuld planlægning, hvis grundlag iøvrigt er ubetvivleligt" (2 - side 42)

Vores overordnede mål for elevernes deltagelse i undervisningen er, at få deres erkendelse til at forløbe i "spiralbaner". Erkendelses-spiralen har desuden været et ideal for vort eget arbejde med undervisningsproblemer.

I. VORT SIGTE MED UNDERVISNINGEN

I.1 Overordnede holdningsmål.

Det er en kendt sag, at skolen - og senere gymnasiet - har en opdragende funktion. Her spiller forskellige faktorer ind, såsom skolens eller uddannelsesinstitutionens organisation, hvad der undervises i og hvad der ikke undervises i, hvad fagene indeholder og hvordan de er vægtet, hvordan undervisningen er tilrettelagt og hvordan læreren fremtræder i undervisningssituationen.

Som kommende gymnasielærere har vi naturligt overvejet, hvilken rolle, vi selv ønsker at indtage og først og fremmest, hvilken holdning vi helt overordnet ønsker at indgive eleverne gennem vores undervisning.

Udgangspunktet for vore overvejelser er ønsket om, at skolens - og gymnasiets - opdragende funktion må være, at skabe mennesker, der på baggrund af den størst mulige viden er i stand til at præge vort samfund i en virkelig demokratisk retning. Nemlig derhen, hvor menneskene har den optimale indflydelse på deres dagligdag.

Det er klart, at begreber som "den størst mulige viden" og "den optimale indflydelse" er svære at definere præcist, men vi har som et fingerpeg i retning af, hvad vi mener, forsøgt at opstille et ideal for de holdninger og den kompetence, som vi ønsker, at eleverne skal opnå gennem undervisningen.

En stor del af undervisningstiden er opmærksomheden centreret omkring læreren på den måde, at han eller hun gennemgår stof, stiller spørgsmål eller på anden måde styrer indlæringsprocessen. En konsekvens af dette trækker en gruppe pædagoger frem i "Den skjulte læreplan i nogle danske skoleklasser" (3), hvor de siger, at centreringen omkring læreren kræver, at eleven skal holde opmærksomheden rettet mod læreren og mod faglige aktiviteter der ikke altid er i overensstemmelse med elevens eget behov eller egne erfaringer. Dette mener de - og vi - fremmer en autoritær arbejdsform og tankegang.

Da arbejdet samtidig er noget man i høj grad gør for at opnå lærerens accept eller gode karakterer og ikke for at opnå større erkendelse, medfører det at eleven får et instrumentelt forhold til arbejdet.

Som overordnet mål for opdragelsen og uddannelsen i gymnasiet vil vi altså:

- 1) at eleverne ikke skal få et instrumentelt forhold til arbejdet eller den faglige aktivitet, men at de skal lære at indse, at det faglige arbejde er værdifuldt, fordi det giver øget erkendelse og forståelse af virkeligheden, samt
- 2) at eleverne ikke skal tilpasses en autoritær arbejdsform og tankegang, men at de skal lære at tænke og handle både antiautoritært og kollektivt.

At vi overhovedet mener, at der skal undervises i fysik i gymnasiet, hænger ikke kun sammen med egoistiske hensyn til vores fremtidige beskæftigelse, men er begrundet i, at vi faktisk mener, at en fysisk forståelse er nyttig, når det drejer sig om at forstå virkeligheden.

Jens Højgaard Jensen formulerer det som følger (4):

"1) Fysik tjener som eksempel på, at det er muligt for den enkelte at tage stilling til sandt kontra falsk, og at virkeligheden styres af erkendbare lovmæssigheder, der gør en beherskelse af forholdet til virkeligheden mulig i modsætning til en direkte underkastelse."

"2) Indsigt i fysik forbedrer mulighederne for at danne sig overblik over tendenser og problemer i den i stigende grad videnskabeliggjorte teknologi- og samfundsudvikling."

Desuden, da gymnasiet jo danner grundlag for videre studier, er en vis fysisk viden gavnlig eller måske ligefrem påkrævet. Vi vil altså ikke her gå videre i diskussionen om nødvendigheden af, at der undervises i fysik, men straks gå videre til at bestemme et kompetenceideal for fysikundervisningen i gymnasiet.

I.2 Kompetenceideal.

Bestemmelsen af kompetenceidealet sker ud fra en afstandtagen til en række forhold ved undervisningen, enten som vi selv har oplevet den eller som vi mener - mere eller mindre velbegrundet - at den fungerer. Vore egne formodninger har vi dog søgt bekræftet ved læsning af forskellig litteratur om emnet. Som det fremgår, bygger den negative bestemmelse af kompetenceidealet altså ikke på en analyse af de faktiske forhold, men er rent subjektivt begrundet.

På baggrund af den negative bestemmelse formulerer vi derefter en positiv bestemmelse, som rækker ud over blot at negere den negative.

I nogle RUC-rapporter (5, 6, 7) og i en artikel, som er bygget over disse og skrevet af Claus Poulsen (8) påvises med eksempler fra lærebøgerne i fysik, at lærebøgernes indhold gennem tiden er blevet ændret fra at beskrive fysiske fænomener i hverdagen til at satse på overordnede begreber og teoribygninger. Dette bevirker, at det i høj grad er op til læreren at anskueliggøre teoriene. Foruden tidligere nævnte negative konsekvens har denne lærercentrering også som følge, at eleverne ikke i tilstrækkelig grad lærer at foretage abstraktions- og analyseprocesser på egen hånd, hvilket vi mener er nødvendigt for at kunne gennemskue eller øve indflydelse på beslutninger, der bygger på faglig - og her tænker vi på fysisk - viden.

Da fysikken, som vi tidligere har nævnt, spiller en central rolle i den stigende grad af videnskabeliggørelse af teknologien, må det være et demokratisk krav til undervisningen, at den skal sætte eleverne i stand til at overskue fagets placering og funktion i samfundet ud over, at den selvfølgelig skal give et kendskab til fagets teoribygninger.

Vi har ladet os inspirere af Jens Høyrup (1) til at formulere nedenstående fysificeringsproces, som vi kalder det:

trin 1: formulering af problem og formål, samt præcisering af disse.

trin 2: afgrænsning af elementer, der har relevans i forhold til problemløsningens formål, samt valg af de væsentlige elementer, der ønskes medtaget til problemets løsning.

trin 3: afgrænsning af relevante relationer mellem de medtagne elementer, samt valg af væsentlige og tilstrækkelige relationer.

trin 4: oversættelse af elementer og relationer til matematisk sprog med angivelse af korrespondanceregler.

trin 5: manipulation med de matematiske udtryk.

trin 6: oversættelse af matematisk sprog til dagligdags sprog via brug af korrespondanceregler.

trin 7: afprøvning af det fremkomne udsagn på det problem, der var udgangspunkt for proceduren.

Processen tænkes at løbe i ring, således at man efter trin 7 eventuelt opstiller en ny tese for sit problem og processen starter forfra.

En fortrolighed med alle trinene i denne fysificeringsproces mener vi vil være nødvendig for eleverne for at være i stand til at se, hvordan fysik bruges i samfundet og selv at kunne tage stilling til fysiske problemer, udover at det også må være en nødvendig færdighed i et videre studium.

Selve organiseringen af uddannelsen med opdeling i fag og inddeling i timer bevirker, at eleverne forhindres i at få en sammenhængende opfattelse af den verden, de lever i. Ydermere foregår de faglige aktiviteter, der har med samfundet uden for gymnasiet at gøre som regel helt teoretisk, uden at eleverne opnår konkrete erfaringer fra dette samfund. Da gymnasiet er baseret på, at eleverne skal studere videre, opnår man på denne måde, at få uddannet folk til højt kvalificerede stillinger som faktisk ikke ved ret meget om, hvad der foregår i samfundet.

Vi vil nu anføre det kompetenceideal, vi er nået frem til for fysikundervisningen i gymnasiet:

negativ bestemmelse:

1) eleverne skal ikke lære magtesløshed over for abstraktions- og analyseprocesser.

2) eleverne skal ikke forhindres i at få en sammenhængende opfattelse af den verden, de lever i.

positiv bestemmelse:

1) eleverne skal lære at fysificere på egen hånd, samt lære at følge en sådan proces, foretaget af en anden part. De skal endvidere lære at foretage fysiske beskrivelser af samfundet og samfundsmæssige sammenhænge.

2) eleverne skal gennem egne observationer i praksis og indføring i nødvendige teoretiske redskaber lære, hvordan fysiks rolle er i samfundet og hvilken funktion den har.

De skal endvidere have kendskab til:

a) fysiks interne struktur og historiske udviklingsproces set i relation til samfundsudviklingen, og

b) fysiks forhold til virkeligheden set i relation til andre videnskabsfag som f. eks. biologi, geografi og samfundsvidenskab, samt

c) hvad videnskabelig erkendelse er til forskel fra dagligdags erkendelse og ideologi.

Nogle af elementerne i den positive bestemmelse er ret indlysende, mens andre måske kræver lidt kommentarer. Vi skriver bl. a. at eleverne skal have kendskab til fysiks interne struktur og historiske udviklingsproces. Det hænger dels sammen med vort overordnede holdningsmål, om ikke at have en autoritær holdning,

og det vil i denne forbindelse sige til faget, og dels sammen med fysikkens stadig større rolle i samfundet. Det må være en opgave for fysikundervisningen også at beskæftige sig med, hvorfor fysik har denne øgede betydning, og en belysning af dette forhold vil dels kræve belysning af fysikkens historiske udvikling sat i relation til samfundsudviklingen og dels en belysning af fysikkens interne struktur og dens forhold til virkeligheden.

I.3 Undervisningens indhold.

Det er klart, at vi ikke uden videre ud fra denne negative og positive bestemmelse kan deducere os frem til indholdet i fysikundervisningen, men det er lige så klart, at kompetenceidealet vil have stor betydning for udvælgelsen og behandlingen af et indhold.

Opfyldelsen af kompetenceidealet mener vi i høj grad er afhængig af den måde, man som lærer behandler emnerne inden for fysikken på. Generelt mener vi, at vores ideal kan opfyldes inden for alle teoribygninger i fysikken, men nogle vil dog være mere oplagte end andre.

Vi vil ikke her begynde at vurdere det nuværende indhold i gymnasiets fysikundervisning eller give bud på, hvad der skal undervises i og hvad der skal udelades, ud over at vi vil begrunde, hvorfor vi mener, at termodynamikken og energetikken i sig selv har nogle egenskaber og udtaler sig om problemer, der er essentielle når det drejer sig om at opfylde vores kompetenceideal.

Termodynamikken udtaler sig jo netop om makrosystemer, altså virkeligheden som eleverne kender den fra deres hverdag f. eks. vand, der koger eller fryser til is, luft, der opvarmes og energi, der omdannes til arbejde. Netop det sidste eksempel, der drejer sig om energiomdannelse og anvendelse af energi er også centralt når det drejer sig om at forstå fysikkens rolle i samfundet og forstå, hvordan fysikken kan bruges eller bliver brugt, når der træffes politiske beslutninger om bl. a. energiforsyningen eller energibesparende foranstaltninger.

Disse dagligdags erfaringer og dagligdags begreber spiller også ind i forbindelse med de indledende trin i fysificeringsprocessen, hvor det drejer sig om at "videnskabeliggøre" en problemstilling. Dels er de en helt nødvendig forudsætning for at forstå problemstillingen og dels virker de som hæmsko, idet disse erfaringer og begreber fra dagligdagen kan hæmme den præcisering af de videnskabelige begreber, der må foretages, idet der kan ske sammenblanding med sædvanlig sprogbrug. Dette er også en af årsagerne til at termodynamik af mange forekommer vanskeligere end så mange andre discipliner, f. eks. elektrodynamik og relativitetsteori.

Lige så vigtigt som at termodynamik udtaler sig om dagligdags ting eller måske vigtigere set i undervisningssammenhæng er det dog, at termodynamikken lægger hovedvægten på studiet af de generelle, overordnede træk ved et systems opførsel. Termodynamikken er i stand til at beskrive tilstande af systemer ud fra simpelt definerede omstændigheder uafhængigt af systemernes detaljerede indre struktur. Derfor er termodynamikkens tænke måde, begreber og sætninger meget generelt anvendelige.

Gennem studiet af eksempler inden for termodynamikken kan træk ved videnskabsfaget fysik tydeliggøres, som f. eks.: forholdet mellem model og virkelighed, forholdet mellem eksperiment og teori samt den store indre sammenhæng, der gør, at man taler om en teoribygning.

Endelig er termodynamikken velegnet til at illustrere fysiks relationer til andre fag. Dette gælder ikke kun forbindelsen til samfundsfagene, som vi har antydnet, men også til de andre naturvidenskabelige fag - med biologi som oplagt eksempel - og matematikken, idet der knyttet til fysiske teorier er anvendelsen af matematiske modeller.

Som vi tidligere har fremhævet, er det ikke så meget emnet, der tages op i fysikundervisningen, der betyder noget for opnåelse af den ønskelige holdning og kompetence hos eleverne, men mere den måde stoffet behandles på, det perspektiv, der anlægges, den arbejds metode, der vælges o.s.v. Derfor kan det være af begrænset værdi bare at undervise i "noget om varme, energi, kalori-

metre, rumfangsarbejde o.s.v." Der må ud fra kompetenceidealet og andre hensyn vælges nogle problemstillinger, hvori disse dele af fysikken spiller en rolle.

Efter vor mening har Barry Commoner med sin bog "Energis elendighed" (9) leveret en lang række sådanne problemstillinger, som vil være mulige udgangspunkter for fysikundervisning i gymnasiet. Herudover er vi stødt på en række eksempler på, at fysikere eller økonomer foretager energianalyser af forskellige samfundssektorer, produktionsprocesser, kraft-varmeanlæg eller lignende, på en mere eller mindre afklaret energiteoretisk baggrund.

Barry Commoner siger i sin bog "Energis elendighed" (9), at termodynamikkens praktiske formål er hovedsagelig at finde ud af, hvordan man bedst kan få energi til at udføre de opgaver, som kræver arbejde, og at dens praktiske værdi er, at "den kan lære os, hvordan vi skal mobilisere denne energi, så vi mest effektivt kan bruge den til at foretage de aktiviteter, som kendetegner vort civiliserede liv."

Termodynamikken lærer os altså, at energi har forskellig kvalitet, og at vi for at undgå spild af energi må lære at anvende energi af passende kvalitet til de aktuelle opgaver. Altså ikke at anvende energi af høj kvalitet til opgaver, der kun kræver energi af lav kvalitet.

Hvis vi nu som lærere vil formidle en sådan "energiøkonomi", må vi selv vide, hvad de forskellige energimål dækker, og hvordan de bedst kan anvendes, samt hvordan man kan vurdere effektivitet.

Det næste afsnit handler om den baggrundsviden, vi som lærere må have ud over den klassiske termodynamik, hvis vi skal opfylde vores kompetenceideal. Til denne ønskelige baggrundsviden, mener vi, hører også et kendskab til energibåndsteknikken, som vil give en kort beskrivelse af samt give enkelte eksempler på anvendelsen af også i næste afsnit.

Energibåndsteknikken er en måde at beskrive de energetiske for-

hold i et system på, således at koblinger, herunder kontrol- og kausalitetsforhold tydeliggøres. Gennem anvendelse af energibandsdiagrammer gøres de første trin i fysificeringsprocessen mere explicit, og der gives hjælp til en præcisering af en oprindelig vag model til en sådan konsistent form, at éntydig oversættelse til en matematisk-datalogisk model er mulig. De grundlæggende fysiske sætninger er indbygget i reglerne for eb-teknikken, således at overførslerne af f. eks. termodynamikkens 1. og 2. hovedsætning er sikret.

Da problemstillinger uden for fysikken kan have samme matematiske struktur som de fysiske, kan eb-teknikken ofte med stort udbytte anvendes til f. eks. en økonomisk model.

For at udnytte de fordele, der ligger i at beskrive især fysiske problemer (det være sig inden for termodynamik eller andre fysiske discipliner) i eb-teknikken, må man imidlertid over en vis tærskel og opnå en vis grad af fortrolighed med de indgående elementer og regler. Dette er så krævende, at vi foreløbig er tvivlende over for, om eb-teknikken kan inddrages i gymnasiets fysikundervisning. Derimod finder vi det som sagt nyttigt for en fysiklærer at beskæftige sig hermed.

II SKITSE AF TEORETISK BAGGRUNDSVIDEN.

II.1 Introduktion.

Ud fra det, vi vil med vores undervisning, kan vi slutte noget om den viden, som vi selv må have som gymnasielærere. Det vil i dette tilfælde sige den viden inden for termodynamikken, som er nødvendig for at bruge termodynamikken til det, vi har anført, at den er velegnet til. Og det vil igen sige, at vi må supplere vores viden med nogle "energibegreber", som ikke beskrives i den klassiske termodynamik. Det drejer sig om begreber som exergi, essergi, fri energi m.v., som af forskellige forfattere er fremhævet som særligt egnede til at beskrive forskellige energiformers arbejdsevne under givne omstændigheder og dermed velegnede som grundlag for opstilling af effektivitetsmål.

Vi er stødt på forskellige definitioner på disse begreber, og vi vil gengive disse nedenfor. Først vil vi dog nævne, at Torben Smith Sørensen (16) definerer begreberne ud fra Brønsted's arbejdsprincip, hvorpå han opbygger termodynamikken med arbejdsprocesserne som det grundlæggende. Ud fra disse processer integrerer man sig så frem til tilstandene. I energibåndsteknikken er det grundlæggende ligeledes processer og kausale sammenhænge og tilstandene findes ved integration.

Det er derfor nærliggende at vise et eksempel på anvendelsen af energibåndsteknikken, som den er udviklet af Peder Voetmann Christiansen (10) i forbindelse med en af T.S.S.'s definitioner. Samtidig med at eksemplet kan tjene som en slags indføring i teknikken.

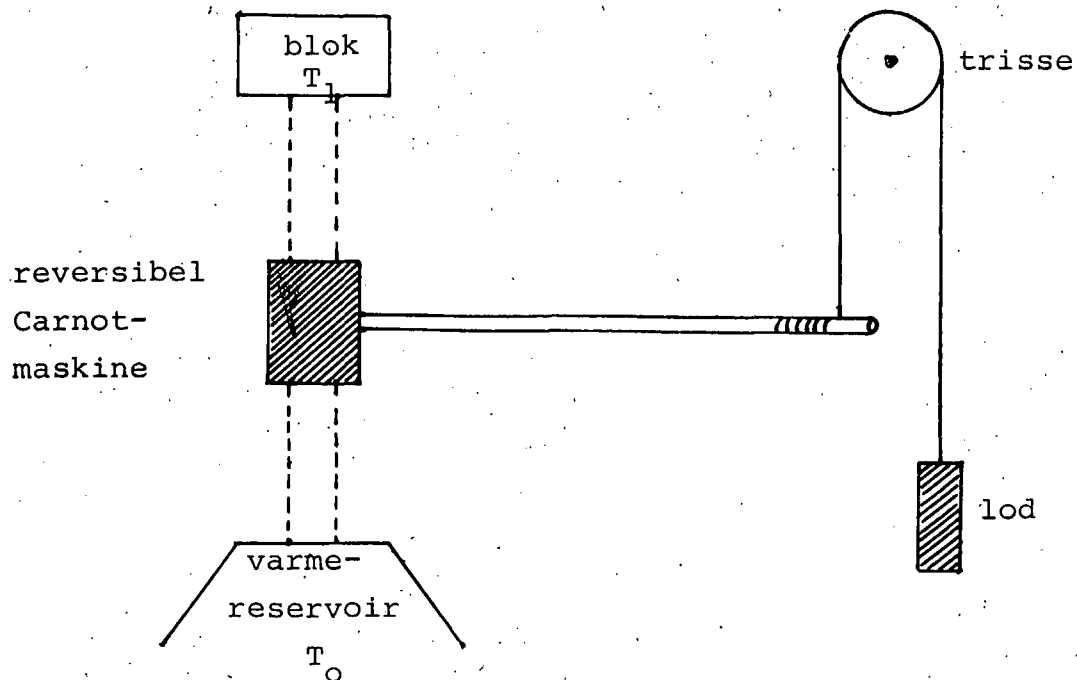
II,2 Energibegreber.

Exergi.

I "Ecophysics" af Peder Voetmann Christiansen et al. (15) defineres exergien, som her kaldes "den fri energi", som "den maksimale mængde brugelige energi, som systemet er i stand til at afgive under betingelser, hvor der ikke kan udveksles andet end akselarbejde med omgivelserne". D.v.s. at der ikke kan udveksles varme, stof eller rumfang med omgivelserne. Denne energi, der kan anvendes til at udføre arbejde på omgivelserne, produceres kun, hvis der finder spontane processer sted i systemet.

Det påpeges, at en spontan proces er karakteriseret ved to uadskillelige aspekter, nemlig entropiproduktion og dissipation af fri energi. Den dissiperede fri energi er lig med systemets temperatur ganget med entropiproduktionen. Denne forbindelse gælder for en dissipativ proces, hvor vi transformerer mekanisk arbejde til varme.

Vi ser nu på den omvendte proces, som unægtelig er mere interessant, hvor vi omdanner varme til mekanisk arbejde. Her introduceres den reversible cykliske Carnot-maskine, og vi tænker os neden for illustrerede opstilling:



Ved hver arbejdscyklus af Carnot-maskinen hæves loddet en smule.

Hvis nu denne proces, hvor varme bliver til mekanisk arbejde, sammenholdes med den proces, hvor der sker dissipation af fri energi ved varmeoverførsel fra en blok til et varmereservoir, kan vi da udlede følgende forbindelse mellem dissipationsraten af fri energi og entropiproduktionen:

$$-\frac{dE}{dt} = T_0 \cdot \frac{dS}{dt}$$

hvor T_0 altså er reservoirets temperatur.

Hvis der f. eks. findes temperaturforskelle eller trykforskelle mellem systemet og dets omgivelser, vil der selvfølgelig om muligt finde en udligningsproces sted, og en sådan proces kunne også bruges til at udrette arbejde med. Da man imidlertid ønsker at definere den fri energi - eller exergien - som en egenskab ved systemet alene uafhængig af omgivelserne, må den løse definition strammes op til følgende: systemets fri energi m.h.t. en uligevægtstilstand er lig med den maksimale entropifri energi, som systemet er i stand til at afgive (ved hjælp af alle mulige slags maskiner og devices) under betingelser, hvor muligheden for udligningsprocesser med omgivelserne er forhindret, men hvor der kun kan udveksles akselarbejde med et arbejdsreservoir.

Man kan afbilde exergien grafisk, hvilket P.V.C gør i "Eb-teknik III" (13). Her siger han, at hvis vi betragter et lukket og isoleret system uden for ligevægt (ikke for langt), hvor der kun kan udveksles akselarbejde med omgivelserne, kan vi inddеле dette system i k mindre systemer, der hver for sig er i termodynamisk ligevægt.

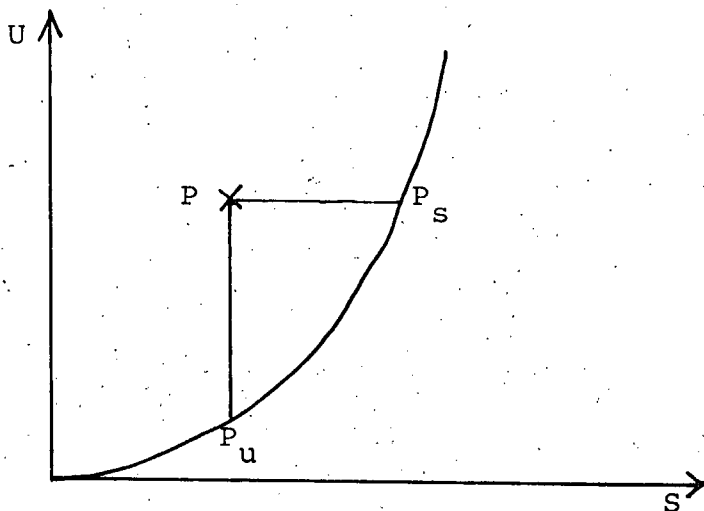
Da systemet ikke kan udveksle stof eller rumfang med omgivelserne, vil

$$V^{\text{tot}} = \sum_{i=1}^k V^i \quad \text{og}$$

$$N_i^{\text{tot}} = \sum_{j=1}^k N_i^j$$

være konstante, og for den globale indre energi vil gælde, at

den kun kan ændres ved akselarbejde. Den energetiske fundamentalrelation giver os da, at vi kan tegne en kurve for ligevægtstilstandene, hvor vi afbilder den indre energi som funktion af entropien:



Ligevægtskurvens hældning vil være positiv, da $\frac{\partial U}{\partial S} = T$ er positiv, og kurven vil ydermere krumme opad, idet vi har:

$$\frac{d^2U}{dS^2} = \frac{dT}{dS} = \frac{T}{T \frac{dS}{dT}} = \frac{T}{c_v}$$

som også er positiv.

I stedet for billedet med den tynde stang, der overfører mekanisk arbejde fra et system i uligevægt til et arbejdsreservoir, bruger Torben Smith Sørensen (16) i sin definition af exergi, kranvogne og lignende. Han siger: "Vi kører ind i vort termodynamiske system med en kranvogn med en tung genstand hængende i en wire og forskelligt materiel til at udføre energitransformationer (Carnot-maskiner, ideale elektromotorer/dynamoer og andet isenkram). Hver gang vi konstaterer nogle potentialforskelle, flytter vi reversibelt rundt med systemets kvantiteter, indtil det er umuligt af få systemet til at yde mere arbejde. Potentialerne eller de sammensatte potentialer som f. eks. de elektrokemiske potentialer vil da være udjævnede, og systemet har nået sit energetiske nulpunkt. Efter endt hverv kører vi atter ud af systemet med vores kranbil, og vi konstaterer nu, at den tunge

genstand i wiren er blevet hævet et stykke. Det mekaniske arbejde, der er udført ved løftningen af loddet er et mål for det oprindelige systems overskudsenergi, dets exergi, ...". Det energetiske nulpunkt, som T.S.S. her omtaler er altså punktet P_u på kurven.

T.S.S. sammenfatter derudover nogle overvejelser over, hvad der sker når to (eller flere) systemer med forskellige exergiindhold bringes i termodynamisk ligevægt med hinanden i følgende sætning (16):

"Exergien (=den reversible arbejdssevne) for et termodynamisk system er altid større end eller lig med nul (det sidste gælder for indre termodynamisk ligevægt). Når flere termodynamiske systemer slås sammen til ét system vil den totale exergi være større end eller lig med summen af delsystemernes exergier."

Og endelig finder han et udtryk for tabet i exergi ved en infinitesimal irreversibel proces i et isoleret termodynamisk system:

$$- dEx = T_0 dS_{\text{prod}}$$

hvor T_0 er temperaturen i det energetiske nulpunkt.

Disse resultater er helt parallelle til resultaterne i den mere generelle fremstilling i "Ecophysics" (15) se p. III.73 om ikke-additiviteten af exergien og p. III.22 om den generelle sammenhæng mellem dissipation af fri energi og entropiproduktionen.

Essergi.

Vi vender nu tilbage til kurven side 19 og betragter den specielle situation, hvor totalsystemet kan opdeles i et lille delsystem og en meget stor reservoir-lignende baggrund i termodynamisk ligevægt. Vi får da en situation, hvor P ligger meget tæt op ad kurven, og den entropifri energi må da være et resultat af udvekslingen af varme, rumfang og molekyler mellem delsystemet og baggrunden. Den fri exergi bliver altså en funktion af reservoirs temperatur T_r , tryk P_r og de kemiske potentialer μ_{ir}

samt de ekstensive variable U, S, V, N for delsystemet.

Herved fås Evans essergi-funktion

$$E = U - T_r S + P_r V - \sum_{i=1}^m \mu_{ir} N_i,$$

som altså bliver lig med exergien i dette tilfælde.

T.S.S. (16) indsætter i dette udtryk Eulers formel, som kun gælder for delsystemer i indre ligevægt:

$$U = TS - PV + \sum_{i=1}^m \mu_i N_i$$

og får herved det mindre generelle udtryk for essergien:

$$E_s = S(T - T_r) - V(P - P_r) + \sum_{i=1}^m n_i (\mu_i - \mu_{ir})$$

Det ses, at essergien er lig med nul, når der er ligevægt mellem delsystemet og reservoiret. T.S.S. kalder derfor essergien for et relativt exergimål.

"Available work".

Når det hele er kommet i ligevægt, har vi de ekstensive parametre for delsystemet U_{eq}, V_{eq}, S_{eq} og $n_{i,eq}$, og essergien = 0, d.v.s. vi har

$$0 = U_{eq} + P_r V_{eq} - T_r S_{eq} - \sum_{i=1}^m \mu_{ir} n_{i,eq}$$

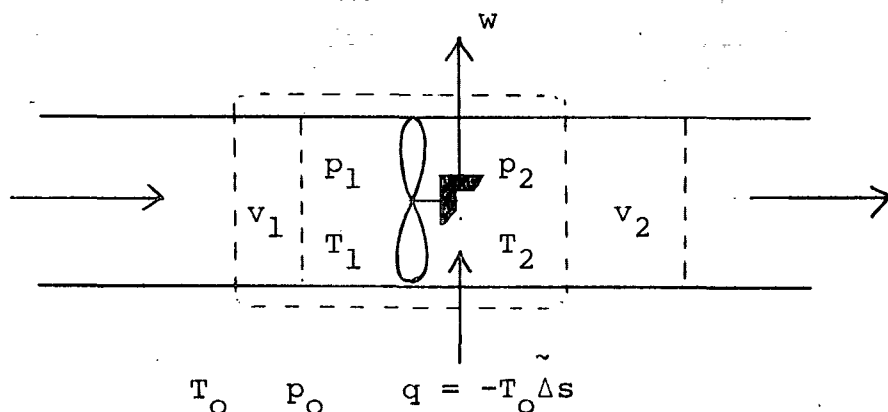
Hvis vi indsætter dette i udtrykket for essergien får vi:

$$E_s = (U - U_{eq}) + P_r (V - V_{eq}) - T_r (S - S_{eq}) - \sum_{i=1}^m \mu_{ir} (n_i - n_{i,eq})$$

Det sidste udtryk, anfører T.S.S., er det udtryk, der blev anvendt af en arbejdsgruppe under American Physical Society (APS), hvor de kaldte essergien for "available work".

Relativ exergi.

T.S.S. taler endvidere om en relativ exergi, som han definerer ud fra et generaliseret Joule Thomson eksperiment. I stedet for at presse en luftart gennem en porøs prop bruges et eksperiment som afbildet nedenfor. Der udtrækkes arbejde ved propellen, og der kan absorberes varme fra omgivelserne samme sted.



Systemet inddeles i tre delsystemer:

- I : En bestemt mængde (= masse) stof under passage. På figuren er den omcirklet af en punkteret linie.
- II : Den omgivende flydende masse.
- III : Omgivelserne.

Dernæst udregnes ændringerne i den fri energi pr. kg masse for de tre delsystemer, og derved fås et udtryk for arbejdet. Han vil nu udregne den specifikke exergi ex_r i forhold til omgivelserne af den indkommende strøm. Hvis man nu tænker sig, at når massen har passeret propellen, så er den specifikke exergi i strømmen reduceret til nul, får man da et udtryk for det arbejde, der kan udtrækkes ved en reversibel proces:

$$w_{rev} = ex_r^{(1)} = h_1 - h_0 + q = h_1 - h_0 - T_0 \Delta S_{omg}$$

hvor h_0 er den specifikke enthalpi af den udgående strøm ved trykket p_0 og temperaturen T_0 og indre ligevægt.

Mens strømmen passerer propellen, sker der en ændring af den specifikke entropi, og den relative exergi kan udregnes. T.S.S.

når frem til følgende udtryk:

$$ex_r^{(1)} = h_1 - h_0 + T_0(s_0 - s_1),$$

hvor h_1 er enthalpien af den indgående strøm og h_0 er enthalpien af den udgående.

Hvis det maksimale arbejde ikke uddrages af systemet kan ændringen i relativ exergi udregnes og man kan herved få et udtryk for tabet i relativ exergi.

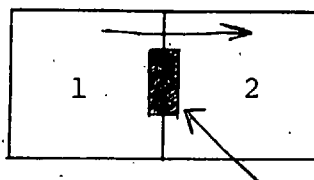
$$\text{Tab af relativ exergi} = T_0(\Delta s_I + \Delta s_{\text{omg}}) = T_0 \cdot s_{\text{prod}}$$

Dette sammenholdes med den tidligere udregning vedr. forbindelsen mellem tabet i exergi og entropiproduktionen. Det ses at de to udtryk bliver analoge, blot med den forskel, at T_0 i tilfældet med den absolutte exergi står for temperaturen i det energitiske nulpunkt, og T_0 i tilfældet med den relative exergi står for omgivelsernes temperatur.

Vi har prøvet at lave en energibandsmodel for det generaliserede Joule-Thomson forsøg, for at få et overblik over T.S.S.'s udregninger og for at prøve at vurdere, hvor godt eksperimentet er at definere den relative exergi ud fra. Som et eksempel på anvendelsen af energibåndsteknik vil vi bringe en forenklet model her med nogle kommentarer knyttet til.

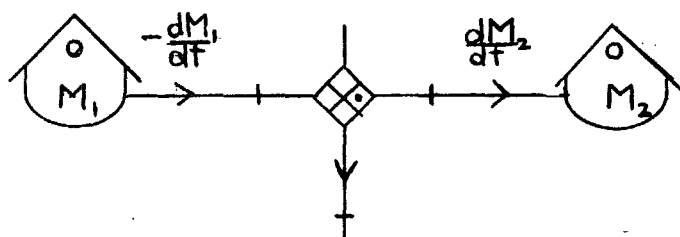
II.3 Anvendelse af energibåndsteknik - et eksempel.

Nedenstående model viser en reversibel transport af masse og entropi fra ét delsystem til et andet. Der er altså i dette tilfælde tale om en stoftransport gennem et rør, og vi forestiller os en reversibel Carnot-maskine, der udtrækker arbejde under stoftransporten fra 1 til 2.



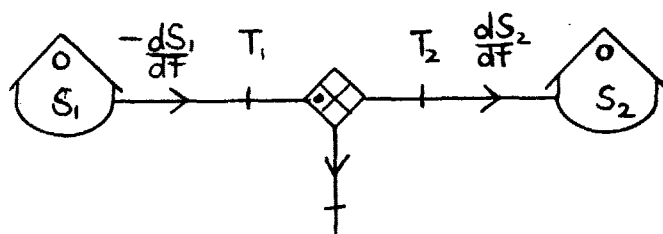
Carnot-maskine

Dynamikken i systemet er, at en forskel i kemiske potentialer driver en stoftransport. D.v.s. vi kan starte opbygningen af energibandsmodellen med to lagre, hvorfra der forsvinder masse i det ene lager og strømmer masse til i det andet lager. Denne transport kan vi bruge til at trække arbejde ud af systemet med. Fordi T.S.S. (16) vælger at udtrykke exergiindholdet relativt til den omgivende flydende masse, bliver spændingerne hhv. $\mu_1 - \mu_r$ og $\mu_2 - \mu_r$, hvor μ_r er det kemiske potential i det flydende stof langt fra grænsefladen ved propellen.



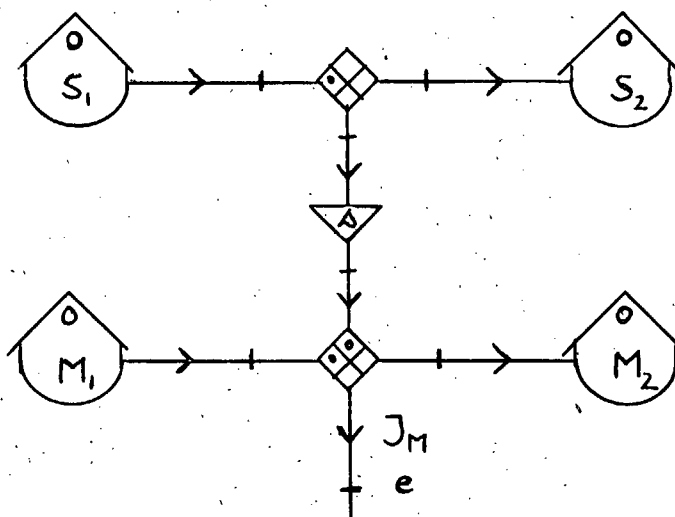
Lagrene må samles med en strømsamler. Det vil være mest naturligt at orientere energibåndene i massetransportens retning, så vi må sætte et minus på $\frac{dM_1}{dt}$, som jo angiver strømmen ind i M_1 . Med en prik i strømsamleren angiver vi, at "strømmen går lige igennem samleren".

Med en stoftransport må imidlertid også følge en transport af entropi. Det bliver netop en transport, da processen er reversibel. Vi udbygger altså med to lagre, hvor der forsvinder entropi i det ene lager og strømmer entropi til i det andet.



Her gælder det samme for orienteringen og strømsamleren som i det første tilfælde. Spændingerne bliver hhv. T_1 og T_2 , som er temperaturerne for de to delsystemer.

Den fri energi, der kan trækkes ud af systemet bliver et resultat af dels entropitransporten og dels stoftransporten. Så vi sammenbygger modellen som følger:



Transduceren må vi have på, da vi skal køble strømme af forskellige dimensioner, og den sidste prik i den ene strømsamler skyldes vores valg af orientering.

Vi får da ved at bruge regnereglerne for eb-teknikken (se appendix I og (10), (11)):

$$\begin{aligned}
 e &= \mu_1 - \mu_2 + (T_1 - T_2)s \\
 &= h_1 - h_2 - T_1 s_1 + T_2 s_2 + (T_1 - T_2)s \\
 &= h_1 - h_2 - T_1(s_1 - s) + T_2(s_2 - s),
 \end{aligned}$$

hvor s_1 og s_2 er de specifikke entropier og h_1 og h_2 er de spe-

cifikke enthalpier.

Hvis vi har, at "område 1" er i termodynamisk ligevægt, gælder at $s = s_1$ ($= \frac{S_1}{M_1}$), d.v.s.

$$e = h_1 - h_2 + T_2(s_2 - s_1).$$

Hvis "område 2" er i termodynamisk ligevægt, gælder at $s = s_2$ ($= \frac{S_2}{M_2}$), og

$$e = h_1 - h_2 - T_1(s_2 - s_1).$$

Der findes imidlertid også den mulighed at sætte $s = s_3$ ($= \frac{S_1 + S_2}{M_1 + M_2}$), hvilket giver

$$e = h_1 - h_2 - T_1(s_1 - s_3) + T_2(s_2 - s_3).$$

Vi får altså tre forskellige udtryk for e , som er det arbejde der kan udtrækkes pr. kg passeret masse.

Hvis vi sætter $s = s_1$, får vi det samme udtryk som T.S.S., hvilket tyder på at hans udtryk er lidt vilkårligt.

I en udbygning af modellen, som vi ikke vil bringe her, da den er mere kompliceret, har vi medtaget mek/pot. energi pr. masse-enhed samt årsager til ikke-reversibilitet som gnidning og varmeledning. Heraf nævner T.S.S. kun, at man kan tage hensyn til den potentielle og kinetiske energi.

Vi mener hermed at kunne konkludere, at det ikke er heldigt at definere den relative exergi ud fra det generaliserede Joule-Thomson-forsøg, og at det ikke nødvendigvis bliver det samme begreb, som vi har beskrevet i afsnittet om essergien, hvor vi referer definitionen på fri energi i forhold til et reservoir fra "Ecophysics" (15). En sikrere definition fås, hvis man vender problemstillingen om og definerer den relative exergi som det arbejde, der kræves for at bygge system op fra et homogent

reservoir.

Alt i alt kan vi ikke rigtig se fordelene ved at forsøge at definere relativt exergibegreb, som ønskes anvendt i mange sammenhænge, ud fra et så specielt system som her. Valget af referenceomgivelser og af de energiomsætninger, der medtages, synes ikke egnede til generalisering. Men selve exergisynspunktet, det at udtrykke systemets arbejdsevne ved de indre uligheder, er vigtig og i overensstemmelse med indholdet i "Ecophysics".

Vi mener hermed at have anskueliggjort, at energibåndsteknikken er et velegnet redskab til at skaffe sig overblik over problemstillinger og henviser endvidere til "Dynamik og diagrammer" af Peder Voetmann Christiansen (10), hvor teknikken er grundigt beskrevet.

II.4 Effektivitet.

Som det er nævnt flere steder bl. a. i "Ecophysics" (15) og i "Energis elendighed" (9) kan effektivitet bedømmes ud fra henholdsvis termodynamikkens 1. og 2. hovedsætning, hvilket giver følgende to forskellige udtryk for effektiviteten:

1. lovs effektivitet: $\eta_I = \frac{E_{ud}}{E_{ind}}$, hvor E er energien

2. lovs effektivitet: $\eta_{II} = \frac{E_{ud}}{E_{ind}}$, hvor E er den fri energi

Det ses, at mens 1. lovs effektiviteten udelukkende ser på kvantiteten af energi, så beskæftiger 2. lovs effektiviteten sig med energis kvalitet.

Vi mener selvfølgelig, at man kun med udbytte kan sammenligne energier af samme kvalitet, så det må være 2. lovs effektiviteten, vi skal bruge i f. eks. energianalyser.

2. lovs effektiviteten generaliseres i "Ecophysics" (15) til et udtryk

$$\eta_{II}^G = \frac{E_{min}}{E_{aktuel}}$$

som udtrykker forholdet mellem den minimale mængde fri energi, der kræves til en opgave og den mængde fri energi, der faktisk går til opgaven.

Det er klart, at kan volde vanskeligheder at bestemme den minimale mængde fri energi, der er nødvendig til en arbejdsproces, bl. a. kan man komme ud for et eksempel fra Commoners bog (9), og som er referet i "Ecophysics", at den minimale mængde fri energi, der behøves - i dette tilfælde til beregning af kunstgødningens termodynamiske effektivitet - kan blive praktisk taget nul ((9) p. 148)

Hvilken slags fri energi, man kan tillade sig at bruge i det enkelte tilfælde og hvilke approximationer, man kan tillade sig, må vurderes i hvert tilfælde. Vores afsnit om energibegreberne skulle danne baggrund for en kritisk vurdering af indgående energiværdier i effektivitetsberegninger, og er dermed også baggrund for næste kapitel, der handler om anvendelse af termodynamik.

III, ANVENDELSE AF TERMODYNAMIK SAMT UNDERVISNINGSEKSEMPLER.

=====

Vi vil i dette afsnit give nogle eksempler på anvendelsen af termodynamik i forbindelse med problemstillinger af samfundsmæssig art. Vores hensigt med disse eksempler er at demonstrere, at der findes rige muligheder for, at inddrage ikke snævert fysiske problemer i forbindelse med termodynamikundervisning i gymnasiet. Vi vil dog understrege, at de eksempler på anvendelser, vi giver, ikke skal opfattes som en udtømmende og systematisk belysning af termodynamikkens anvendelse i samfundet.

I forbindelse med anvendelseseksemplerne vil vi forsøge at trække frem, hvilke perspektiver af termodynamikkens anvendelse og karakter vi lægger vægt på i relation til vore kompetanceidealer. Heller ikke her skal fremstillingen opfattes som udtømmende.

Vi vil endelig i dette afsnit give nogle skitser til hvordan termodynamiske anvendelser kan inddrages i fysikundervisningen.

III.1 Transporteksemplet

Barry Commoner diskuterer i (9) samspillet mellem de tre systemer økosystemet, produktionssystemet og det økonomiske system med henblik på at lokalisere de defekter i dette samspil som er årsag til forureningskrise, energikrise og økonomisk krise.

Barry Commoner bruger, som eksempel på hvordan samspillet økosystem, produktionssystem og økonomisk system finder sted, transportsektoren i U.S.A .

For at vurdere hvor godt samspillet fungerer, anvender Barry Commoner tre forskellige produktivitetsmål:

- ef for arbejdstiden (ton-eller passagerkilometer per brugt arbejdstime)
- ef for produktiviteten hos kapitalen (ton-eller passagerkilometer per dollar investeret kapital)
- og ef for produktiviteten hos energien (ton-eller passagerkilometer per energienhed)

Beregningerne af disse tre produktiviteter foretager Barry Commoner v.h.a talmateriale fra forskellige statistikker og rapporter.

Udover disse beregninger for hvert enkelt transportmiddel foretager Barry Commoner beregninger eller skøn over bl.a antal ulykker per passagerkilometer, luft og støjforureningen samt fart og bekvemmelighed for de forskellige transportmidler.

På baggrund af de ovenfor skitsede beregninger og skøn opstiller Barry Commoner rækkefølgen af de eksisterende og mulige transportmidler, der anvender energien mest produktivt. Han kommer frem til følgende liste:

- 1.den elektriske jernbane
- 2.den elektriske S-bane i byerne
- 3.den nuværende dieseldrevne jernbane
- 4.de nuværende dieseldrevne busser
5. ~~de~~ nuværende dieseldrevne lastbiler
6. den private bil
7. luftfart

Denne liste supplerer Barry Commoner med kommentarer om de enkelte transportmidlers fordele og ulemper m.h.t de øvrige faktorer (arbejdstidsproduktivitet, kapitalproduktivitet, støj o.a)

Ved at sammenligne ovennævnte liste med den måde hvorpå de forskellige transportmidler for øjeblikket anvendes i U.S.A kommer Barry Commoner til følgende resultat:

"U.S.A's transportsystem har (...) med fantastisk præcision beguntiget de transportformer, hvor den termodynamiske effektivitet er ringe og hvor produktiviteten hos kapitalen er lav. Resultatet er at U.S.A's transportsystem nu bruger langt mere brændstof og kapital end det behøvede at gøre i forhold til den brugsværdi det giver"

Dette resultat forklarer Barry Commoner udfra offentliggjorte profitrater for de forskellige transportformer og siger:

"...jo mere profitable de forskellige transportformer er, jo **lavere** vil produktiviteten hos energi og kapital i reglen være, og det er profittens størrelse som bestemmer hvormeget en bestemt transportform bliver udviklet"

Barry Commoner giver derefter nogle eksempler på hvordan og hvorfor beslutninger om ændringer i transportstrukturen i U.S.A blev truffet. Bl.a beskæftiger han sig med beslutningen om at udskifte den elektriske sporvogn med bussen.

Kommentarer

Barry Commoners analyse af transportsektoren illustrerer meget godt, at de produktivetsmål og nyttefunktioner som inddrages i samfundsmæssige analyser afhænger af analysernes formål. Når Barry Commoner således f.eks inddrager produktiviteten af energien og den termodynamiske effektivitet i forbindelse med analysen af transportsektoren, må det ses i lyset af Barry Commoners formål som bl.a er at finde årsagerne til energi krisen.

Barry Commoners transportsektoranalyse illustrerer endvidere at det ofte er politiske beslutninger, der afgør, hvilke nyttefunktioner og produktivetsmål, der skal anses for vigtige og hvilke, der skal søges optimeret. Det er således politiske beslutninger, der afgør at f.eks bruttonationalproduktet og profitrater er vigtige for samfundets velfærd, og at disse skal søges optimeret. Det er også politiske beslutninger der afgør om f.eks produktiviteten af energien og den termodynamiske effektivitet er mindre vigtige.

Ovennævnte perspektiver m.h.t termodynamiske nyttefunktioner og effektiviteter finder vi det væsentligt at belyse i relation til vores kompetenceideal om fysikkens anvendelse i samfundet

III.2 Biogaseksemplet

I forbindelse med debatten om alternative energikilder er biogas blevet foreslået som en mulighed.

Biogas (d.v.s. metan) dannes ved gæring af husdyrgødning eller planteaffald. Husdyrgødning betragtes i vor tids landbrug mere og mere som besværligt affald p.g.a. en tendens i det danske landbrug til at adskille husdyrhold og agerbrug samt en tendens til at erstatte husdyrgødning med kunstgødning.

Ved gæring af husdyrgødning dannes foruden metan (biogas) et restprodukt, hvis gødningsværdi er bedre end den friske staldgødning.

Bl.a. disse forhold gør det rimeligt at foretage overvejelser om anvendelse af biogas som energikilde. Den teoretiske gødningsbaserede biogasproduktion er desuden ikke helt forsvindende: den udgør ca. 3% af Danmarks samlede energiforbrug i 1974.

(Ovennævnte oplysninger er baseret på (19))

Biogas kan tænkes anvendt til mange forskellige energikrævende opgaver. Vi vil her specielt interessere os for biogas som brændstof til transportmidler, der ^{normalt} anvender benzin som brændstof.

Transportsektoren stiller specielle krav til energiforsyningen, bl.a. skal brændstoffet kunne transporteres uden for meget besvær og samtidigt skal brændstoffet være af relativ høj kvalitet. Disse forhold vil vi inddrage i de termodynamiske overvejelser, som vi vil beskæftige os med i det følgende.

Vi kan foreløbigt formulere problemstillingen på følgende måde: under hvilke forhold er biogas energiøkonomisk set mindst lige så rentabelt at anvende som benzin?

Vi vælger, for at indsnævre problemstillingen, at kræve, at en bil (eller andet transportmiddel) skal kunne køre mindst lige så langt på 1 liter biogas som på en liter benzin. Det vil således være urentabelt ifølge dette krav, hvis man skal tanke hyppigere op ved brug af biogas end ved brug af benzin.

For at bedømme energiforholdene for henholdsvis 1 liter biogas og 1 liter benzin, må vi have et mål ^{for} disses energiindhold.

I praksis vil afbrænding af biogas og benzin i forbrændingsmotorer med god tilnærmelse finde sted med den omgivende atmosfære som varmereservoir, antager vi. Den fri energi vil i dette tilfælde

være givet ved: $E = F - F^{\circ} = U - T_r S - (U^{\circ} - T_r S^{\circ})$, hvor U og S er h.h.v. energi og entropi i begyndelsestilstanden og hvor U° og S° er energi og entropi i sluttetilstanden, T_r er reservoirens temperatur.

Som en tilnærmet størrelse til $E = F - F^{\circ}$ måles ofte den såkaldte "heat of combustion" (brændværdien). Denne findes ved kalorimetermåling foretaget ved konstant rumfang. Herved måler man størrelsen $Q = U - U^{\circ}$. Da der gælder $E = F - F^{\circ} = U - T_r S - (U^{\circ} - T_r S^{\circ}) = Q - T_r (S - S^{\circ})$ er det altså leddet $T_r (S - S^{\circ})$ man ser bort fra. (15)

Vi vil senere i dette eksempel belyse, om dette er en god tilnærmelse.

I (14) er angivet følgende brændværdier for benzin og methan (biogas):

methan	4920 kcal/l	(massefylde 0.415 g/cm ³)
benzin	ca 7875 kcal/l	(massefylde ca. 0.75 g/cm ³)

Vi antager at disse brændværdier er målt på ovennævnte måde, (det er ikke angivet i kilden)

Biogassens (methans) brændværdi per liter kan øges ved at overføre biogas opsamlet fra staldgødning eller planterester til en trykflåske med et passende tryk. Dette kræver imidlertid arbejde, som ikke kan vindes igen, fordi forbrændingsmotorer ikke kan udnytte trykket af biogassen.

Vi er nu nået så langt i *fysificeringen* at vi kan præcisere problemet, som vi vil søge at besvare:

1. ved hvilket tryk P_2 i biogassen kan opnås samme brændværdi for 1 liter biogas og 1 liter benzin?

2. hvormeget arbejde skal bruges til overførsel af 1 mol biogas ved atmosfæretryk (biogas opsamlet fra staldgødning) til biogastanken med tryk P ?

3. er det arbejde, der skal udføres rimeligt lille i forhold til brændværdien af 1 mol biogas?

Formålet med disse spørgsmål er at afgøre, om det er energimæssigt favorabelt at anvende biogas i transportmidler i stedet for benzin.

Det foregående er et eksempel på *fysificerings*processens 1 trin hvor problem og formål præciseres. Vi finder det væsentligt at gymnasieelever i forbindelse med behandling af fysikanvendelser stifter bekendskab med dette trin. At udelade dette trin, der nok er *fysificerings*processens sværeste og vigtigste trin vil være at give gymnasieelever et skævt billede af hvordan fysik anvendes

i praksis.

Vi vil nu forsøge at besvare de tre spørgsmål vi har formuleret. Vi vil først antage, at biogas (methan) kan beskrives som en ideal gas. Dette er en rimelig antagelse, da methans kritiske temperatur er -82.1 C . Denne temperatur er vi langt over, da de fysiske processer vi behandler foregår ved reservoirens temperatur, som vi vil sætte til 20°C .

Ved temperaturer i nærheden af den kritiske, hvor faseovergange kan forekomme, ville det være mere rimeligt at beskrive biogassen som en Van der Waal gas.

(Ovennævnte er et eksempel på et forhold vi finder det vigtigt at belyse i gymnasieundervisningen i relation til vores kompetenceideal om at eleverne skal have kendskab til fysikkens struktur og forhold til virkeligheden. Eksemplet illustrerer meget godt at fysikken bl.a opstiller modeller over processer, der foregår i naturen og præciserer under hvilke betingelser disse modeller med god tilnærmelse kan beskrive den virkelige proces).

Vi kan nu ud fra idealgasantagelsen og de øvrige antagelser besvare det første spørgsmål: ved hvilket tryk p_2 i biogastanken opnås samme brændværdi for 1 liter biogas og 1 liter benzin?

1 liter biogas svarer til 415 g, da massefylden er 0.415g/cm^3 da methan (CH_4) har molvægten 16 g/mol, altså $415/16$ mol per liter eller ca 26 mol/l , hvilket svarer til brændværdien 4920 kcal/l . Vi ønsker en brændværdi på 7875 kcal/l (benzins brændværdi). For at få dette må vi komprimere biogassen således at vi får:

$$7875 \cdot 26/4920\text{ mol/l} = \text{ca. } 42\text{ mol/l}$$

Vi har her forudsat at brændværdien per mol er konstant, hvilket gælder for ideale gasser når brændværdien er bestemt ved U

Hvis vi videre antager at brændværdien for biogassen er fundet ved 20°C , kan vi beregne ved hvilket tryk brændværdien er fundet:

$$p_1 = N_1 R T_1 / V_1$$

$$\text{hvor } N_1 = 26\text{ mol}$$

$$R = 0.082\text{ atm l/K mol}$$

$$T_1 = 293\text{ K}$$

$$V_1 = 1\text{ l.}$$

Vi får så at brændværdien må være bestemt ved trykket 625 atm
 For at få en brændværdi svarende til benzins må vi komprimere
 biogassen så vi får trykket p_2 bestemt ved:

$$p_2 V_2 / N_2 = p_1 V_1 / N_1$$

hvor $V_1 = V_2 = 1 \text{ l.}$

$$p_1 = 625 \text{ atm}$$

$$N_1 = 26 \text{ mol}$$

$$N_2 = 42 \text{ mol}$$

Vi finder heraf at trykket i biogastanken skal være ca 1000 atm
 for at biogassen skal få samme brændværdi per liter som benzin.

Vi kan nu gå videre til næste problem: hvormeget arbejde skal
 der udføres ved overførsel af 1 mol biogas ved atmosfæretryk til
 biogastanken med tryk p_2 ?

Ved brug af essergiformlen

(se appendix **II**) findes arbejdet:

$$E = (p_r - p_2) R E_r / p_2 + R T_r \ln p_2 / p_r$$

hvor $p_2 = 1000 \text{ atm}$

$$p_r = 1 \text{ atm}$$

$$R = 8.31 \text{ J/K}$$

$$T_r = 293 \text{ K}$$

heraf findes $E = 19229 \text{ J/mol}$ eller $E = 4.6 \text{ kcal/mol}$

Dette er altså det arbejde der skal udføres for at overføre bio-
 gassen til biogastanken med trykket 1000 atm.

(Vi har i det foregående foretaget en række antagelser og skøn.
 Sådanne antagelser finder vi det vigtigt at gymnasieelever selv
 får lejlighed til at foretage, og vurdere rimeligheden af dem. Vi
 tror gymnasieelever derved vil få et mere realistisk indtryk af
 hvordan fysik anvendes, end det de får ved at regne opgaver hvor
 alle antagelser er foretaget af opgavestilleren. En anden pointe
 vi finder væsentlig er at fysik udfra de antagelser, der foretages
 er i stand til at løse problemer, som ikke ville kunne løses uden
 de modeller/teoretiske redskaber som er udviklet af den fysiske
 videnskab)

Vi skal nu besvare det tredje spørgsmål vi stillede:

er det arbejde der skal udføres rimeligt lille i forhold til brænd-
 værdien af 1 mol biogas?

Brændværdien af een liter biogas var 4920 kcal og een liter svarer til 26 mol biogas. Brændværdien af 1 mol biogas er så:

$$4920/26 \text{ kcal/mol} = 189 \text{ kcal/mol}$$

Vi fandt at det arbejde, der skulle udføres for at overføre 1 mol biogas til biogastanken var 4.6 kcal. Dette arbejde vurderer vi til at være rimeligt lille i forhold til brændværdien af 1 mol biogas (189 kcal/mol). Arbejdet der skal udføres per mol udgør ca. 2.4% af brændværdien for 1 mol biogas.

Under forudsætning af at vi kan opnå et tryk i biogastanken på 1000 atm må vi derfor sige at biogas udmærket kan konkurrere med benzin energetisk set. Imidlertid er et tryk på 1000 atm ikke realistisk ved brug af normale trykflasker. Således er trykket i trykflasker med ilt ca. 150 atm, og ved dette tryk vil vi per liter kunne få

$$n = pV/RT$$

$$\text{hvor } p = 150 \text{ atm}$$

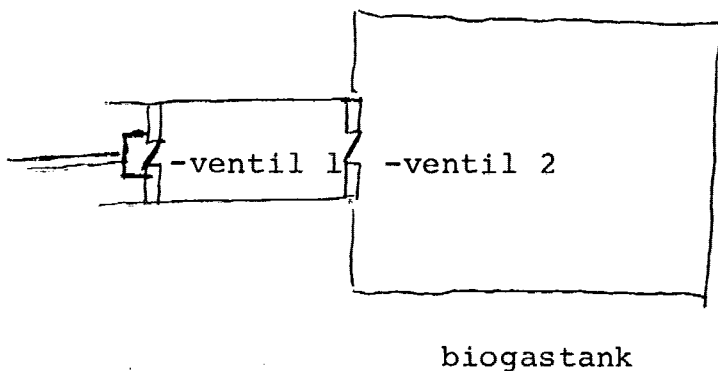
$$R = 0.082 \text{ atm l/K}$$

$$T = 293 \text{ K}$$

$$V = 1 \text{ l.}$$

6 mol, hvilket svarer til en brændværdi på kun ca. 1.1 kcal/l og denne kan ikke konkurrere med benzins brændværdi på 7879 kcal/l.

Vi vil i det følgende beskæftige os med det arbejde, der skal udføres for at overføre 1 mol biogas til biogastanken. Vi kom ved beregninger m.h.t. reversibel kompression frem til at det arbejde, der skal udføres. I praksis vil kompressionen ikke foregå reversibelt, men irreversibelt. Følgende figur illustrer hvordan den irreversible kompression kunne foregå



arbejdsprocessen forløber på følgende måde:

1. rumfanget dV' er i røret ved tryk p_r
2. ventil 2 åbnes, ventil 1 lukkes
3. stemplet føres i bund. Det udførte arbejde er $dA = (p - p_r) dV'$
4. ventil 1 åbnes, ventil 2 lukkes
5. stemplet trækkes tilbage
6. som 1

Det samlede rumfang der skal tilføres fra reservoiret til biogastanken for at opnå et tryk p_s findes af:

$$a. \quad pV_0 = p_r(V_0 + V')$$

hvor V_0 er biogastankens rumfang

p_r er reservoirets tryk

p er trykket i biogastanken til et givet tidspunkt hvor der er indpumpet rumfanget V' fra reservoiret.

For slutttilstanden har vi:

$$p_s V_0 = p_r (V_0 + V_s)$$

hvor p_s er det ønskede tryk i biogastanken og hvor V_s er det samlede rumfang der skal indpumpes fra reservoiret. Af denne ligning findes:

$$V_s = (p_s/p_r - 1)V_0$$

Af ligning a. findes

$$p = p_r (1 + V'/V_0)$$

så $p - p_r = p_r V'/V_0$

Det samlede arbejde, der skal udføres ved den irreversible kompression findes ved integration af udtrykket $dA = dE_{irr} = (p - p_r) dV'$

$$E_{irr} = \int_0^{V_s} (p_r V'/V_0) dV' = (p_r/2V_0) (p_s/p_r - 1)^2 V_0^2$$

$$E_{irr} = (p_r V_0/2) (p_s/p_r - 1)^2 = (RT_r/2) (p_s/p_r - 1)^2$$

Når sluttrykket p_s er langt over reservoirtrykket p_r kan dette arbejde med god tilnærmelse skrives:

$$E_{irr} = (p_s V_0 p_s / 2 p_r) = RT_r p_s / 2 p_r$$

Vi udregner nu dette arbejde for det tryk i biogastanken

hvor en liter biogas har samme brændværdi som 1 liter benzol (Dette tryk fandt vi var 1000 atm)

$$T_r = 293 \text{ K}$$

$$p_r = 1 \text{ atm}$$

$$R = 8.31 \text{ J/K}$$

Vi finder så at det irreversible arbejde er $1.2 \cdot 10^6 \text{ J/mol}$ eller 291 kcal/mol .

Vi har tidligere beregnet brændværdien af 1 mol biogas til 189 kcal .

Ved den irreversible kompression, som i praksis finder sted, når vi skal øge trykket i biogasbeholderen til 1000 atm, vil det arbejde vi skal udføre per mol biogas altså langt overstige brændværdien af 1 mol biogas.

Lad os se på forholdet mellem det reversible og det irreversible arbejde.

$$E_{rev} = (p_r - p) RT_r / p + RT_r \ln p / p_r = RT_r (p_r/p - 1 + \ln p/p_r)$$

$$E_{rev}/RT_r = p_r/p - 1 + \ln p/p_r$$

$$\text{Der gælder at: } \ln p/p_r = -\ln p_r/p = -\ln \left(1 - \frac{p-p_r}{p}\right)$$

Hvis trykforøgelsen er lille kan dette udtryk rækkeudvikles til:

$$\frac{p-p_r}{p} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{p_r}{p}\right)^2 + \dots$$

Vi ser bort fra de følgende led og får så:

$$E_{rev}/RT_r = p_r/p - 1 + \frac{p-p_r}{p} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{p_r}{p}\right)^2 \Rightarrow$$

$$E_{rev}/RT_r = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{p_r}{p}\right)^2$$

For det irreversible arbejde fandt vi:

$$E_{irr} = \frac{1}{2} RT_r \left(\frac{p}{p_r} - 1\right)^2 \text{ så}$$

$$E_{irr}/RT_r = \frac{1}{2} \left(\frac{p}{p_r} - 1\right)^2$$

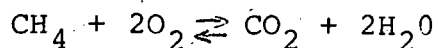
Af udtrykkene for h.h.v det reversible og det irreversible arbejde ses det , at de to udtryk bliver næsten ens ved små trykforskelle mellem p_s og p_r .

Ovennævnte betragtninger belyser en efter vores mening vigtig side af termodynamikkens karakter, nemlig at man v.h.a termodynamik kan sætte grænsen mellem det ideelt mulige og det umulige m.h.t arbejdsprocesser. Betragtningerne over det reversible arbejde viser således hvad der ideelt set er muligt. Ved at sammenholde de ideelle reversible betragtninger med de realistiske irreversible betragtninger, kan man v.h.a termodynamik angive retningslinier for hvormeget og eventuelt hvordan en arbejdsproces energetisk set kan forbedres.

Vi vil nu vende tilbage til det led der ses bort fra ved beregning af brændværdier. Dette led var (se s.33)

$$T_r (S - S')$$

Ved forbrænding af biogas har vi følgende kemiske reaktion:



Hvor CH_4 , O_2 og CO_2 er gasser mens H_2O er væske.

Hvis vi antager at gasserne er idealgasser, gælder for disse at U er konstant for konstant temperatur og derfor:

$$dQ = pdV = (NR/V) dV$$

Da $dS = dQ/T$ får vi $dS = (NR/V) dV$ og

$$S_2 - S_1 = \int_{V_1}^{V_2} \frac{NR}{V} dV = NR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Ved konstant temperatur har vi $V_2/V_1 = p_1/p_2$

så $S_2 - S_1 = NR \ln p_1/p_2$ ved konstant temperatur

For entropien af idealgasserne har vi altså:

$$S \sim -NR \ln p \quad \text{ved konstant temperatur}$$

Det vil være rimeligt at antage at entropiændringer som følge af forskelle i begyndelsestryk og sluttryk for forbrændingsprocessen væsentligst stammer fra entropiændringer i gasserne. Ved forøgelse af trykket vil entropien aftage på både højre og venstre side i reaktionsligningen, men mest på venstre side fordi vi der har tre mol gas mens vi kun har et mol gas på højre side.

Leddets $S-S'$, der angiver entropiforskellen mellem venstre og højre side i reaktionsligningen, vil derfor ved kompression blive mindre og $F = \Delta Q - T_r(S-S')$ vil blive større da $\Delta Q = \Delta U$ ikke vil ændres med trykket.

Da leddet $T_r(S-S')$ imidlertid afhænger logaritmisk af trykket (ovenfor fandt vi $S_2 - S_1 = NR \ln p_1/p_2$) vil det være relativt lille i forhold til ΔQ : På side 35 fandt vi at det reversible arbejde, der skulle til for at overføre 1 mol biogas til biogastanken udgjorde ca. 2.4% af brændværdien for 1 mol biogas (trykket i biogastanken var 1000 atm.) Dette arbejde beregnede vi af ligningen:

$$E = (p_r - p_2) RT_r / p_2 + RT_r \ln p_2 / p_r$$

Medmindre forskellen mellem p_2 og p_r er lille vil det væsentligste bidrag til E komme fra leddet $RT_r \ln p_2 / p_r$. For 1 mol ses det at:

$$- T_r(S_2 - S_1) = T_r R \ln p_2 / p_1 \sim RT_r \ln p_2 / p_r$$

Vi kan derfor med god tilnærmelse se bort fra leddet $T_r(S-S')$ og brændværdien Q vil være en god tilnærmelse til den fri energi for benzin og biogas.

III.3 IFIAS og energianalyser

Vi skal i det følgende gennemgå i store træk hvad Ifias-energianalyser er og hvilke problemer der er forbundet med dem.

Vi har for at demonstrere at fysificeringsprocessens syv trin kan anvendes til at give overblik over fysikanvendelser, anvendt disse syv trin som en slags analysemetode.

Trin 1.:problem og formål.

Problemet som energianalyser søger at takle, på kortere og længere sigt, er at samfundets energibehov indenfor en overskuelig fremtid, ikke kan forventes at blive dækket af det fossile brændstof, som samfundets nuværende energiproduktion hovedsagelig er baseret på.

I følge Chapman (17) kan energianalysers formål opdeles i fire kategorier:

1. at analysere en given produktionsproces' effektivitet m.h.t. energiforbrug, for at rådgive om hvordan effektiviteten kan øges
2. at udvikle en langsigtet strategi til nedsættelse af energibehov/forbrug (ifølge Chapman har de fleste energianalyser dette formål)
3. at vise fordele/ulemper ved en given teknologi
4. at forstå en produktionsproces' eller den samlede teknologis termodynamik d.v.s at finde maximum for hvad en given teknologi kan præstere.

Det fremgår ikke altid hvilket formål konkrete energianalyser har. En del af disse analyser beskæftiger sig således med at udregne det samlede energiinput til et bestemt produkt f.eks cement, tomater, franskbrød, uden at angive hvad disse energi

tal kan bruges til. Vi finder det vanskeligt at se at sådanne energital har nogen relation til de formål Chapman nævner. Hvis energitallet for et produkt fremstillet ved en produktionsproces derimod sammenlignes med energitallet for samme produkt fremstillet ved en anden produktionsproces og samme antagelser og systemafgrænsning er foretaget, kan vi se en vis rimelighed i fremgangsmåden. Denne fremgangsmåde er imidlertid ikke ^{altid} anvendt i de energianalyser, vi har set.

Trin 2: afgrænsning og valg af elementer

I energianalyser skal her tages stilling til valg af energitype og delsystem.

M.h.t. energitype så anbefalede det på et møde blandt energianalytikere, hvor konventioner for energianalyser var hovedtemaet, at anvende energidata i form af den indre energi, entalpi eller Gibbs fri energi (18)

Det afhænger naturligvis af analysens formål hvilken energitype det er relevant at bruge. Men set i relation til de formål Chapman nævner (se ovenfor) er de energityper, som anbefales nok utilstrækkelige. Hvordan skal man f.eks. måle energiinput fra menneskelig arbejdskraft eller energiinput i form af solenergi? I øvrigt vil det i mange tilfælde være vanskeligt at få data fra alle energiinput i form af entalpi, Gibbs fri energi og den indre energi.

M.h.t. valg af delsystem skal der her tages stilling til hvilke input man finder væsentlige for analysens formål.

Hvis man f.eks. forsøger at udregne energiforbruget til fremstilling af et franskbrød, kan input på følgende niveauer komme på tale

1. bageri
2. bageri + forretning
3. bageri + forretning + fabrikker, der fremstiller råmaterialer og produktionsudstyr til forretning og bageri.
4. o.s.v.

På det før omtalte møde blandt energianalytikere anbefalede man at føre analysen tilbage til det niveau, hvor bidragene er sammenlignelige med usikkerheden på det foregående niveau.

Trin 3: valg af relationer mellem elementer

Her skal man i energianalyser tage stilling til, hvordan energi-input skal deles i forhold til det undersøgte produkt (eller andet) samt hvilket effektivitetskriterium, man skal anvende.

M.h.t. deling af in-put, så skal man, hvis vi fortsætter med franskbrødseksemplet, f. eks. afgøre, hvordan bageriets samlede energiforbrug skal deles mellem franskbrød, wienerbrød, smørkager og lignende. Her anbefalede IFIAS 6 en deling efter en relevant fysisk parameter, d.v.s. i relation til franskbrøds-eksemplet kunne man f. eks. dele bageriets el- og varmemeforbrug efter de forskellige bageriprodukters forbrændingsenthalpier.

Denne anbefaling virker lidt tilfældig. Forholdet mellem en lagkages og en pose rasps forbrændingsenthalpi skulle altså ifølge IFIAS kunne sige noget om forholdet mellem den mængde energi, der er brugt til fremstilling af disse produkter. Det virker ikke helt rimeligt. IFIAS rapport 6 (18) nævner, at delinger efter økonomisk faktor frarådes. Vi kan dog ikke umiddelbart se, at denne metode er værre end deling efter forbrændingsenthalpi.

M.h.t. effektivitet kan man bl. a. vælge mellem 1. og 2. lovs effektivitet. IFIAS (18) anbefalede, at man anvendte den såkaldte "waste"-faktor:

$$w = \frac{\Delta G_{\text{aktuel}} - \Delta G_{\text{ideel}}}{\Delta G_{\text{ideel}}}$$

Hvis vi oversætter denne faktor til de effektivitetsmål, vi tidligere har beskæftiget os med, ser man

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{aktuel}} &\sim E_{\text{aktuel}} && \text{(det faktiske forbrug af fri energi)} \\ \Delta G_{\text{ideel}} &\sim E_{\text{min}} && \text{(det minimale forbrug af fri energi)} \end{aligned}$$

"Waste"-faktoren svarer så til

$$\frac{E_{\text{aktuel}} - E_{\text{min}}}{E_{\text{min}}} = \frac{E_{\text{aktuel}}}{E_{\text{min}}} - 1$$

eller

$$w \sim \frac{1}{\eta_{II}^G} - 1 = \frac{1 - \eta_{II}^G}{\eta_{II}^G}$$

hvis f.eks. $\eta_{II}^G = 1/3$ så svarer "waste"-faktoren til $\frac{1 - 1/3}{1/3} = 2$

Dette er måske nok ikke en helt urimelig måde at definere en tabsfaktor på. Måske ville det have været mere indlysende hvis "waste"-faktoren blev defineret som $1 - \eta_{II}^G$ *

Trin 4: oversættelse til matematisk sprog.

I forbindelse med energianalyser kan dette trin fortolkes som udregning af de enkelte energital for in-put'ene, beregning af delingsfaktorer og beregning af effektivitetsfaktorer.

Trin 5: manipulation med matematiske udtryk.

Dette kan fortolkes som udregning af det samlede energiforbrug pr. produkt (eller andet). F.eks. summen af alle energi-input (efter deling) divideret med antal producerede franskbrød.

Trin 6: oversættelse af matematisk sprog til dagligdags sprog.

På dette trin fortolkes energianalysens resultat i relation til energianalysens formål. Dette er ofte et trin, der udelades i forbindelse med energianalyser. Resultatet af analysen serveres således ofte som et energital for det undersøgte produkt.

* som da også har været foreslået i IFIAS rapport 6 s.38 (18)

IV. OVERVEJELSER OVER UNDERVISNINGENS METODE OG ORGANISATION.

Vi har i foregående afsnit trukket nogle eksempler på anvendelsen af termodynamik frem. Ved anvendelseseksemplerne har vi forsøgt at trække problemstillinger, der kunne anvendes i undervisningen, frem og vi har trænet os selv i fysificeringsprocessen.

Selv om vi har givet en masse begrundelser for at undervise i termodynamik, har vi dog også sagt, at det ikke kun er emneområderne, der har betydning for opfyldelsen af vort kompetenceideal, men nok så meget den måde, de behandles på.

Vi vil her til sidst formulere nogle overvejelser over undervisningens metode og organisation med henblik på opfyldelsen af vore overordnede holdningsmål og kompetenceidealet for eleverne.

Den positive bestemmelse af de overordnede holdningsmål og kompetenceidealet angiver nogle retningslinier for valg af undervisningens metode og organisation. Disse retningslinier vil vi forsøge at trække frem og derefter diskutere metodevalg og organisation dels ud fra disse retningslinier og dels ud fra vore erfaringer med metoder og organisation på RUC.

IV.1 De overordnede holdningsmål.

Her skriver vi, at eleverne skal lære at indse, at det faglige arbejde er værdifuldt, fordi det giver øget erkendelse og forståelse for virkeligheden, og at eleverne skal lære at tænke og handle både antiautoritært og kollektivt.

Hvis eleverne skal lære at betragte det faglige arbejde som værdifuldt, så er en grundlæggende betingelse den, at de ved hvorfor det faglige arbejde udføres. D.v.s. eleverne skal kende formålet med de enkelte arbejdsfaser. Desuden skal de gerne være enige i formålet og være motiverede til at forsøge at opfylde formålet.

Dette kan ske ved at læreren ved starten af en arbejdsfase fremlægger sit formål med fasen og diskuterer det med eleverne. Det er nok mest realistisk at regne med, at læreren bestemmer formålet i meget høj grad, hvilket vi dog ikke mener behøver være

noget negativt. Det bliver det kun, hvis det af læreren opstillede formål er så vagt formuleret eller så fjernt fra, hvad der kan synes som rimeligt set ud fra elevernes synspunkt, at de ikke forstår formålet eller ikke kan se logikken.

Værdien af det faglige arbejde kan vises, hvis der ved en arbejdsfases afslutning sker en evaluering af det faglige arbejde, hvor det gerne skulle fremgå for den enkelte, at der er opnået en øget erkendelse. Vi har selv gode erfaringer med procesevaluering fra vores basisuddannelse på RUC, og vi vil derfor gerne pege på denne evalueringsform som en egnet mulighed også for gymnasiet.

Vi tror endvidere, at det er en generel erfaring for studerende på RUC, at projektorganisering af arbejdet er en organisering, der lærer én at betragte det faglige arbejde som noget værdifuldt. For at præcisere, hvad vi mener med projektorganisering, skal vi nævne de faser, som projektorganisering omfatter:

- emne eller problemvalg
- projektformulering
- projektbearbejdning
- produktfremstilling
- produktvurdering og evt. korrigerering

(disse kategorier er hentet fra et citat af Knud Illeriis i "Problemmorientering, projektarbejde og rapportskrivning" (14))

Generelt mener vi, at projektorganisering modvirker de negative konsekvenser for indlæringen som vi tidligere har refereret fra "Den skjulte læreplan" (3). Vi mener dog ikke af den grund, at alt arbejde skal være projektorganiseret, da ikke alle dele af vores kompetenceideal kan opfyldes ved en sådan organisering af undervisningen. Desuden er projektorganiseret undervisning meget tidskrævende, hvilket ikke altid vil være ønskeligt.

At eleverne skal lære at arbejde kollektivt peger direkte på gruppearbejdsformen, og at de skal handle antiautoritært og kollektivt betyder, at læreren ikke skal være centrum for under-

visningen, hvilket ikke er det samme som at læreren skal være passiv. Læreren skal derimod indgå som medlem af kollektivet, dog forstået på den måde, at læreren altid vil have en særstilling i kraft af sin faglige viden, hvilket eleverne skal lære at udnytte. Gennem gruppearbejdet skal eleverne oparbejde en tro på egne evner, så de får et realistisk syn på, hvad de kan, og hvad de ikke kan.

IV.2 Fysificering.

Eleverne skal lære at fysificere og at foretage fysiske beskrivelser af samfundet, skriver vi. I forrige afsnit trænede vi os selv i en fysificeringsproces, og vi vil her repetere, hvad processen indebærer. Eleverne skal lære at formulere problemer, de skal lære at finde væsentlige elementer i forbindelse med problemets løsning og at formulere brugbare relationer.

Disse forhold peger direkte på kriterier for metoden, nemlig for det første, at eleverne skal være de aktive, og for det andet, at de gentagne gange skal udføre de samme operationer (problemformulering, udvælgelse af væsentlige elementer og brugbare relationer) i forskellige sammenhænge.

Begge disse kriterier kan opfyldes ved opgaveregning, men dog af en anden art end den traditionelle, idet problemformuleringen her er foretaget, de væsentlige elementer er udtaget og de relevante relationer som regel er givet. Vi har et opgavehefte til breddefysikkurset her på centret, og opgaverne heri er det nærmeste vi kan komme på som bud på, hvad slags opgaver, vi mener.

Ideelt ville det være det bedste om eleverne selv formulerede de opgaver, de skulle regne. I praksis er dette nok ikke så lige til, men vi mener, at det er muligt at formulere opgaver, der kan træne i fysificeringsprocessen, jvf. vores overvejelser i biogasekspemplet.

Med hensyn til, at eleverne skal kunne følge fysificering, foretaget af en anden part, kunne man pege på opgaver, hvor eleverne bliver præsenteret for en fysisk model, og hvor de

skal besvare spørgsmål som:

- a) hvilket problem søger modellen at løse eller belyse?
- b) hvilke elementer antages i modellen at være de væsentlige, og hvilke elementer ses der bort fra?
- c) hvilke relationer opererer modellen med, og hvilke ser den bort fra?

Det er vores erfaring fra matematikkurset i modelbygning på basisuddannelsen, at opgaveløsning af den oven for skitserede art med udbytte kan foregå i grupper, således at eleverne kan supplere hinanden. Problemer, der er fælles for de forskellige grupper, kan behandles af læreren i plenum.

IV.3 Fysikkens rolle i samfundet.

Her vil vi gerne gentage det princip, vi nævnte i det indledende afsnit i forbindelse med erkendelsesspiralen: Eleverne skal tage udgangspunkt i det ikke forventede. Vi forestiller os, at fasen med indøvning af fysificeringsprocessen ligger forud for fasen om fysiks rolle i samfundet, og at denne fase kommer til at bestå i studier af mere komplicerede fysiske modeller, som måske ikke umiddelbart kan løses med elevens hidtidige erfaringer og viden.

Med hensyn til metoden vil vi her pege på den problemorienterede projektorganiserede studieform kombineret med den lærercentrerede kursusform.

På RUC er et væsentligt problem i forbindelse med projekt og kurser deres indbyrdes placering i forhold tidsmæssigt. Lægges kurset før projektet, går den motivation, som projektarbejdet skaber tabt for kurset, og hvis kurset lægges samtidig med eller efter projektet, når den viden og erkendelse, som kurset giver, ikke at blive brugt i projektet.

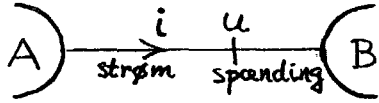
Som et ideelt bud og uden at vi har nogen erfaringsmæssig baggrund for forslaget, vil vi derfor sige relativt korte kurser, der skydes ind, når der er behov for det i projektet.

IV.4 Fysik som videnskabsfag.

Vi har nævnt, at eleverne skal kende fysiks interne struktur og historiske udviklingsproces, hvilket lægger op til tværfaglighed i undervisningen, f. eks. mellem matematik og fysik, biologi, geografi og samfundsfag, hvor samspillet mellem fagene skal belyse bl. a. fysikkens øgede betydning i samfundet. Dette samspil skal ikke forsøge at udviske faggrænserne, men tværtimod skal det forsøge at belyse, hvilke forhold det er, matematik, fysik, geografi, biologi o.a. hver for sig søger at belyse, så fysikkens forhold til virkeligheden belyses i relation til de andre fag, som vi nævner det i vores kompetenceideal.

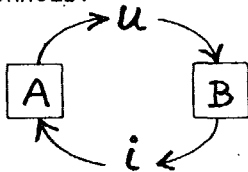
Tværfaglighed stiller en hel del krav til de organisatoriske rammer. Det kræver en udstrakt grad af lærersamarbejde, en nedbrydning af skoledagens opdeling i timer og fag samt nedbrydning af skolens isolation fra det øvrige samfund og krav til lokalerne (grupperum).

ENERGIBÅNDET, EN ELEMENTÆR VEKSELVIRKNING, EN LEDNING FOR ENERGI.



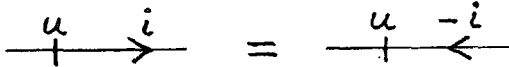
$U \cdot I = \text{ENERGI / TIDSENHED OVERFØRT FRA SYSTEM A TIL B}$

INPUT-OUTPUT FORHOLD:



(FEED-BACK)

ORIENTERINGSKONVENTION:



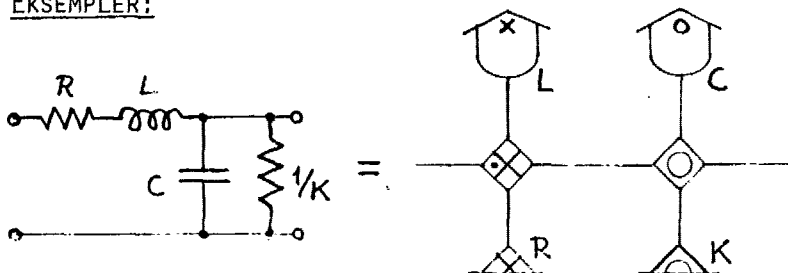
I ELEKTRISKE NETVÆRK ER STRØM- OG SPÆNDINGSVARIABLENE FASTLAGT DELS VED INPUT-OUTPUT RELATIONER FOR ELEMENTERNE: $I = K \cdot U$ (ADMITTANSER) OG $U = R \cdot I$ (IMPE-DANSER), DELS VED KIRCHOFF'S LOVE (KNUDE- OG MASKELOV). LINIERNE ER STRØMMENS VEJE.

I ENERGIBÅNDDIAGRAMMER ER ALLE NETVÆRKLIGNINGERNE UDTRYKT VED INPUT-OUTPUT RELATIONER, IDET KIRCHOFF'S LOVE REPRÆSENTERES AF DE TO "TOPOLOGISKE" ELEMENTER:

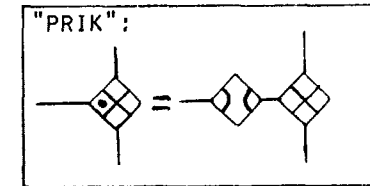
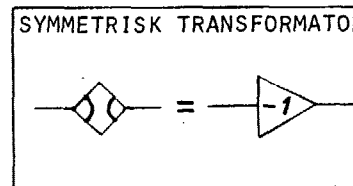
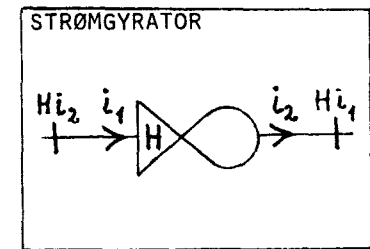
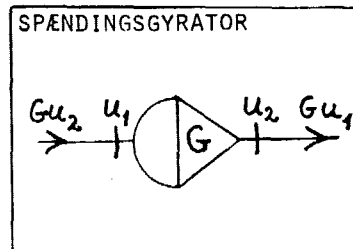
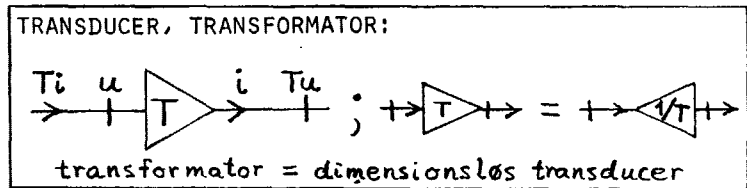
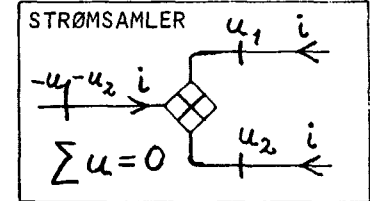
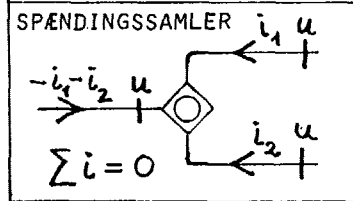
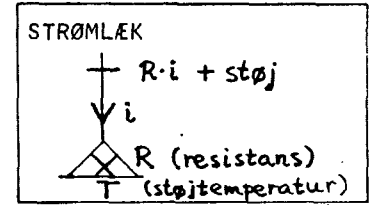
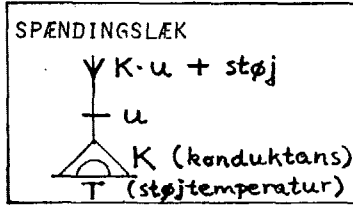
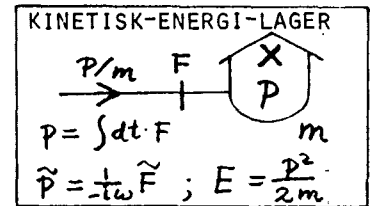
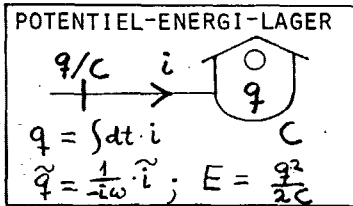
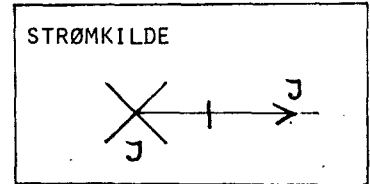
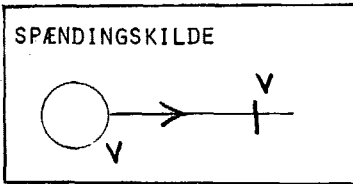
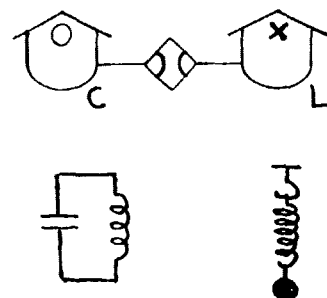
- ⊠ MASKELOV (SERIEFORBINDELSE)
- ⊙ KNUDELOV (PARALLELFORBINDELSE)

BEGGE FUNGERER SOM KNUDER FOR ENERGISTRØMMEN.

EKSEMPLER:



HARMONISK OSCILLATOR:



AKTIVE

REAKTIVE

PASSIVE

TOPOLOGISKE

RECIPROK

ANTI-RECIPROK

TOPORT

TGPORT

Appendix 2.

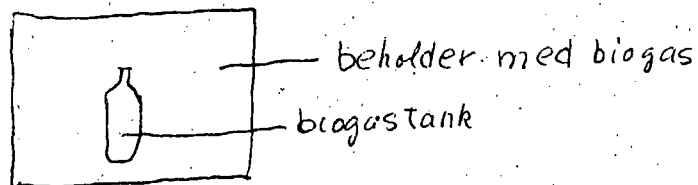
Udregning af det arbejde der skal udføres ved overførsel af et mol biogas ved reservoirtryk til biogastank med tryk p_2

Den indre energi af et mol biogas der er overført til biogas tanken med tryk p_2 er givet ved:

$$U = T_2 S - p_2 V + \mu_2$$

Det arbejde der skal udføres for at overføre et mol biogas til biogastanken er lig forskellen i fri energi mellem et mol biogas i biogastanken og et mol biogas ved atmosfæretryk og atmosfæretemperatur.

Vi kan tænke os biogastanken anbragt i en stor beholder med biogas, der fungerer som varmereservoir.



Den fri energi af biogassen i biogastanken i forhold til biogasreservoiret er givet ved essergiformlen:

$$E = U - T_r S + p_r V - \mu_r N$$

Ved indsættelse af udtrykket for den indre energi af et mol biogas fås:

$$E = (T_2 - T_r) S + (p_r - p_2) V + (\mu_2 - \mu_r) \quad \text{idet } N=1$$

Da biogasreservoiret fungerer som temperaturresevoir har vi $T_2 = T_r$ så:

$$E = (p_r - p_2) V + (\mu_2 - \mu_r)$$

Leddene $\mu_2 - \mu_r$ findes ved Gibbs-Duhem relationen:

$$-SdT + Vdp - Nd\mu = 0$$

Vi har $dT=0$ og $N=1$ så

$$d\mu = Vdp \quad \text{og } V = RT_r/p$$

D.v.s $d\mu = (RT_r/p) dp$

heraf findes ved integration:

$$\mu_2 - \mu_r = \int_{p_r}^{p_2} \left(\frac{RT_r}{p} \right) dp = RT_r \ln \frac{p_2}{p_r}$$

Vi indsætter udtrykket for $\mu_2 - \mu_1$ i udtrykket for den fri energi af biogassen og får:

$$E = (p_1 - p_2)V + RT \ln p_2/p_1$$

Dette er så det arbejde der skal udføres per mol for at overføre biogassen til biogastanken.

Referencer:

- (1) Folkeskolens matematik: En overvejelse over veje og mål.
Jens Høyrup
Institut for offentlig regulering og planlægning, samt
sociale strukturer og processer
- skriftserie 1977 nr. 4
Roskilde Universitetscenter oktober 1977
- (2) Pædagogisk udviklingsarbejde
Principper og vilkår belyst ved Brovst-projektet 1970-1974
Uddannelse og samfund
Munksgaard 1976
- (3) Den skjulte lærerplan - skolen socialiserer, men hvordan?
Unge pædagoger
af Mette Bauer og Karin Borg
A 16 1976
- (4) Debat om matematik, fysik og kemi
redigeret af Jens Pilegaard Hansen og Carl P. Knudsen
Indlæg af Jens Højgaard Jensen
MFK 90
Matematiklærerforeningen
Foreningen af fysik- og kemilærere ved gymnasier og semi-
narier København 1978
- (5) Indkredsning af begrebet videnskabscentrering i gymna-
siets undervisning i fysik
Projektrapport
RUC aug 1976
Claus Poulsen (vejleder), Lasse Rasmussen
- (6) Om videnskabscentreringens kvalificerende virkning
Fysikundervisningen i gymnasiet
Deltagere: Torben Olsen, Lasse Rasmussen, Niels Dreyer
Sørensen
Vejleder Claus Poulsen
Projektrapport RUC, januar 1977
- (7) Omverdensrelatering og fysikundervisning

fysikundervisningen i gymnasiet

Deltagere: Niels Thor Nielsen, Torben Ole Olsen, Niels
Dreyer Sørensen

vejledere: Albert Paulsen, Claus Poulsen
projektrapport RUC, februar 1978

- (8) Artikel af Claus Poulsen
Naturkampen 3
april 1977
- (9) Energiens elendighed - energikrise og økonomisk krise
Barry Commoner
Gyldendal 1977
- (10) Dynamik og diagrammer
introduktion til energy-bond-graph formalismen
Peder Voetmann Christiansen
tekster fra IMFUFA
tekst nr. 8 1978
Roskilde Universitetscenter
Institut for studiet af matematik og fysik, samt deres
funktioner i undervisning, forskning og anvendelser
- (11) Grundlæggende energibåndsteknik (bond grafer)
Jesper Gundermann
Økofysik forelæsningsnoter
september 1976
Københavns universitet, Fysisk Laboratorium I,
H. C. Ørsted Institutet
- (12) EB-teknik II: Topologi og kausalitet
Peder Voetmann Christiansen
Økofysik forelæsningsnoter oktober 1976
Københavns universitet, Fysisk Lab I, H. C. Ørsted inst.
- (13) EB-teknik III: Produktion og vækst
Peder Voetmann Christiansen
Økofysik forelæsningsnoter december 1976
Københavns universitet, fys. lab I, H. C. Ørsted inst.

- (14) Problemløserorientering, projektarbejde og rapportskrivning
Eva Hultengren
Institut for uddannelse og socialisering
Aalborg universitetscenter, 1976
- (15) Ecophysics Lectures om ecological physics
Peder Voetmann Christiansen, Erland Bruun Hansen, Jesper
Gundermann, Lars Josephsen
Physics Laboratory I, H. C. Ørsted institute
Copenhagen July 1977
- (16) Almen energetik
Torben Smith Sørensen
fysisk-kemisk institut DTH 206 Lyngby 1978
- (17) 1. Energy costs: a review of methods
P. F. Chapmann
Energy Policy June 1974
- (18) IFIAS rapport nr. 6 1974
IFIAS rapport nr. 9 1977
- (19) Utraditionelle energikilder
Om de vedvarende energikilders muligheder i Danmarks
fremtidige energiforsyning
rapport nr. 5
Lars Josephsen, Ove Jørgensen og Niels Ullman
Niels Bohr Institutet, Københavns universitet
The International Federation of Institutes for Advanced
Study (IFIAS) marts 1976

-
- 1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt
Anne Jensen, Marianne Kesselhahn, Lena Lindenskov og Nicolai Lomholt.
Vejleder: Anders Madsen.
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsesmuligheder af natur og samfund.
Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Gert Kreinøe.
Vejleder: Bernhelm Booss.
- 3/78 "Opgavesamling", breddekursus i fysik.
Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer, Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "Tre essays" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen.
Mogens Niss.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN KOMMENDE FYSIKS HISTORIE"
Helge Kragh.
- 6/78 "Nogle artikler og debatindlæg om - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret"
Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "Matematikens forhold til samfundsøkonomien"
B.V. Gnedenko.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen.
Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING"
Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Dolliorum Vinariorum"
Projektrapport af Lasse Rasmussen.
Vejleder: Anders Madsen.
-
- 10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET"
Projektrapport af Jan Christensen og Jeanne Mortensen
Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.