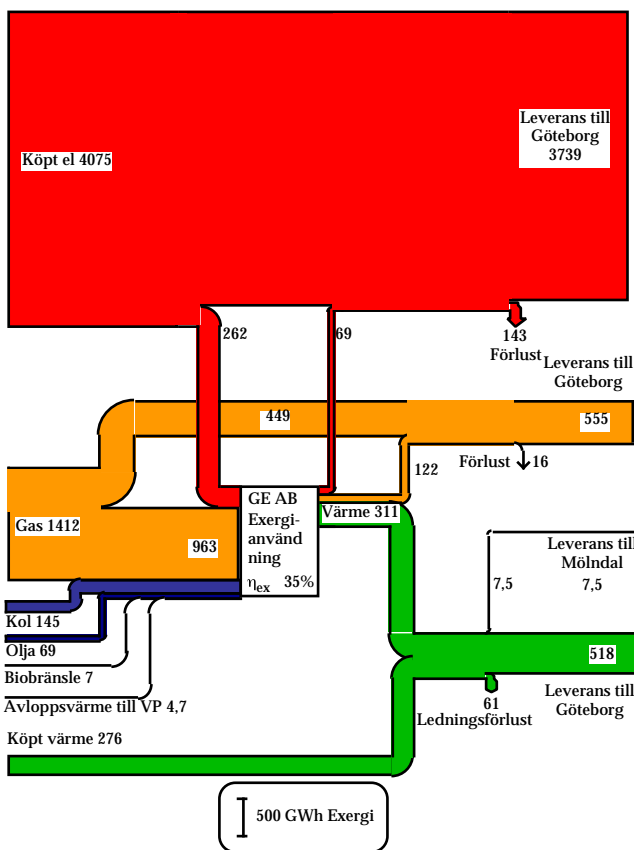
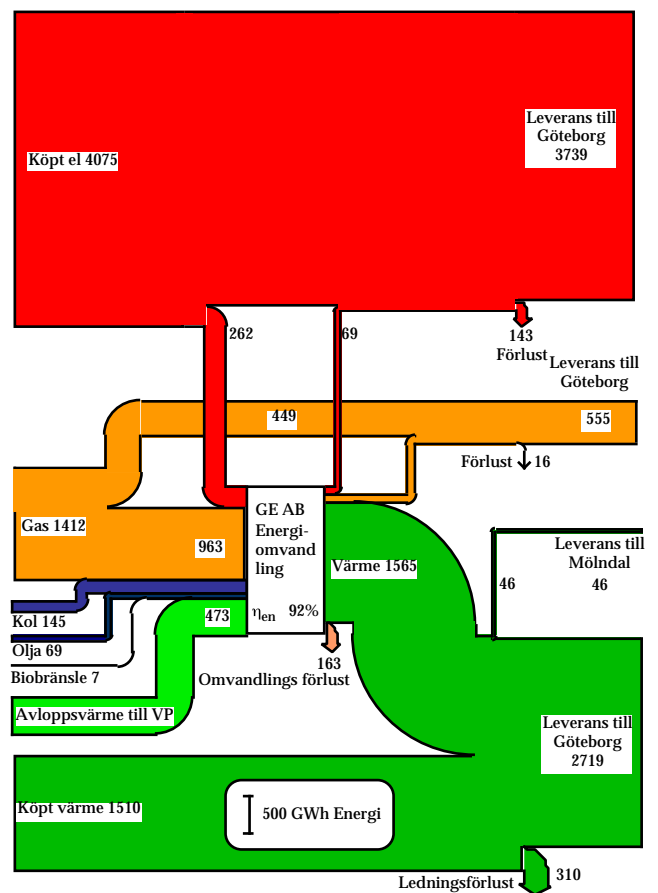


# Exergi- & energi- omsättningen i Göteborgs kommun 1991



Exergiomsättning 1991 vid Göteborg Energi AB



Energiomsättning 1991 vid Göteborg Energi AB

Göran Wall  
Mattias Östlund

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sida
FÖRORD.....	3
SAMMANFATTNING .....	4
1. EXERGI.....	6
1.1 Primära exergibärare.....	7
1.2 Sekundära exergibärare.....	7
Elektricitet.....	8
Stadsgas.....	8
Hetvatten.....	8
1.3 Exergifaktorer.....	9
1.4 Exergifaktorer för Göteborgs kommun 1991.....	10
Medeltemperatur.....	10
Avloppsvatten till värmepumparna.....	10
Fjärrvärme .....	11
Värme från värmepumparna .....	11
Köpt värme (spillvärme) .....	11
2. EXERGIOMSÄTTNING I GÖTEBORG 1991 .....	12
2.1 Exergiinflödet.....	12
Naturliga exergiinflöden.....	12
Inköp av exergibärare till Göteborgs kommun .....	13
2.2 Exergiomvandling vid Göteborg Energi AB.....	14
Hjälpkraftsbehov.....	14
Kol.....	15
Olja.....	15
Gas.....	15
Biobränslen.....	16
Värmepumparna.....	17
Köpt värme.....	17
2.3 Fördelning av el, gas, fjärrvärme och petroleumprodukter.....	17
Elektricitet.....	17
Gas.....	18
Fjärrvärme .....	19
Petroleumprodukter.....	20
2.4 Slutanvändningen .....	21
Industrin.....	21
Kommunikationer.....	22
Lokaler .....	22
Flerbostadshus .....	23
Småhus.....	24
Övrigt.....	25
Export .....	25
Förluster.....	26
2.5 Sammanställning av energisystemet.....	26
2.6 Slutsatser.....	34
APPENDIX A.....	36
APPENDIX B.....	37
LITTERATURFÖRTECKNING.....	40

## FÖRORD

I samband med en revidering av energiplanen för Göteborgs kommun 1992/93 har Göteborg Energi AB (GE) givit oss uppdraget att upprätta exergi- och energidiagram över Göteborgs kommun. Exergibegreppet, som härigenom introduceras i energiplanen, används alltmer inom samhällsplaneringen för att ge ett bättre underlag för en ökad effektivisering och minskad miljöbelastning, dvs ett bättre resursutnyttjande.

Exergi- och energiomsättningen i Göteborgs kommun beskrivs med hjälp av flödesdiagram, vilket gör det enkelt att direkt se skillnader mellan dessa olika beskrivningssätt. Denna rapport utgör också ett lämpligt underlag för framtida liknande studier.

En exergistudie bör inledas med en översiktlig beskrivning av hela systemet som skall studeras, för att viktiga delsystem skall kunna urskiljas. *Det är bättre att studera rätt system ungefär än att studera fel system exakt — det är bättre att ha ungefär rätt än exakt fel.* Med hjälp av denna helhetssyn på energiomsättningen är det lätt att se var viktiga effektiviseringsåtgärder kan göras. Exempel på sådana åtgärder för Göteborgs kommun redovisas i denna studie.

För att underlätta framtida liknande studier redovisas alla beräkningar på ett, som vi hoppas, pedagogiskt och begripligt sätt.

I ett flertal projekt vid GE har exergibegreppet tillämpats. 1988 genomfördes en studie av exergieffektiviteten i fjärrvärmesystemet *Effektiviteten vid uppvärmning i Göteborg*. Under 1989 genomfördes en studie av energiomsättningen vid Slakthusets industriområde. Resultatet visade på många nya möjligheter att effektivisera anläggningen. Under 1990 genomfördes en exergikurs *Exergilära 5 poäng* för 13 av ingenjörerna vid GE i samråd med Bengt-Göran Dahlman, Stefan Hellberg och Göran Sjödin. På initiativ av Lars Berggrund vid Stadsbyggnadskontoret i Göteborg genomfördes i samarbete med GE en studie *Exergi och helhetssyn — en tillämpning på Göteborg* inom ramen för översiktsplanen 1992. Den intresserade hänvisas därför till att även studera dessa rapporter, vilka kan beställas genom Göran Wall.

Vi vill också tacka alla på GE som hjälpt oss för att få fram underlaget och som lämnat värdefulla synpunkter på den tidiga texten.

I maj 1993

Göran Wall  
Tel./Fax 031-87 75 79

Mattias Östlund  
Tel. 0345-30580

## SAMMANFATTNING

Exergi- och energiomsättningen i Göteborg beräknas utifrån tillgänglig statistik. Beräkningen av exergifaktorn för de vanligaste formerna av värme som förekommer i kommunen redovisas i detalj. Resultaten av dessa beräkningar ger bl a följande exergifaktor: fjärrvärme 0,19 (årsmedelvärde). Spillvärme som utnyttjas av värmepumparna har en exergifaktor på 0,01.

Det naturliga resursflödet över Göteborg framstår som enormt. Uppskattningarna av de årliga förnybara resurserna gav: solljus 684 000 GWh mot Göteborgs land- och havsytan, vind 8 GWh över havsytan, gröda 7 000 GWh, virke 700 GWh och Göta älvs sötvatten 1 110 000 GWh. Solexergiinflödet mot ett enskilt hus motsvarar ofta 100 gånger uppvärmningsbehovet. Ett ökat utnyttjande av solljuset framstår således som den viktigaste uppgiften för GE i framtiden.

Göteborgs kommun köper in ca 97% av sitt elbehov. Elektricitetsanvändning kan uppfattas som mycket effektivt vilket inte är sant då el som produceras utanför Göteborg har genomgått en energiomvandling (exergiförlust) då den omvandlats från primära exergibärare som kärnbränsle (uran), vattenkraft, fossilbränsle (kol, olja och gas) till sekundära exergibärare som elektricitet och fjärrvärme. 604 GWh (14% av totala mängden el) av elen, 531 GWh (38% av den totala mängden gas) av gasen och 1372 GWh av oljan (73% av den totala mängden olja) uppskattas gå till direkt uppvärmning vilket medför en enorm exergiförlust (ca 5% utnyttjas till värme). Omräknat till pengar blir förlusten mycket kännbar och är på sikt naturligtvis ohållbar. Göteborgs kommun bör utvecklas så att exergiuutbytet förbättras, vilket även är bra för miljön.

Ytterligare studier om hur slutanvändarna utnyttjar exergin är av stor vikt då det ofta finns enorma sparpotentialer genom att bl a bättre samordna exergiflödena i hela samhället.

På basis av uppgifter för energiomsättningen inom Göteborg Energi har energi- och exergiflödesdiagram upprättats. En jämförelse mellan energi- och energiomsättningen vid GE ger vid handen att betydelsen av fjärrvärmeproduktionen överskattas vid en energibetraktelse, 1565 GWh i energifallet och 311 GWh i exergifallet. I exergidiagrammet framstår fjärrvärmens som mindre betydelsefullt, vilket också är mer realistiskt. Exergivärdet för det utnyttjade avloppsvärmen i värmepumpsanläggningen i Rya är endast en hundradel av energivärdet. Effektiviteten i omvandlingen vid GE framstår vid en energibetraktelse som relativt god, eller ca 92%, men vid en exergistudie blir effektiviteten endast 35%. Det finns således stora möjligheter att effektivisera verksamheten vid GE.

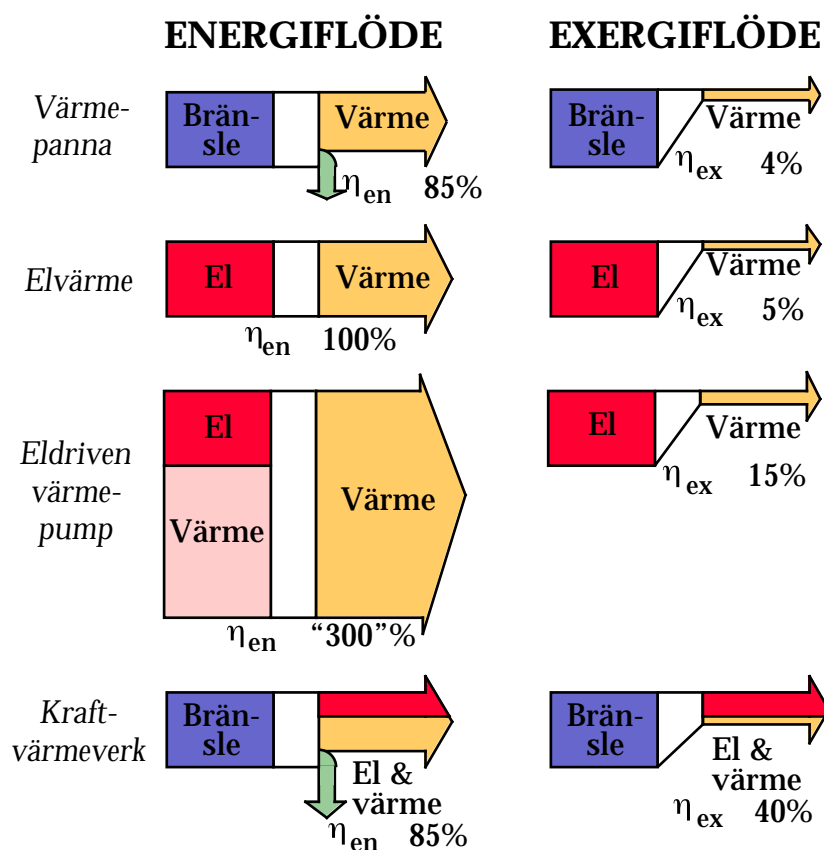
Av exergidiagrammen framgår klart den stora ineffektiviteten i värmeproduktionen. Genom energihushållning och effektivare omvandlingsteknik, t ex fler och bättre värmepumpar, kan energibehovet minskas och därigenom effektiviteten höjas.

Ytterligare exergistudier av energisystemet, fjärrvärmenätet och värmepumpsanläggningen i Rya eller andra utvalda delar av systemet rekommenderas för att öka effektiviteten och minska miljöbelastningen. Ett viktigt steg i denna riktning har också tagits genom exergistudier i samband med den nyligen inledda statusbestämningen av stora kunder. Det bör också göras jämförelser mellan exergivärden och ekonomiska värden för att ge en bättre bild av möjlig besparingsområden och lämpliga exergitaxor.

# 1. EXERGI

Exergi är ett fysiskt mått på kontrast, t ex avvikelser mellan ett system och omgivningen. För att kunna beräkna exergin för ett system måste omgivningens tillstånd vara känt eller ansättas. I denna studie av Göteborgs kommun är det endast utetemperaturen som behöver anges. Vid en mer detaljerad studie av t ex exergin i rökgaser och luftföroreningar måste även luftens kemiska sammansättning ansättas.

Skillnaden i energi- och exergisynsättet kan jämföras med en penningkassa där man i energifallet bara räknar antalet mynt medan man i exergifallet räknar med myntens valörer. El kan jämföras med tiokronor och värmen i våra bostäder med femtioöringar, dvs båda är mynt — någon form av energi, men de har helt olika värde — valör eller exergi.



Figur 1.1. Energi- och exergiomsättningen för några vanliga omvandlare.

Skillnaden illustreras i fig. 1.1 ovan för fyra energiomvandlare: en värmepanna, en elradiator, en elvärmepump och ett kraftvärmeverk. Värmepannan omvandlar ett bränsle som olja, ved eller gas till värme. Energiutbytet är ca 85 procent men exergiuutbytet är bara ca 4 procent. Detta beror på den stora kvalitetsskillnaden mellan bränsle ("tiokronor") och värme ("femtioöringar"). Elvärme — elektrisk kortslutning — har energiutbytet 100 procent, helt enligt naturlagen om att energi inte kan förintas — all el måste bli värme.

Dessa 100 procent är ingen övre gräns för energiutbytet då el omvandlas till värme, se elvärmepumpen i samma figur. El kan alltså omvandlas till mer än 100 procent nyttig värme genom att utnyttja omgivningens "värme" för sin värmeproduktion. På samma sätt som vi kan växla en tiokrona i fler än en femtioöring.

Exergiutbytet för elvärme är bara 5 procent, dvs en dålig växlingskurs, och för en elvärmepump däremot ca 15 procent, en något bättre växlingskurs. Energiutbytet är analogt med myntutbytet och exergiutbytet är analogt med det ekonomiska utbytet. I ett kraftvärmeverk — både el(kraft)- och värmeproduktion — är energiutbytet ca 85 procent men exergiutbytet är bara 40 procent, vilket är samma som för ett värmekraftverk — bara elproduktion (ur värme). Vi kan alltså konstatera att det maximala energiutbytet (jfr "myntutbytet") mycket väl kan överstiga 100 procent då vi producerar värme, exergiutbytet ("värdeutbytet") däremot kan aldrig överstiga 100 procent — en grundläggande naturlag. En tiokrona kan vi växla i tjugo femtioöringar och på samma sätt kan vi, vid en ideal process, "växla" en energienhet el i tjugo energienheter rumsvärme, men fortfarande har vi en tiokrona eller en exergienhet.

## 1.1 Primära exergibärare

Primära exergibärare kommer från naturen som sk naturresurser, t ex råolja, uran, biobränslen. Dessa kan sedan omvandlas till sekundära exergibärare samtidigt som en del av exergin går förlorad. Alla processer innebär en exergiförlust, allt enligt termodynamikens 2:a lag — exergilagen.

De primära exergibärarna i Göteborgs kommun är:

- Petroleumprodukter (Eo1-Eo5, WRD, bensin och diesel)
- Gas (Naturgas, propan, butan)
- Kol
- Biobränsle

De primära exergibärarna har i denna rapport angivits samma exergi- och energivärde. Vid en noggrannare analys baserad på uppgifter om exergibärarnas kemiska sammansättning kan dock exakta skillnader beräknas. Skillnaderna mellan energi- och exergivärdet ligger i denna studie helt inom felmarginalen dvs någon procents avvikelse.

De primära exergibärarna omvandlas sedan till sekundära exergibärare (se kap. 1.2) eller levereras ut till slutanvändarna.

## 1.2 Sekundära exergibärare

De sekundära exergibärarna härrör ur de primära exergibärarna. Dessa omvandlas i första hand hos energibolagen som Göteborg Energi AB men vissa primära exergibärare omvandlas direkt hos slutanvändarna.

De sekundära exergibärare som förekommer i Göteborgs kommun är:

- Elektricitet
- Stadsgas
- Hetvatten (värme)

### Elektricitet

El har samma energi som exergi då det bl a genom supraledning påvisats att elektricitet är en "ren" exergibärare som inte innebär att kvalitet (exergi) spontant går förlorat (dvs entropi, oordning, produceras inte). Men i praktiken, dvs ingen supraledning, sker det en energiomvandling i ledningarna på grund av det elektriska motståndet (Ohms lag). El omvandlas då till värme vilket innebär en exergiförlust — exergi förstörs. Den el som förloras blir till värme som försvinner ut i omgivningen — omgivningsvärme. Energimässigt innebär värmeproduktionen att elenergi omvandlas till värmeenergi, men ingen energi förstörs. Enligt termodynamikens 1:a lag — energilagen — är nämligen energin oförstörbar, den kan bara omvandlas i mer eller mindre användbara former.

Det är viktigt att komma ihåg att elen, som till allra största delen köps in till kommunen, producerats i anläggningar med begränsad effektivitet. Detta innebär stora exergiförluster och stor miljöbelastning i samhället utanför kommunen. I rapporten *Exergi och helhetssyn — en tillämpning på Göteborg* finns därför också en beskrivning av exergiomsättningen för det svenska samhället. Därav framgår hur stora dessa förluster är och hur Göteborgs kommun är del av ett större energisystem.

### Stadsgas

Stadsgas framställs av propan, butan och naturgas<sup>†</sup>. Under våren 1993 har stadsgasen ersatts av en blandning av naturgas och luft, vilken kallas gas och begreppet stadsgas försvinner.

### Hetvatten

Hetvatten är den exergibärare där skillnaden mellan energi och exergi är störst, i denna studie. Exergin är starkt beroende av temperaturen på vattnet samt omgivningens temperatur. Het ånga har större exergivärde än luft vid rumstemperatur. Praktiskt taget alla exergibärare samt el omvandlas tills sist till värme av temperatur nära omgivningen dvs låg kvalitet och lite exergi.

---

<sup>†</sup> En mer korrekt benämning är fossilgas, eftersom denna gas har samma ursprung som kol och olja.



Den ineffektiva produktionen av värme är en av de största orsakerna till resursutarmningen och miljöförstörelsen i dagens moderna samhälle. El som har betydligt högre kvalitet än värme borde vara mycket dyrare i förhållande till fjärrvärmens. Att direkt omvandla el till värme är en lyx som vi egentligen inte har råd med. I framtiden måste därför värmeproduktionen effektiviseras och naturliga resursflöden som sol och vind utnyttjas bättre. Det är det enda sättet för att på sikt få bukt med resursförsörjningen och miljöproblemen.

### 1.3 Exergifaktorer

Exergifaktorn  $= \frac{E}{Q} = \frac{\text{Exergi}}{\text{Energi}}$  är ett utmärkt hjälpmedel för att enkelt omvandla energi

till exergi. I denna rapport används endast exergifaktorer för olika slags värme som:

- Fjärrvärme
- Avloppsvärme till värmepumpar
- Värme från värmepumparna

Exergifaktorn för energin vid en konstant temperatur (värmereservoar) som skiljer sig i temperatur från omgivningen är:

$$\frac{E}{Q} = \left| \frac{T - T_0}{T} \right|, \quad (1.1)$$

där  $T$  är absolut temperatur, dvs med enheten K (Kelvin). Temperatur i °C betecknas med  $t$ , och följande samband gäller:  $T \text{ K} = t^\circ\text{C} + 273,15$ .

För fjärrvärme och avloppsvärme används istället exergifaktorn för en begränsad värmemängd

$$\frac{E}{Q} = \left| 1 - \frac{T_0}{T - T_0} \ln \frac{T}{T_0} \right|. \quad (1.2)$$

Exergifaktorn för **utnyttjad**, dvs tillförd minus återförd fjärrvärme blir då

$$\frac{E}{Q} = \left| 1 - \frac{T_0}{T_{fram} - T_{retur}} \ln \frac{T_{fram}}{T_{retur}} \right|, \quad (1.3)$$

där  $T_0$  är utomhustemperaturen i Göteborg.

## 1.4 Exergifaktorer för Göteborgs kommun 1991

En tabell för beräkningen av exergifaktorer månadsvis finns i Appendix A.

### Medeltemperatur

Omgivningstemperaturen förändras ständigt under året och vi har därför valt medeltemperaturer för varje månad som referenstemperatur vid beräkningen av exergivärdena.

Figur 1.2. Medeltemperatur månadsvis för Göteborgs kommun 1991.

### Avloppsvatten till värmepumparna

Exergifaktorn för avloppsvattnet beräknas enligt ekv. 1.2. Två fall beräknas då avloppsvattnets temperatur antas variera mellan +5°C och +10°C. Sedan tas ett årsmedelvärde av dessa.

$$\text{Fall 1 då } t = 5^{\circ}\text{C} \quad \frac{E}{Q} = \left| 1 - \frac{T_0}{278,15 - T_0} \ln \frac{278,15}{T_0} \right| \text{ se Appendix A}$$

$$\text{Fall 2 då } t = 10^{\circ}\text{C} \quad \frac{E}{Q} = \left| 1 - \frac{T_0}{283,15 - T_0} \ln \frac{283,15}{T_0} \right| \text{ se Appendix A}$$

Exergifaktorn ligger mellan ungefär 0,009 - 0,010. Då uppgifter saknas om hur temperaturen varierar i detalj över året så har exergifaktorn antagits till  $E/Q_{\text{avloppsvärme}} = 0,01$ , med hänsyn till gjorda mätningar av medeltemperaturen.

**Fjärrvärme**

Exergifaktorn för fjärrvärme beräknas från framlednings- och returtemperaturen, som kan beräknas enligt:

$$t_{\text{fram}} = 115^{\circ}\text{C} \quad \text{då } t_0 < -20^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{fram}} = 75^{\circ}\text{C} \quad \text{då } t_0 > 12^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{fram}} = 75 + (115 - 75) \times \frac{12 - T_0}{12 - (-20)} \quad \text{För övriga temperaturintervall}$$

$$t_{\text{retur}} = 53 + (69 - 53) \times \frac{6 - T_0}{6 - (-20)} \quad \text{då } t_0 < 6^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{retur}} = 53 + (56 - 53) \times \frac{T_0 - 6}{25 - 6} \quad \text{då } t_0 > 6^{\circ}\text{C}$$

Exergifaktorn för fjärrvärmens beräknas nu enligt ekv. 1.3

$$\frac{E}{Q} = \left| 1 - \frac{T_0}{T_{\text{fram}} - T_{\text{retur}}} \ln \frac{T_{\text{fram}}}{T_{\text{retur}}} \right|, \text{ se Appendix A}$$

Årsmedelfaktorn för fjärrvärme kan beräknas till  $E/Q_{\text{fjärrvärme}} = 0,19$ , se tabell B.2, Appendix B.

**Värme från värmepumparna**

Avloppsvärmepumparna klarar inte av att leverera tillräckligt hög temperatur för fjärrvärmenätet utan temperaturen måste höjas ytterligare. De klarar maximalt av att leverera en framledningstemperatur på 85°C. I denna rapport antas levererad temperatur på hetvattnet vara samma som det övriga fjärrvärmesystemets varför exergifaktorn blir det samma som fjärrvärmens.

**Köpt värme (spillvärme)**

Göteborg Energi AB köper spillvärme från industrin inom Göteborg för användning till fjärrvärme. Temperaturen varierar beroende på var ifrån hetvattnet kommer. I denna rapport antas mottagen temperatur på hetvattnet vara samma som det övriga fjärrvärmesystemets varför exergifaktorn blir det samma som fjärrvärmens.

## 2. EXERGIOMSÄTTNING I GÖTEBORG 1991

Denna studie behandlar Göteborgs kommun, 1991. Systemgränsen är samma som kommungränsen. En del energislag blir då missvisande. De inköpta sekundära exergibärarna som elektricitet kan inte direkt jämföras med de övriga exergibärarna. Elen kan upplevas som effektivare och miljövänligare än andra exergibärare men så är inte fallet då den har genomgått energiomvandling med exergiförlust utanför kommunen.

Alla primära exergibärare som utnyttjas inom kommunen inköps samt det mesta av elektriciteten (sekundär exergibärare). Göteborg Energi AB säljer en liten del hetvatten till Mölndal.

Till fjärrvärmens utnyttjas spillvärme från industrisektorn. Temperaturerna på köpt hetvatten samt hetvattnet från värmepumparna i Rya antas vara samma som levererad fjärrvärmetemperatur ut till kund.

### 2.1 Exergiinflödet Naturliga exergiinflöden

Göteborgs landareal uppgår till 445 km<sup>2</sup> och härtill kommer havsytan 290 km<sup>2</sup>. Landarealen fördelar sig mellan: tätort 22%, jordbruksmark 11%, skog 45% och övrig mark 22%. Det årliga inflödet av solljus motsvarar ca 1 000 kWh/m<sup>2</sup>, vilket ger 445000 GWh/år över landarealen och 290000 GWh/år över havsytan dvs totalt 735000 GWh energi. Exergifaktorn för solljus är 0.93 vilket medför att 735000×0.93 = 684000 GWh exergi når Göteborg som solljus varje år. Tillgången på vindexergi kan uppskattas till ca 0,028 kWh/m<sup>2</sup> år, vilket ger en total vindexergi över havsytan på ca 8 GWh per år. Avkastningen från jordbruksmarken kan uppskattas till ca 1% av solexergiinflödet vilket ger en total exergi i grödan av ca 7000 GWh per år. Avkastningen från skogsmarken är ca 0.1% av solexergiinflödet vilket ger nära 700 GWh från skogsmarken i Göteborg. Göta älvs sötvatten som rinner ut i det salta havet innebär att stora exergimängder omvandlas till värme. Göta älvs utlopp i Kattegatt motsvarar ett vattenfall på ca 150 meters fallhöjd. Tyvärr är denna exergi mycket svår att utvinna eftersom det krävs mycket sofistikerad teknik som tunna membran, vilka snabbt skulle sättas igen av växtligheten. De naturliga fysiska resurserna behandlas utförligare i rapporten: G. Wall *Exergi och helhetsyn — en tillämpning på Göteborg*.

Exergi når alltså Göteborg i naturliga flöden som solljus, vind och sötvatten, genom fonder sk levande bestånd i form av mat och trä och från lager sk döda bestånd (ej förnybara) som kol, olja och gas. Uppskattningarna av de årliga förnybara resurserna gav: solljus 684000 GWh mot Göteborgs land- och havsyta, vind 8 GWh över havsytan, gröda 7000 GWh, virke 700 GWh och Göta älvs sötvatten 1110000 GWh.

Det naturliga resursflödet över Göteborg framstår således som enormt. Av detta skulle sol och vind kunna göra göteborgarna mer än självförsörjande på värme och el. De enorma exergiresurserna som går förlorade då Göta älvs sötvatten blandas med det salta havsvattnet är svårt att utnyttja, men de kommer oss i alla fall till godo som en varmare och fuktigare omgivning.

De förnybara resurserna kan vi tillåta oss att slösa med, men de ej förnybara måste utnyttjas maximalt då de också innebär svåra miljöstörningar. Idag tillvaratas endast avkastningen från åker och skog, dvs en bråkdel av exergiinflödet. Solexergiinflödet över Göteborgs tätort, som utgör ca 100 km<sup>2</sup>, är ca 92000 GWh per år samtidigt som exergibehovet för uppvärmning i Göteborg, se *Exergi och helhetsyn — en tillämpning på Göteborg*, är 350 GWh per år. Mindre än 0.5 procent av solexergin skulle alltså kunna täcka hela uppvärmningsbehovet. Solexergiinflödet mot ett enskilt hus motsvarar ofta mer än 100 gånger uppvärmningsbehovet.

### **Inköp av exergibärare till Göteborgs kommun**

Idag utnyttjas inte de naturliga exergiinflödena nämnvärt så Göteborgs kommun måste köpa in sitt exergibehov, i form av lager- och fondresurser. Fondresurserna i kommunen utnyttjas också marginellt vilket på sikt måste ändras för att ett samhälle skall vara livskraftigt.

Lagerresurser som köps in är kol, Eo1-Eo5, WRD, bensin, diesel, naturgas, butan och propan. Den enda fondresurs som köps är biobränsle. Dessa resurser förädlas inom kommunen dels av Göteborg Energi AB dels av slutanvändarna.

Övriga exergiinflöden till kommunen är sekundära exergibärare som elektricitet och hetvatten. Dessa kan uppfattas som mer effektiva och miljövänliga än de resurser som omvandlas inom Göteborgs kommun. Detta är inte sant då elektricitet och hetvattnet utanför kommunen har genomgått energiomvandling med liknande exergiförluster som i Göteborg. I tabell 2.1 redovisas mängd inköpta resurser omräknat till exergi. För alla dessa utom hetvatten gäller att energi och exergi är analogt.

Tabell 2.1. Mängd av inköpta exergibärare till Göteborgs kommun.

Namn	Mängd	Exergiinnehåll	Exergi [GWh]
Elektricitet			4312
Bensin	211400 m <sup>3</sup>	8,7 MWh/m <sup>3</sup>	1839
Naturgas	119832 kNm <sup>3</sup>	10,9 MWh/kNm <sup>3</sup>	1300
Eo1	114327 m <sup>3</sup>	9,9 MWh/m <sup>3</sup>	1132
Diesel	76500 m <sup>3</sup>	9,92 MWh/m <sup>3</sup>	759
Eo5	47449 m <sup>3</sup>	10,8 MWh/m <sup>3</sup>	512
Kol	20094 ton	7,2 MWh/ton	145
Eo4	12400 m <sup>3</sup>	10,7 MWh/m <sup>3</sup>	133
Butan, propan	8788 ton	12,8 MWh/ton	112
WRD	6754 m <sup>3</sup>	10,3 MWh/m <sup>3</sup>	70
Eo2, 3	3900 m <sup>3</sup>	10,6 MWh/m <sup>3</sup>	41
Biobränsle	1854 ton	4,0 MWh/ton	7
Hetvatten <sup>1</sup>			0,2
Totalt:			10362,2 GWh

<sup>1</sup>Energiinnehållet för det importerade hetvattnet uppgår till 1 GWh.

## 2.2 Exergiomvandling vid Göteborg Energi AB

Göteborg Energi AB (GE) är kommunens dominerande energibolag. GE omsätter ca 57% av den totala energiomsättningen i kommunen. Resterande del av omsättningen sker hos slutanvändarna. GE är den dominerande leverantören av elektricitet, gas och fjärrvärme. Huvudparten av elen köps in från Vattenfall och distribueras ut till slutanvändarna genom GE. En viss del av elen produceras i GE:s egna anläggningar. All gashantering inom Göteborg sköts av GE.

### Hjälpkraftsbehov

Göteborg Energi AB utnyttjar ca 262 GWh el till sin verksamhet. Elen används till:

- Värmepumparna vid Rya 224,2 GWh
- Distribution av hetvatten (Fjärrvärme) 16,5 GWh
- Värmeverksdrift 15,6 GWh
- Distribution av gas (naturgas och stadsgas) 4,4 GWh
- Produktion av stadsgasen 1,2 GWh

**Kol**

Kol omvandlas till el och värme vid Sävenäs KVV.

Tabell 2.2. Kolets omvandling vid Göteborg Energi AB till sekundära exergibärare

	Energi GWh	Exergi GWh
<i>Inköp:</i>		
Kol för värmeproduktion	139,8	139,8
Kol för elproduktion	4,9	4,9
<i>Totalt:</i>	<i>144,7</i>	<i>144,7</i>
<i>Omvandlat till:</i>		
El	4,7	4,7
Fjärrvärme	123,3	26,2
Förlust	16,7	
<i>Totalt:</i>	<i>144,7</i>	<i>30,9</i>

**Olja**

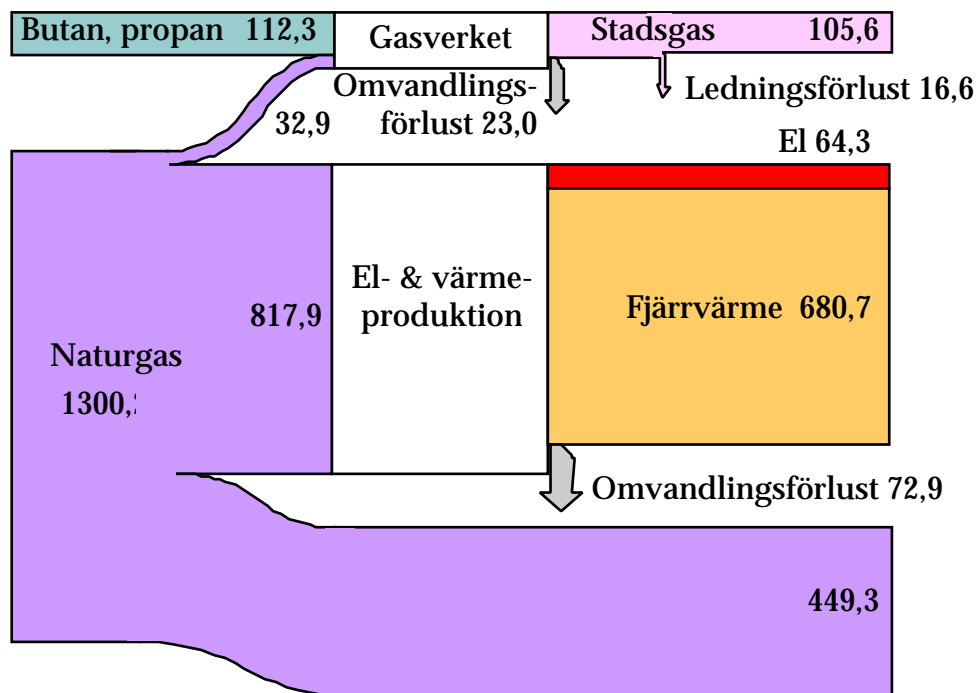
Alla anläggningar utom Ryaverket utnyttjar olja av något slag.

Tabell 2.3. Oljans omvandling vid Göteborg Energi AB till sekundära exergibärare

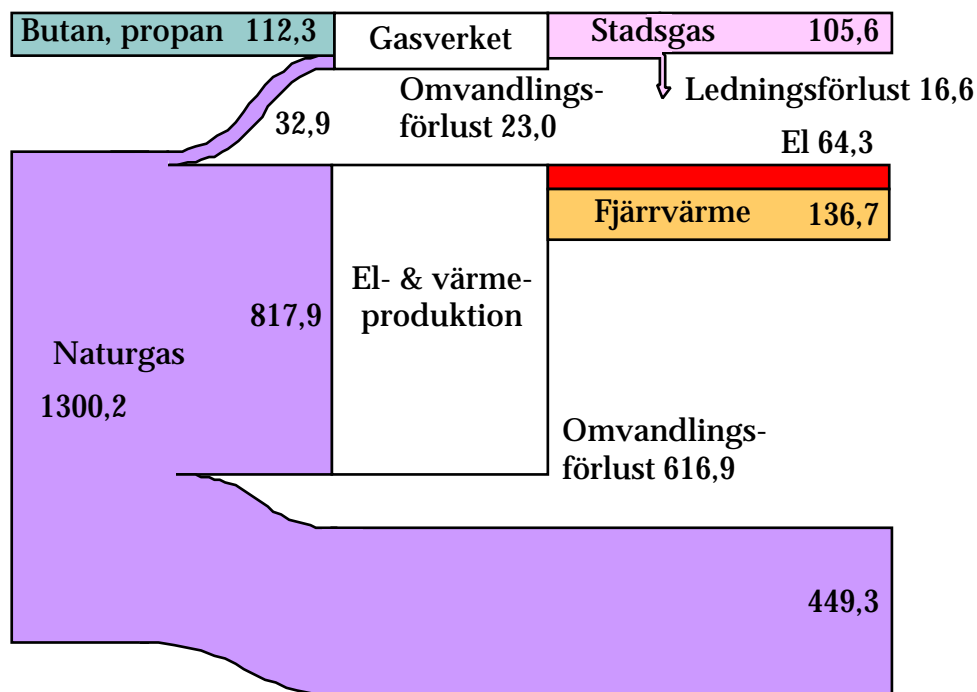
	Energi GWh	Exergi GWh
<i>Inköp: av olja till GE</i>		
Eo5	65,3	65,3
Eo1	2,2	2,2
WRD	1,6	1,6
<i>Totalt:</i>	<i>69,1</i>	<i>69,1</i>
<i>Omvandlat till:</i>		
<i>El :</i>		
Eo5	0,1	0,1
<i>Fjärrvärme:</i>		
Eo5	54,2	11,1
Eo1	1,8	0,3
WRD	1,2	0,2
<i>Förlust</i>	<i>11,8</i>	
<i>Totalt:</i>	<i>69,1</i>	<i>11,7</i>

**Gas**

Göteborg Energi AB köper in naturgas, propan och butan och framställer stadsgas. I figur 2.1 och 2.2 är gasbalansen redovisad. All propan och butan och en viss mängd naturgas omvandlas till stadsgas. Mängden producerad stadsgas uppgår till 26555 kNm<sup>3</sup> (4,6 MWh/kNm<sup>3</sup>) vilket motsvarar 122,2 GWh. Gasverket utnyttjar 51 MWh stadsgas för eget bruk. Ca 63% av naturgasen används till el- och värmeproduktion. Värmen som produceras har olika energi och exergi mängd. Till slutanvändarna levereras stadsgas och naturgas samt producerad el och värme. Ledningsförlusterna är 16,6 GWh för stadsgasen.



Figur 2.1. Gasenergiflöden i Göteborgs kommun 1991 (GWh).



Figur 2.2. Gasexergiflöden i Göteborgs kommun 1991 (GWh).

### Biobränslen

Biobränslen introducerades 1991 i en försöksverksamhet vid Göteborg Energi AB. En del av biobränslet används för försök att tillverka biogas.



Tabell 2.5. Biobränslets omvandling till sekundära exergibärare

	Energi GWh	Exergi GWh
<i>Inköp:</i>		
Biobränsle	7,4	7,4
<i>Omvandlat till:</i>		
Fjärrvärme	6,1	1,1
Förlust	1,3	

### Värmepumparna

Värmepumparna i Ryaverket producerar ca 697,4 GWh värme, som energi, vilket motsvarar ca 134,8 GWh exergi. Till det åtgår 224,2 GWh el. Mängden energi som avloppsvärme som har utnyttjats under året kan beräknas enligt följande: ca 697,4 GWh värme – 224,2 GWh el = 473,2 GWh. Energin är alltså betydande men mängden exergi är betydligt mindre än att avloppsvattnet har nästan omgivningens temperatur (kontrasten är liten). Med exergifaktorn,  $E/Q_{\text{avloppsvärme}} = 0,01$ , blir exergin i avloppsvärmen ca  $473,2 \text{ GWh} \times 0,01 = 4,73 \text{ GWh}$ , dvs en bråkdel av den förbrukade exergin. Värmefaktorn, dvs förhållandet mellan levererad energi som värme och förbrukad elenergi blir 3,11. Exergituttbytet eller exergiverkningsgraden blir ca 59%, vilket måste anses som mycket bra för en värmeproducerande anläggning, jfr fig. 1.1 ovan. Värmefaktorn ger således en felaktig bild av anläggningens effektivitet.

### Köpt värme

Göteborg Energi AB köper hetvatten från GRAAB, Shell, Chalmers, Volvo, Mölndal samt GRYAAB. Hetvattnet används sedan till fjärrvärme distribution.

Tabell 2.6. Köpt hetvatten.

	Energi GWh	Exergi GWh
<i>Inköp:</i>		
GRAAB	657,2	119,1
Shell	826,5	151,8
Chalmers	12,6	2,5
Volvo	1,2	0,2
GRYAAB	11,5	2,1
Mölndal	1,2	0,2
<i>Totalt:</i>	<i>1510,1</i>	<i>275,9</i>

## 2.3 Fördelning av el, gas, fjärrvärme och petroleumprodukter

### Elektricitet

I tabell 2.7 finns elbalansen redovisad. Göteborg Energi AB (GE) distribuerar ca 95% av all el i kommunen. Resterande levereras ifrån Yngeredsfors kraft AB. GE köper in el av

EXERGI- & ENERGIOMSÄTTNINGEN I GÖTEBORGS KOMMUN 1991

Vattenfall, Partille kommun, BP, GRAAB samt vindkraft. GE levererar också tillbaka en del el till Vattenfall.

Göteborgs kommun omsätter mycket inköpt el. Eftersom systemgränsen i denna rapport följer kommunens gräns framstår elanvändningen som mycket effektiv och miljövänlig — elen kommer från ingenstans. Detta är nu inte sant då elen har omvandlats från bränslen som uran och olja eller vattenkraft.

Tabell 2.7. Elbalans för Göteborg Kommun 1991 i Energi/Exergi [GWh].

<i>Tillgängligt</i>	<i>Elbalans</i>		
	<i>Energi/Exergi</i>	<i>Utnyttning</i>	
<i>Inköp:</i>		<i>Användning:</i>	
Vattenfall	4021,9	Göteborg Energi AB	261,5
Yngeredsfors	236,4	Industri	1280,7
Partille kommun	0,04	Kommunikationer	206,0
		Lokaler	627,0
<i>Kommunintern produktion:</i>		Flerbostadshus	787,1
BP	15,0	Småhus	736,2
GRAAB	37,5	Övrigt	338,7
Vindkraft	0,8		
Göteborg Energi AB	69,1	<i>Förluster:</i>	143,2
Summa:	4380,8	Summa:	4380,8

Över ovan redovisade leveranser förekommer direkta leveranser från Vattenfall till Banverkets anläggningar för spårdrift samt till centralstationen. Dessa uppskattas uppgå till maximalt 1 GWh/år och hänsyn till detta tas ej fortsättningsvis.

## Gas

GE sköter all leverans av gas i kommunen. Till slutanvändarna levereras naturgas och stadsgas.

Tabell 2.8. Gasbalans för Göteborgs kommun 1991 i Energi/Exergi [GWh].

<i>Tillgängligt</i>	<i>Gasbalans</i>		
	<i>Energi/Exergi</i>	<i>Utnyttjat</i>	
<i>Inköp:</i>		<i>Användning:</i>	
Naturgas	1300,2	Göteborg Energi AB	963,1
Propan, butan	112,3	Industri <sup>1</sup>	373,2
		Lokaler <sup>1</sup>	48,7
<i>Egen produktion vid Göteborg Energi AB:</i>		Flerbostadshus <sup>1</sup>	45,8
Stadsgas <sup>2</sup>	122,2	Småhus <sup>1</sup>	40,2
		Övrigt <sup>1</sup>	46,9
		<i>Förluster:</i>	16,6
Summa:	1534,7	Summa:	1534,7

1 Utnyttjar naturgas och stadsgas.

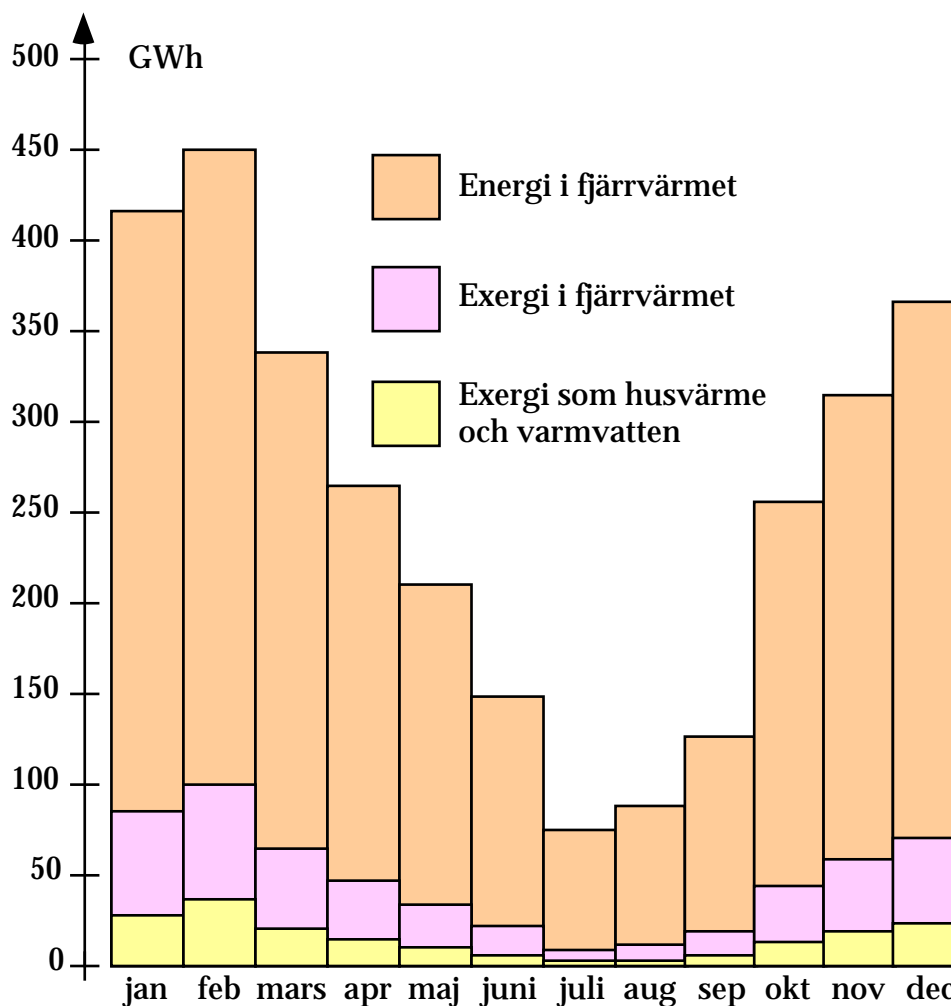
2 Produceras från propan, butan och naturgas som har köpts av GE.

**Fjärrvärme**

GE står för merparten av fjärrvärmeleveranserna inom Göteborgs kommun. GE köper värme ifrån GRAAB, Shell, Chalmers, Volvo och GRYAAB samt har ett samarbetsavtal med Mölndals kommun. I tabell 2.9 finns fjärrvärmebalansen redovisad i energi och exergi.

Tabell 2.9. Fjärrvärmebalans för Göteborg Kommun 1991 i energi och exergi [GWh]. Medelalexergifaktorn E/Q är ca 0,19.

<i>Tillgängligt</i>	<i>Fjärrvärmebalans</i>				
	<i>Energi</i>	<i>Exergi</i>	<i>Utnyttjning</i>	<i>Energi</i>	<i>Exergi</i>
<i>Inköp:</i>			<i>Användning:</i>		
Mölndal	1,2	0,2	Industri	232,0	44,2
			Lokaler	516,0	98,3
			Flerbostadshus	1843,0	351,3
<i>Kommunintern produktion:</i>			Småhus	55,0	10,5
Göteborg Energi AB	1564,8	310,5	Övrigt	72,0	13,7
GRAAB	657,2	119,1			
Shell	826,5	151,8	<i>Export:</i>		
Chalmers	12,6	2,5	Mölndal	46,3	7,5
Volvo	1,2	0,2			
GRYAAB	11,5	2,1	<i>Förluster:</i>		
				310,1	60,9
<b>Summa:</b>	<b>3075,0</b>	<b>586,4</b>	<b>Summa:</b>	<b>3075,0</b>	<b>586,4</b>



Figur 2.3 Energi och exergi i fjärrvärmnet

### Petroleumprodukter

Totala mängden använd petroleum uppgår till 4486 GWh, se uppdelning i tabell 2.10.

Tabell 2.10. Petroleumprodukter för Göteborg Kommun 1991 i energi och exergi [GWh].

Användare	Petroleumanvändning						
	<i>Eo1</i>	<i>Eo2,3</i>	<i>Eo4</i>	<i>Eo5</i>	<i>WRD</i>	<i>Bensin</i>	<i>Diesel</i>
Göteborg Energi AB	2,2			65,3	1,6		
Industri	344,5	41,3	132,7	447,1	52,5		
Lokaler	193,1						
Flerbostadshus	287,1				15,5		
Småhus	304,9						
Transporter						1839,2	758,9
<b>Summa:</b>	<b>1131,8</b>	<b>41,3</b>	<b>132,7</b>	<b>512,4</b>	<b>69,6</b>	<b>1839,2</b>	<b>758,9</b>

## 2.4 Slut användningen

Slut användningen är uppdelad i sju användarkategorier och leverans ut ur kommunen är under export. Distributionsförluster samlas under kategorin förluster.

Slut användarna utnyttjar mestadels sekundära exergibärare i form av elektricitet, stadsgas, fjärrvärme och petroleumprodukter.

Slut användningen av elektriciteten har uppskattas i de flesta fall förutom till kommunikationer, flerbostadshus samt småhus där en mer exakt uppdelning har gjorts.

All gas antas gå till uppvärmning.

Fjärrvärmens antas till 70% gå till uppvärmning samt 30% till varmvatten.

All olja antas gå till värmeproduktion eller för motorfordon i form av bensin och diesel.

Effektiviteten hos slut användarna, dvs hur väl energin och exergin egentligen utnyttjas har inte tagits med då det finns för många osäkra faktorer. Den avgjort största exergiförlusten sker dock då exergibärare som olja och el omvandlas direkt till värme vid rumstemperatur, se fig. 1.1 ovan.

### Industrin

Under kategorin industrin finns:

- Industri
- Elproducenter och värmeverk
- Byggnads- och anläggningsverksamhet
- Vattenverk
- Avlopps-, renings- och renhållningsverk
- Elverk

## EXERGI- &amp; ENERGIOMSÄTTNINGEN I GÖTEBORGS KOMMUN 1991

Tabell 2.11. Industrins energi- och exergianvändning 1991 [GWh].

	<i>Industri</i>	
	<i>Energi</i>	<i>Exergi</i>
<b>Elektricitet</b>		
50% Motorer	640,4	640,4
20% Transporter	256,1	256,1
10% Belysning	128,1	128,1
20% Övrig användning	256,1	256,1
<b>Gas</b>		
Uppvärmning	373,2	373,2
<b>Fjärrvärme</b>		
70% Uppvärmning	162,4	30,9
30% Varmvatten	69,6	13,3
<b>Petroleumprodukter</b>		
Eo1	344,5	344,5
Eo2, 3	41,3	41,3
Eo4	132,7	132,7
Eo5 (Raffinaderierna)	447,1	447,1
WRD	52,5	52,5
<b>Summa:</b>	<b>2904,0</b>	<b>2716,2</b>

**Kommunikationer**

Under kategorin kommunikationer finns:

- Motorfordon
- Järnvägar, spårvägar samt busstrafik
- Gatu- och vägbelysning
- Övriga kommunikationer

Tabell 2.12. Kommunikationers energi- och exergianvändning 1991 [GWh].

	<i>Kommunikationer</i>	
	<i>Energi</i>	<i>Exergi</i>
<b>Elektricitet</b>		
Järn- och spårvägar	66,2	66,2
Gatu- och vägbelysning	57,4	57,4
Övrig användning	82,4	82,4
<b>Bensin</b>		
Motorfordon	1839,2	1839,2
<b>Diesel</b>		
Motorfordon	761,9	761,9
<b>Summa:</b>	<b>2807,1</b>	<b>2807,1</b>

**Lokaler**

Under kategorin lokaler finns:

- Partihandel
- Detaljhandel
- Bank- och försäkringsverksamhet
- Offentlig förvaltning
- Undervisning och forskning
- Hälsovård, åldringsvård o d
- Övrig samhällsservice

Tabell 2.13. Lokalers energi- och exergianvändning 1991 [GWh].

	<i>Lokaler</i>	
	<i>Energi</i>	<i>Exergi</i>
<b>Elektricitet</b>		
25% Uppvärmning	156,8	156,8
25% Belysning	156,8	156,8
50% Övrig användning	313,4	313,4
<b>Gas</b>		
Uppvärmning	48,7	48,7
<b>Fjärrvärme</b>		
70% Uppvärmning	361,2	68,8
30% Varmvatten	154,8	29,5
<b>Eo1</b>		
Uppvärmning	193,1	193,1
<b>Summa:</b>	<b>1384,8</b>	<b>967,1</b>

### Flerbostadshus

Under denna kategori finns:

- 1. Flerbostadshus med elvärme (direkt leverans)
- 2. Flerbostadshus utan elvärme (kollektiv leverans)
- 3. Flerbostadshus utan elvärme (direkt leverans)
- 4. Fastighetsförvaltning

Med statistik från dessa kategorier går det att räkna ut mängden el som går till uppvärmning och hushållsbrukning samt fastighetsförvaltning.

1. För lägenheter utan elvärme finns det 165 355 abonnenter som förbrukar 320,4 GWh el.
2. Kollektivleverans till 337 abonnenter utan elvärme förbrukar 54,1 GWh el. uppdelat på 15 914 st lägenheter.

Hushållsbrukningen fås då ett medelvärde tas för kategori 1 och 2 och blir ca 2 066 kWh/lägenhet el.

3. För lägenheter med elvärme finns det 1 144 abonnenter som förbrukar 9,8 GWh el vilket i genomsnitt blir 8 576 kWh/abonnent, år. Av dessa går 2 066 kWh till hushållsförbrukningen och 6 510 kWh till eluppvärmning.

Det totala antalet lägenheter är 182 413 st.

4. Till fastighetsförvaltning<sup>†</sup> förbrukas 402,8 GWh. Genomsnittet per lägenhet blir då 2 208 kWh/lägenhet, år.

Tabell 2.14. Flerbostadshus energi- och exergianvändning 1991 [GWh].

	<i>Flerbostadshus</i>	
	<i>Energi</i>	<i>Exergi</i>
<b>Elektricitet</b>		
Uppvärmning	7,4	7,4
Hushållsförbrukning	376,9	376,9
Fastighetsförvaltning	402,8	402,8
<b>Gas</b>		
Uppvärmning	45,8	45,8
<b>Fjärrvärme</b>		
70% Uppvärmning	1290,1	245,8
30% Varmvatten	552,9	105,4
Petroleum (Uppvärmning)		
Eol	287,1	287,1
WRD	15,5	15,5
<b>Summa:</b>	<b>2978,5</b>	<b>1486,7</b>

## Småhus

Under kategorin småhus finns:

- 1. Småhus utan elvärme
- 2. Småhus med elvärme utan komplement
- 3. Småhus med elvärme med komplement
- 4. Fritidsbostäder

Med statistik från dessa kategorier går det att räkna ut mängden el som går till uppvärmning och hushållsförbrukning.

1. För småhus utan elvärme finns det 13 255 abonnenter som utnyttjar 88,5 GWh el vilket i genomsnitt blir 6 679 kWh/abonnent, år.

2. För småhus med enbart elvärme finns det 23 302 abonnenter som utnyttjar 502,8 GWh el vilket i genomsnitt blir 21 577 kWh/abonnent, år. Av dessa går 6 679 kWh till hushållsförbrukningen och 14 898 kWh till uppvärmning.

<sup>†</sup> Abonnemang som enbart avser elpannor, värmepumpar o a gemensamma anordningar (trappbelysning, hissar m m) i flerbostadshus.



3. För småhus med elvärme och komplement finns det 7 047 abonnenter som utnyttjar 126,0 GWh el vilket i genomsnitt blir 17 877 kWh/abbonent, år. Av dessa går 6 679 kWh till hushållsförbrukningen och 11 198 kWh till uppvärmning.
4. För fritidsbostäder finns det 5 260 abonnenter som utnyttjar 18,9 GWh el vilket i genomsnitt blir 3 587 kWh/abbonent, år. Av dessa går 1 076 kWh (ca 30%) till hushållsförbrukningen och 2 511 kWh (ca 70%) till uppvärmning.

Tabell 2.15. Småhus energi- och exergianvändning 1991 [GWh].

	<i>Småhus</i>	
	<i>Energi</i>	<i>Exergi</i>
<b>Elektricitet</b>		
Uppvärmning	439,3	439,3
Hushållsförbrukning	296,9	296,9
<b>Gas</b>		
Uppvärmning	40,2	40,2
<b>Fjärrvärme</b>		
70% Uppvärmning	38,5	7,4
30% Varmvatten	16,5	3,1
<b>Eo1</b>		
Uppvärmning	304,9	304,9
<b>Summa:</b>	<b>1136,3</b>	<b>1091,8</b>

### Övrigt

Under kategorin övrigt finns:

- Jordbruk, skogsbruk o d (liten andel inom Göteborgs kommun)
- Övrigt

Tabell 2.16. Övrigt energi- och exergianvändning 1991 [GWh].

	<i>Övrigt</i>	
	<i>Energi</i>	<i>Exergi</i>
<b>Elektricitet</b>		
Övrig användning	338,7	338,7
<b>Gas</b>		
Uppvärmning	46,9	46,9
<b>Fjärrvärme</b>		
70% Uppvärmning	50,4	9,6
30% Varmvatten	21,6	4,1
<b>Summa:</b>	<b>457,6</b>	<b>399,3</b>

### Export

Värme levereras till Mölndal motsvarande ca 46,3 GWh energi (ca 7,5 GWh exergi).

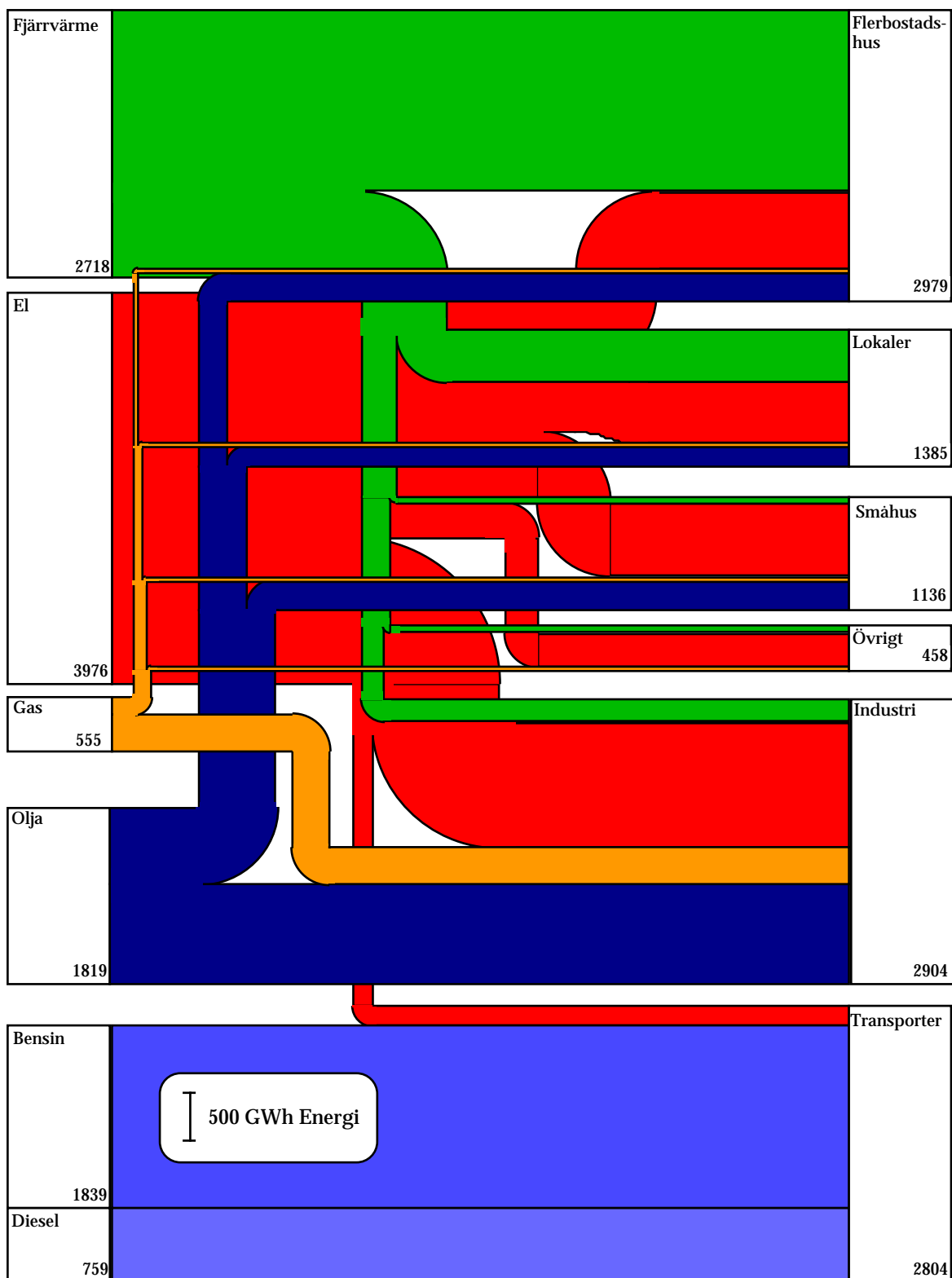
## Förluster

Distributionsförlusterna är:

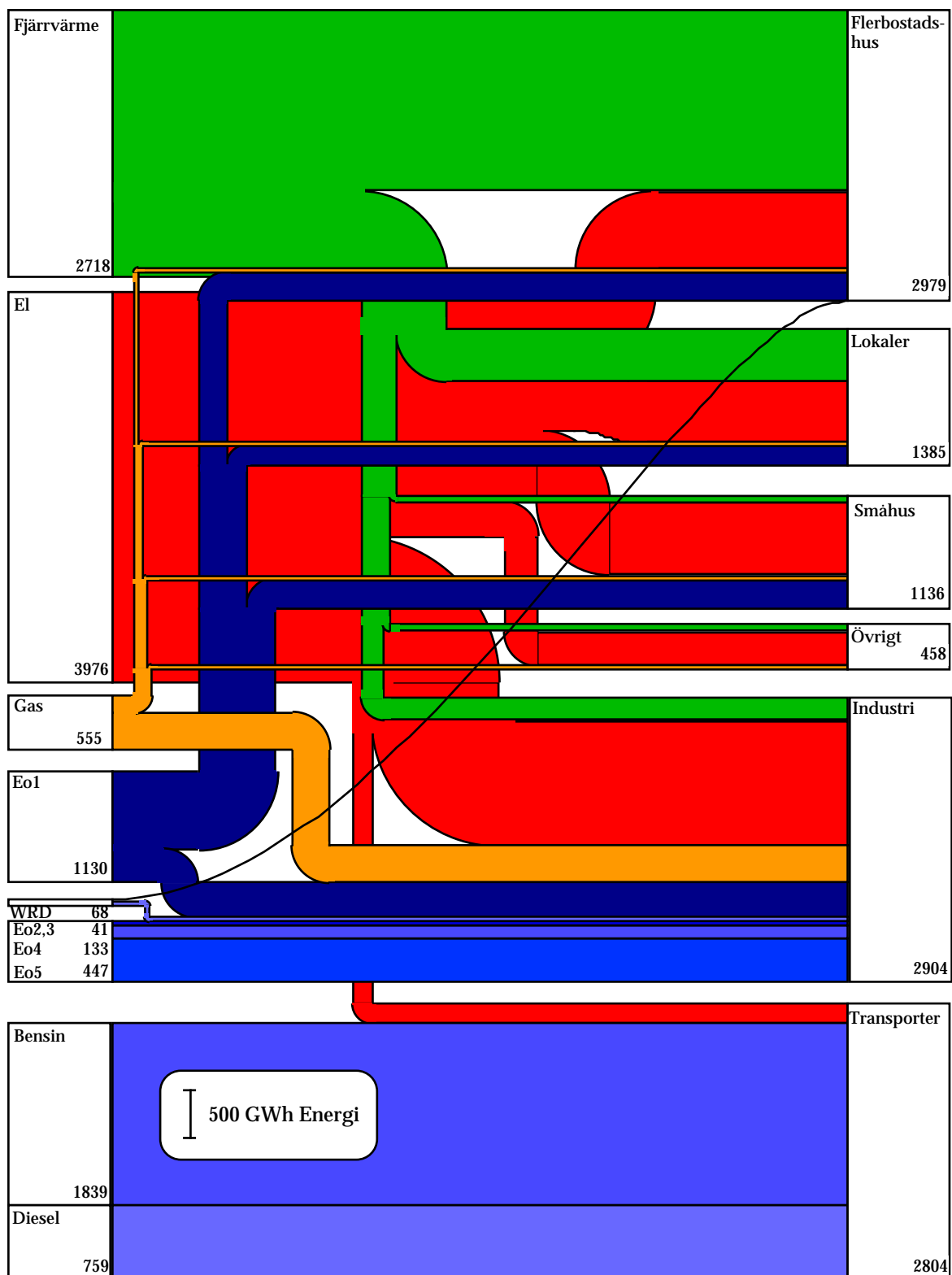
- Elektricitet: 143,2 GWh
- Gas: 16,6 GWh
- Fjärrvärme: 310,6 GWh energi och 60,9 GWh exergi

## 2.5 Sammanställning av energisystemet

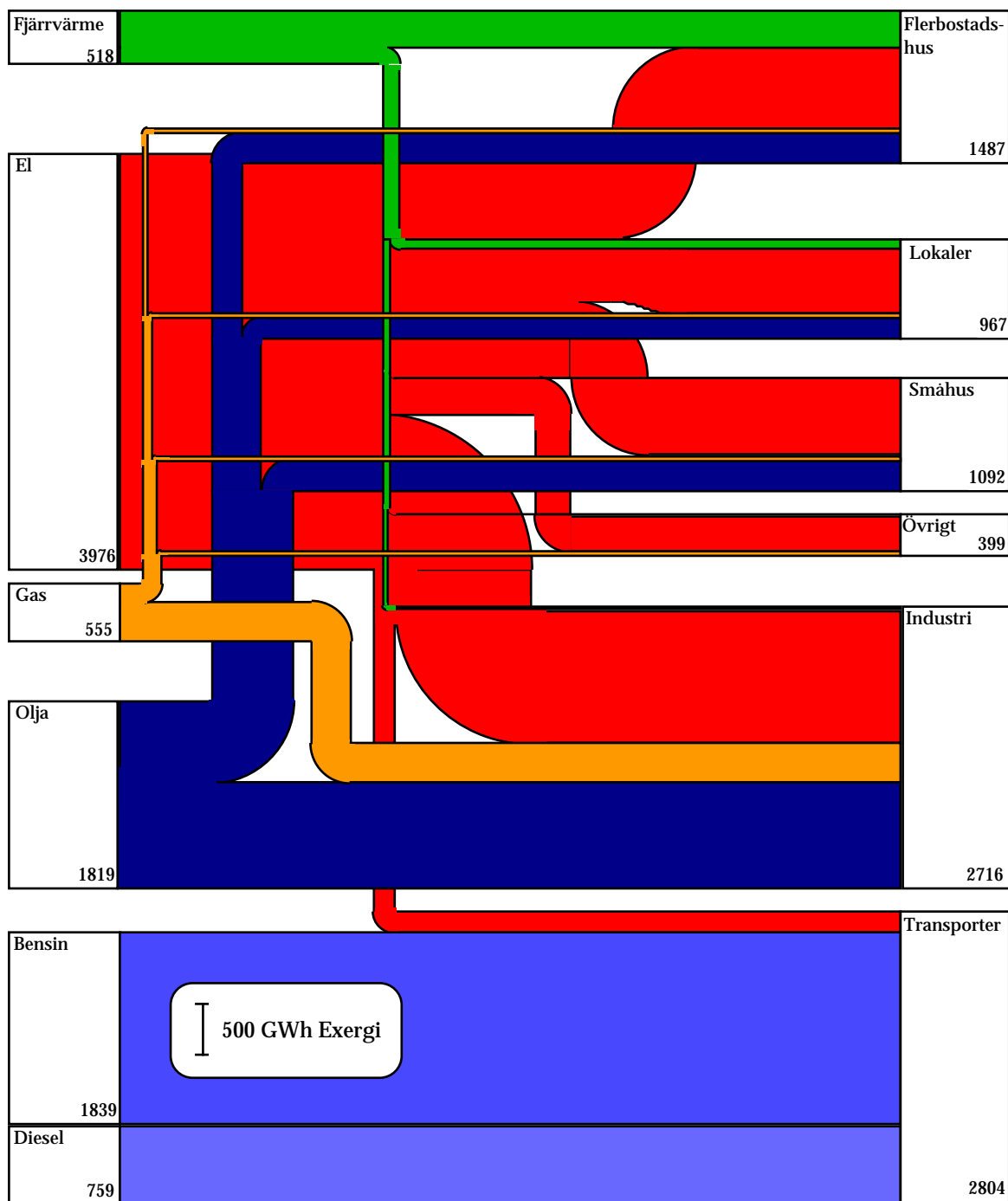
Nedan följer en sammanställning i form av energi- och exergiflödesdiagram för dels omsättningen av fjärrvärme, el, gas och oljeprodukter i Göteborgs kommun 1991, fig. 2.4 a & b och 2.5 a & b, dels energi- och exergiomsättningen vid GE 1991, fig. 2.6 och 2.7, samt dels en mer detaljerad beskrivning av produktionen av el, gas och fjärrvärme vid GE 1991, fig. 2.8 och 2.9. Dessa figurer återfinns också i en färgbilaga sist i rapporten. Skillnaden mellan energi- och exergibetraktelser är mycket tydlig — produktionen av fjärrvärme är inte alls så effektiv som energiflödet visar. I vissa diagram har även effektiviteten i omvandlingen angivits, i energifallet är denna ofta kring 90%, men i exergifallet istället ofta kring 20 till 30 %.



Figur 2.4 a Energiomsättningen 1991 i Göteborgs kommun av fjärrvärme el, gas och olika oljeprodukter.

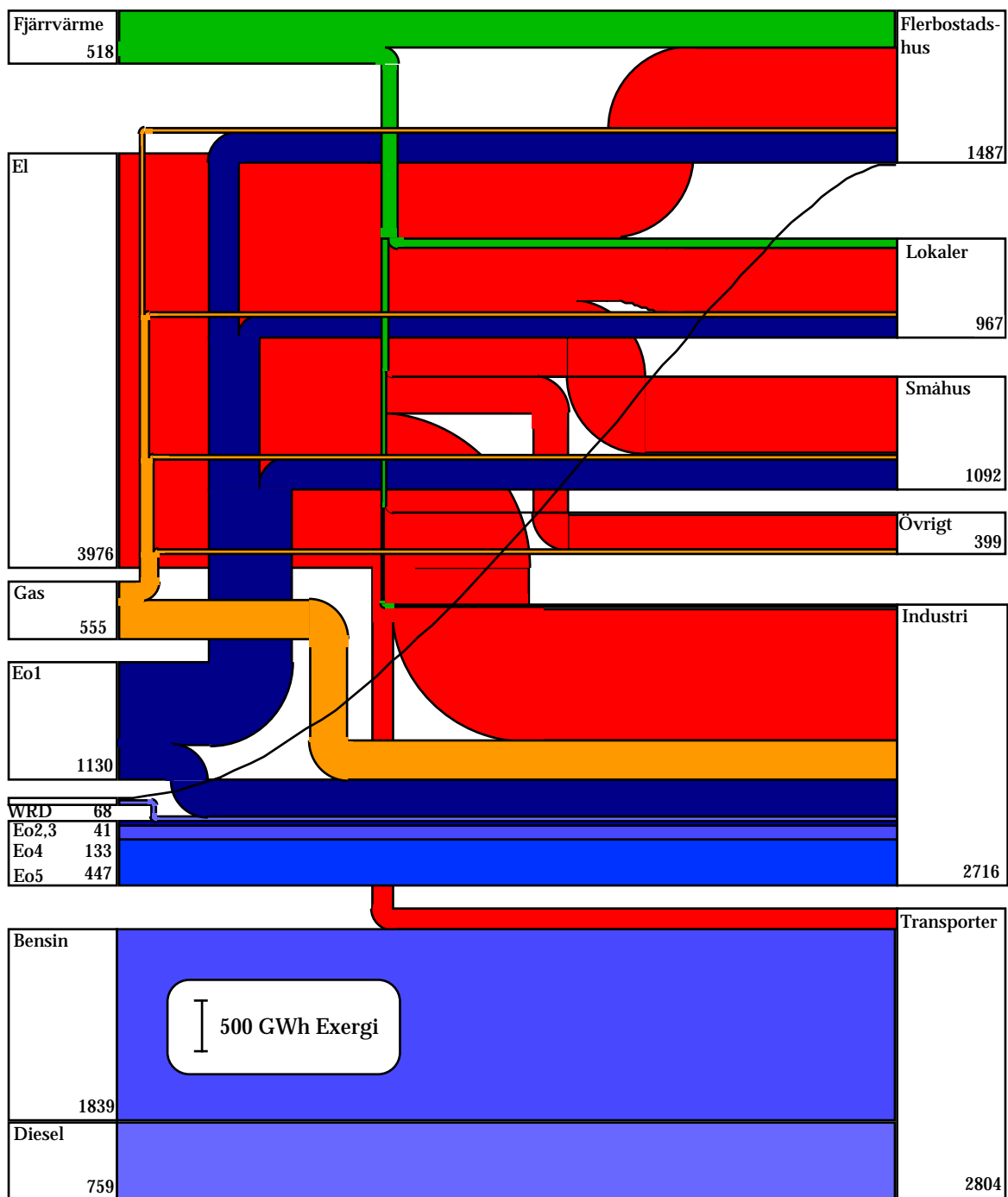


Figur 2.4 b Energiomsättningen 1991 i Göteborgs kommun av fjärrvärme el, gas och olika oljeprodukter, som specificerats i detalj.

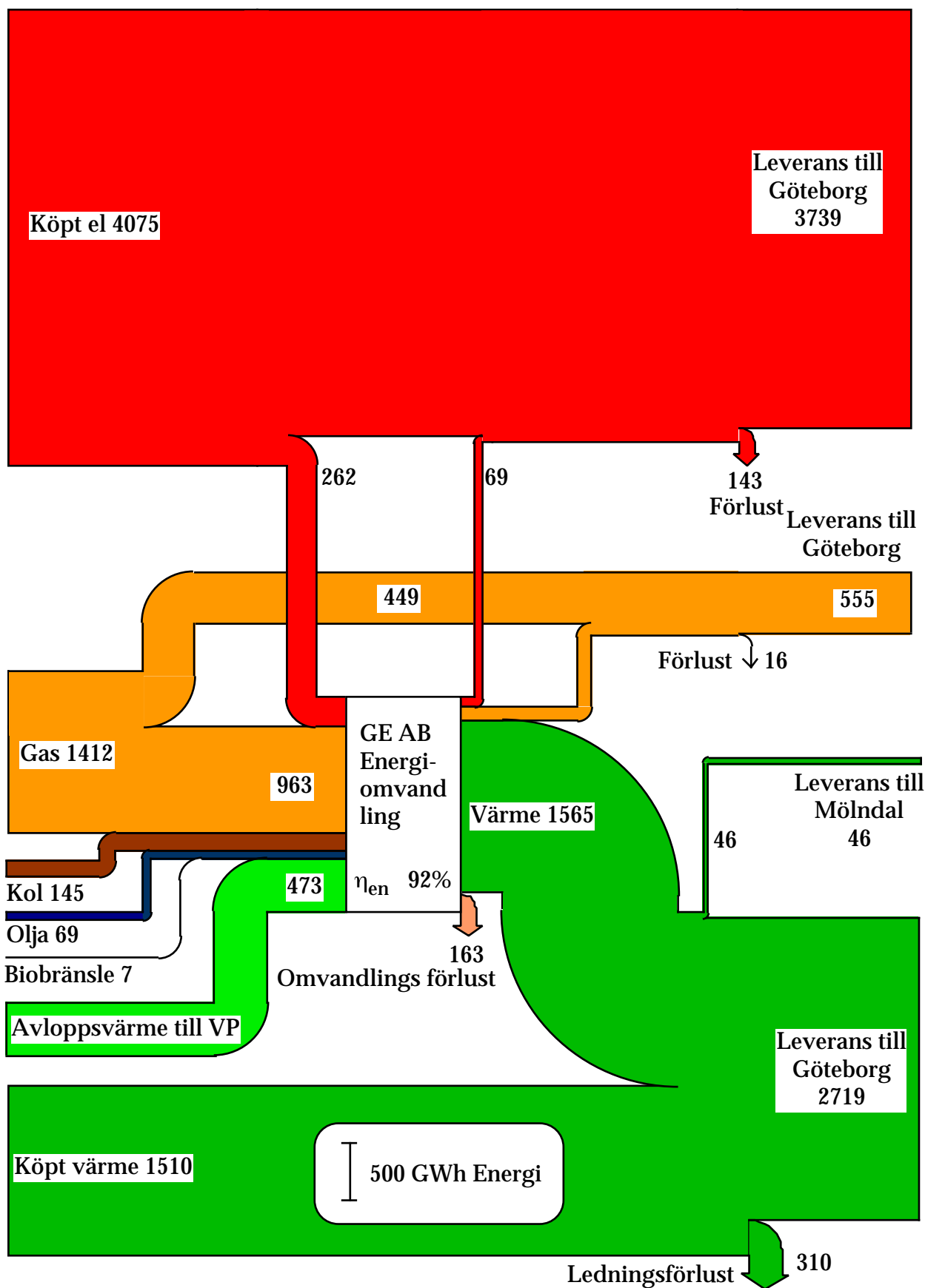


Figur 2.5 a Exergiomsättningen 1991 i Göteborgs kommun av fjärrvärme el, gas och olika oljeprodukter.

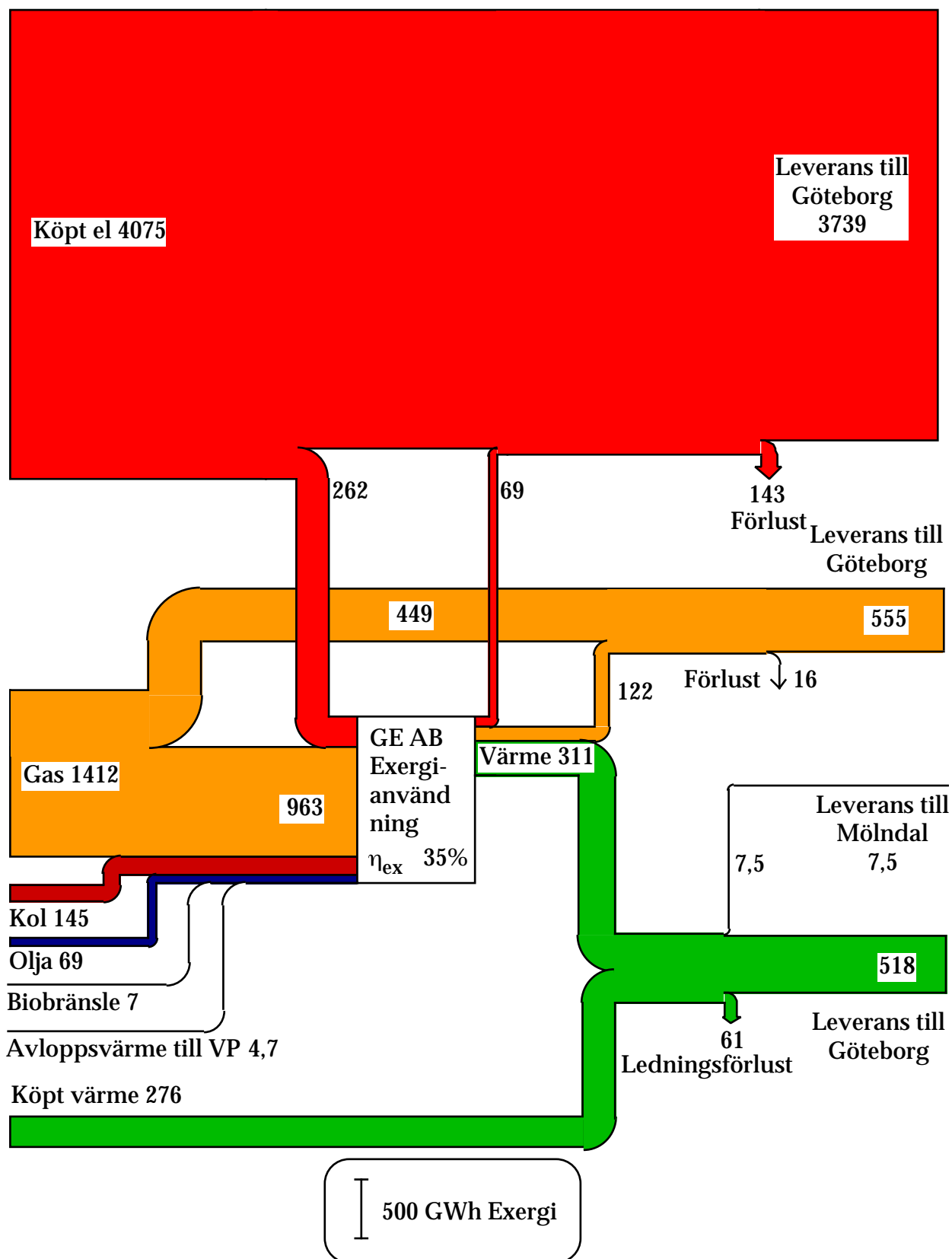
Exergiomsättningen domineras av el. Jämfört med energiomsättningen i fig. 2.4 a & b framstår nu fjärrvärmen som blygsamt, vilket beror av den låga exergifaktorn, ca 0,19. Transportsektorn svarar också för en betydande energi- och exergiomsättning, vilket även har allvarliga konsekvenser för miljön.



Figur 2.5 b Exergiomsättningen 1991 i Göteborgs kommun av fjärrvärme el, gas och olika oljeprodukter, som specificerats i detalj.



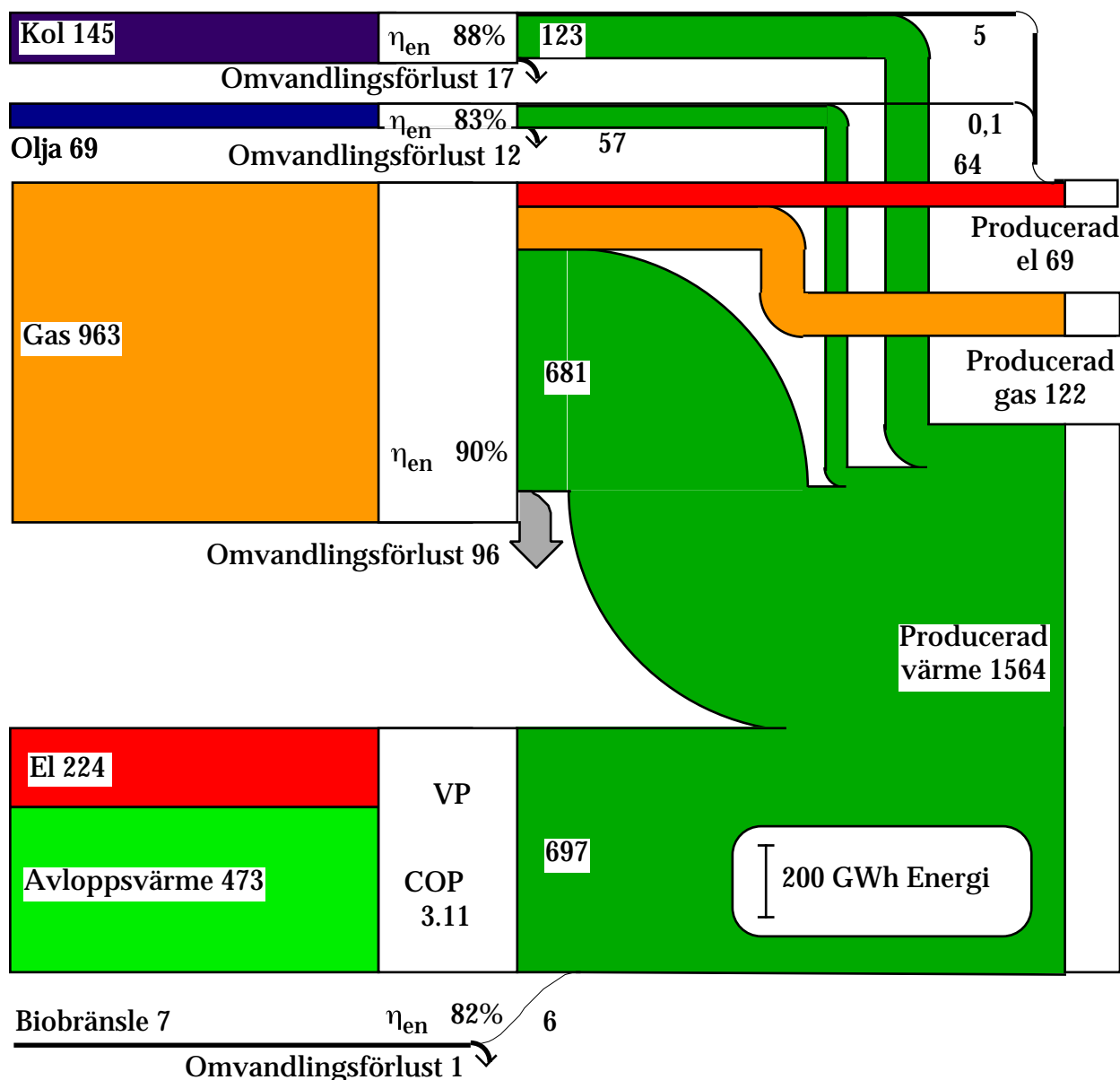
Figur 2.6 Energiomsättningen 1991 vid Göteborg Energi AB.



Figur 2.7 Exergiomsättningen 1991 vid Göteborg Energi AB.

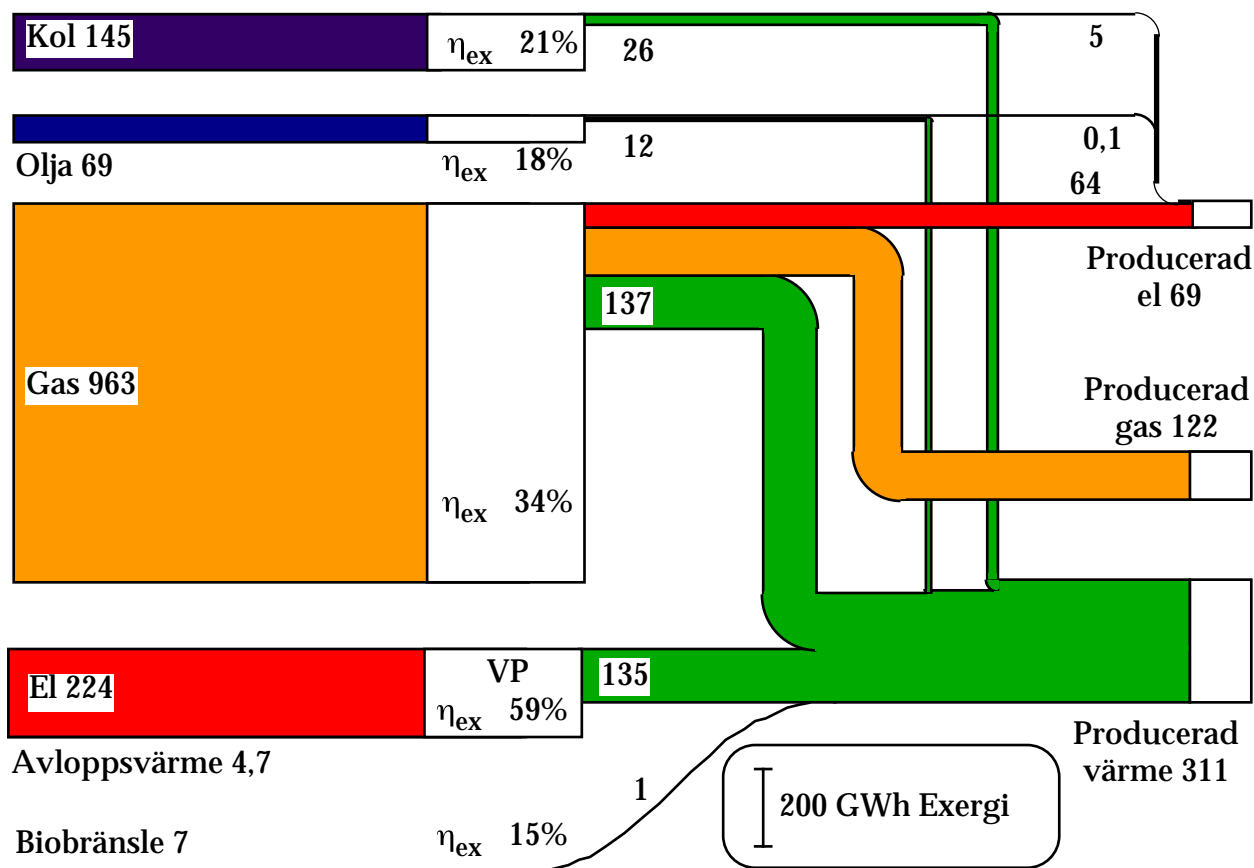


En jämförelse mellan fig. 2.6 och 2.7 ger vid handen att betydelsen av fjärrvärmens överskattas vid en energibetraktelse, från 1565 GWh i energifallet till 311 GWh i exergifallet. I exergidiagrammet fig. 2.7, framstår fjärrvärmens som mindre betydelsefullt, vilket också är mer realistiskt. Exergivärdet för den utnyttjade avloppsvärmen i värmepumpsanläggningen i Rya är endast en hundradel av energivärdet. Effektiviteten i omvandlingen vid GE framstår i energidiagrammet i fig. 2.6 som relativt god, eller ca 92%, men i exergidiagrammet i fig. 2.7 blir effektiviteten endast 35%. Låt oss nu se närmare på denna omvandling. I fig. 2.8 och 2.9 framgår tydligare ur de olika energislagen omvandlas vid GE.



Figur 2.8 Energiomsättningen 1991 vid Göteborg Energi AB vid produktionen av el, gas och värme.

Av energiomsättningen i fig. 2.8 framstår omvandlingarna som mycket effektiva, men av exergidiagrammet i fig. 2.9, nedan får vi en helt annan bild. Den enda omvandling som nu framstår som effektiv är värmepumpen med ett värmeutbyte av ca 59%, vilket måste anses som mycket högt. Detta kan jämföras med om elektriciteten istället använts för direkt uppvärmning av fjärrvärmes genom elektrisk kortslutning över ett motstånd, då skulle värmeutbytet istället varit endast ca 20%.



Figur 2.9 Exergiomsättningen 1991 vid Göteborg Energi AB vid produktionen av el, gas och värme.

Figuren 2.9 ger alltså en bättre bild av var energiresurserna går förlorade i energiomvandlingssystemet.

## 2.6 Slutsatser

Av figurerna ovan framgår klart den stora ineffektiviteten i värmeproduktionen. Genom bättre energihushållning och effektivare omvandlingsteknik, t ex värmepumpar, kan energibehovet minskas och därigenom effektiviteten höjas.

En jämförelse av de olika energislagens energi- och exergivärde i förhållande till de ekonomiska värdena skulle kunna ge en fingervisning om hur taxorna bör förändras för att stimulera en ökad effektivitet och därmed minskad miljöbelastning.

En mer detaljerad kartläggning av exergiförlusterna i energisystemet skulle ge en klarare bild av var pengarna går förlorade, dvs var i systemet som stora vinster kan göras genom ökad effektivisering. Dessutom är exergiutsläpp till omgivningen direkt relaterade till utsläppens miljöeffekter, dvs miljökostnader, vilka också bör begränsas.

En detaljerad kartläggning av fjärrvärmenätet, vad gäller flöden och temperaturer skulle kunna ge information om viktiga möjligheter till ökad effektivisering genom minskade exergiförluster. Detta berördes också i den tidigare studien *Exergi och helhetsyn — en tillämpning på Göteborg*.

Värmepumpsanläggningen i Rya kan antagligen effektiviseras ytterligare genom en bättre totaloptimering av anläggningen. En exergistudie skulle ge svar på detta.

Den nu påbörjade statusbestämningen av stora kunder ger ett mycket gott underlag för att närmare kartlägga exergiförlusterna i Göteborgs kommun och därmed möjligheterna till effektivisering och minskad miljöbelastning. Det är dock viktigt att detta arbete utförs för hela energisystemet så att suboptimeringar undviks.

Energi- och exergianvändningen hos slutanvändarna har inte kartlagts i denna studie, men här finns stora möjligheter att förbättra energiutnyttjandet.

## APPENDIX A

## Temperaturer samt exergifaktorer

Tabell A.1: Redovisning av exergifaktorer som är beroende av utomhustemperaturen 1991.  
 $T_0$  = månadsmedeltemperatur,  $T_{\text{fram}}$  = framledningstemperatur på fjärrvärme,  $T_{\text{retur}}$  = returtemperaturen på fjärrvärme,  $E/Q_{\text{fjärr}}$  = exergifaktorn för fjärrvärme,  $E/Q_{\text{avlopp}}$  = avloppsvatten till värmepumparna.  
 Exergifaktorn har beräknats för två fall.

	$T_0$	$T_{\text{fram}}$	$T_{\text{retur}}$	$E/Q_{\text{fjärr}}$	$E/Q_{\text{avlopp}}$	$E/Q_{\text{avlopp}}$
	(°C)	(°C)	(°C)		$t=5^\circ\text{C}$	$t=10^\circ\text{C}$
Januari	1,04	88,70	56,05	0,21	0,007	0,016
Februari	-2,80	93,50	58,42	0,22	0,014	0,023
Mars	3,06	86,18	54,81	0,20	0,004	0,012
April	5,75	82,81	53,15	0,18	0,001	0,008
Maj	8,98	78,78	53,47	0,17	0,007	0,002
Juni	11,29	75,89	53,84	0,16	0,011	0,002
Juli	17,73	75,00	54,85	0,14	0,022	0,013
Augusti	16,66	75,00	54,68	0,14	0,020	0,012
September	12,67	75,00	54,05	0,15	0,014	0,005
Oktober	7,76	80,30	53,28	0,17	0,005	0,004
November	4,54	84,33	53,90	0,19	0,001	0,010
December	2,88	86,40	54,92	0,20	0,004	0,013
Medel	7,46	81,82	54,62	0,18	0,009	0,010

## APPENDIX B

## Göteborg Energi AB:s verksamhet 1991

Tabell B.1. Göteborg Energi AB:s värmeomsättning 1991 i energi [GWh].

1991 ENERGI	jan.	febr.	mars	april	maj	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	året
Medeltemp. To°C	1,04	-2,80	3,06	5,75	8,98	11,29	17,73	16,66	12,67	7,76	4,52	2,88	7,46
Prod. Värme	264,8	302,5	191,7	149,1	77,6	18,7	4,6	3,7	23,0	147,2	168,5	213,5	1564,8
Kol	31,4	57,8	22,3	2,2	2,9						5,3	1,4	123,3
Olja Eo5	12,2	19,2	2,9	1,0	0,4	0,3	1,6	0,5	0,2	4,7	5,2	6,1	54,2
Olja Eo1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1			0,2	0,3	0,2		0,4	1,8
Olja WRD	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1						0,8		1,2
El värmepumpar	87,2	80,0	84,4	88,9	56,9	14,7			15,3	81,3	91,8	97,0	697,4
Naturgas	133,8	145,2	79,5	55,0	15,9	3,7	3,0	3,0	7,2	60,9	64,9	108,6	680,7
Bio			2,4	1,9	1,4					0,1	0,4		6,1
Köpt värme	148,9	145,9	154,7	121,0	135,1	130,5	71,4	76,5	115,0	109,3	147,7	154,1	1510,1
GRAAB	60,4	50,1	61,2	60,1	54,3	56,9	31,3	37,6	49,7	65,5	62,6	67,4	657,2
Shell netto	85,4	94,0	89,4	57,2	79,8	72,9	39,8	37,8	63,7	40,9	81,1	84,5	826,5
Chalmers	2,8	1,5	2,6	1,3						0,8	2,3	1,3	12,6
Volvo					0,1	0,3		0,3	0,3	0,2			1,2
Mölnadal	0,3			0,2							0,6	0,1	1,2
GRYAAB		0,3	1,5	2,2	0,9	0,5	0,3	0,7	1,3	1,9	1,1	0,8	11,5
Värme totalt	413,8	448,4	346,3	270,2	212,7	149,2	76,0	80,2	138,0	256,5	316,2	367,6	3075,0
Leverans till	2,4	2,4	1,6	2,4	10,0	8,0	4,1	4,3	8,3	13,3	1,1	3,6	61,4
Mölnadal					8,3	7,8	4,1	4,3	7,6	12,9		1,4	46,3
Chalmers	0,2	0,5	0,4	1,3	1,3	0,1			0,6			1,2	5,6
Volvo	2,2	1,9	1,2	1,1	0,4	0,1			0,1	0,4	1,1	1,0	9,5

EXERGI- & ENERGIOMSÄTTNINGEN I GÖTEBORGS KOMMUN 1991

Tabell B.2. Göteborg Energi AB:s värmeomsättning 1991 i exergi [GWh].

1991 EXERGI	jan.	febr.	mars	april	maj	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	året
Exergifaktor E/Q	0,21	0,22	0,20	0,18	0,17	0,16	0,14	0,14	0,15	0,17	0,19	0,20	0,19
Producerad värme	55,0	68,7	37,7	27,7	12,8	2,8	0,6	0,5	3,6	26,4	32,2	42,4	310,5
Kol	6,5	13,1	4,4	0,4	0,5						1,0	0,3	26,2
Olja Eo5	2,5	4,4	0,6	0,2	0,1		0,2	0,1		0,9	1,0	1,2	11,1
Olja Eo1		0,1							0,1			0,1	0,3
Olja WRD											0,2		0,2
El värmepumpar	18,1	18,2	16,6	16,5	9,4	2,2			2,4	14,6	17,6	19,3	134,8
Naturgas	27,8	33,0	15,6	10,2	2,6	0,6	0,4	0,4	1,1	10,9	12,4	21,6	136,7
Bio			0,5	0,3	0,2						0,1		1,1
<b>Köpt värme</b>	<b>30,9</b>	<b>33,1</b>	<b>30,4</b>	<b>22,5</b>	<b>22,2</b>	<b>19,8</b>	<b>9,4</b>	<b>11,0</b>	<b>18,1</b>	<b>19,6</b>	<b>28,3</b>	<b>30,6</b>	<b>275,9</b>
GRAAB	12,5	11,4	12,1	11,2	8,9	8,6	4,1	5,4	7,8	11,7	12,0	13,4	119,1
Shell netto	17,7	21,3	17,6	10,6	13,1	11,1	5,3	5,4	10,0	7,3	15,5	16,8	151,8
Chalmers	0,6	0,3	0,5	0,2						0,1	0,4	0,3	2,5
Volvo								0,1	0,1				0,2
Mölnadal	0,1										0,1		0,2
GRYAAB		0,1	0,3	0,4	0,2	0,1		0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	2,1
<b>Värme totalt</b>	<b>85,9</b>	<b>101,8</b>	<b>68,2</b>	<b>50,3</b>	<b>35,0</b>	<b>22,6</b>	<b>10,0</b>	<b>11,5</b>	<b>21,7</b>	<b>46,0</b>	<b>60,5</b>	<b>73,1</b>	<b>586,4</b>
<b>Leverans till</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>1,7</b>	<b>1,2</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>1,3</b>	<b>2,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,7</b>	<b>10,4</b>
Mölnadal					1,4	1,2	0,5	0,6	1,2	2,3		0,3	7,5
Chalmers	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2				0,1			0,2	1,0
Volvo	0,5	0,4	0,2	0,2	0,1					0,1	0,2	0,2	1,9

Tabell B.3. Göteborg Energi AB:s elproduktion 1991 i energi och exergi [GWh].

	jan.	febr.	mars	april	maj	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	året
Prod. EL	12,0	13,3	8,8							6,4	9,8	19,0	69,2
Kol	1,8	2,3									0,6	0,1	4,8
Olja Eo5												0,1	0,1
Naturgas	10,2	11,0	8,8							6,4	9,2	18,8	64,4

EXERGI- & ENERGIOMSÄTTNINGEN I GÖTEBORGS KOMMUN 1991

Tabell B.4. Göteborg Energi AB:s råvaruförbrukning till el- och värmeproduktion i energi och exergi  
[GWh].

	jan.	febr.	mars	april	maj	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	året
Råvaruförbr. värme	223,5	272,2	147,4	94,5	42,3	9,5	6,4	5,3	13,6	98,2	117,0	162,1	1191,9
Kol	33,2	66,8	26,5	2,8	3,4						5,7	1,5	139,8
Olja Eo5	13,9	23,1	3,7	1,8	0,9	0,3	1,8	0,5	0,2	5,5	6,3	7,2	65,2
Olja Eo1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1			0,3	0,4	0,2	0,1	0,4	2,3
Olja WRD	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1						1,1		1,6
El värmepumpar	28,0	26,1	27,3	28,4	18,0	4,6			4,8	26,0	29,5	31,6	224,3
Naturgas	148,0	155,8	86,5	59,1	18,6	4,6	4,5	4,5	8,2	66,4	73,9	121,4	751,3
Bio			3,2	2,2	1,3					0,1	0,5		7,4
Råvaruförr. El	12,4	13,7	9,1							6,6	10,1	19,7	71,6
Kol	1,8	2,3									0,6	0,1	4,8
Olja Eo5												0,1	0,1
Naturgas	10,5	11,4	9,1							6,6	9,5	19,5	66,6

## LITTERATURFÖRTECKNING

För den som vill läsa mer om exergibegreppet och tillämpning på Göteborg eller andra system rekommenderas följande litteratur, som i de flesta fall kan beställas från G. Wall.

- H. Johansson, O. Carlsson, R. Karlsson, U. Lindgren och G. Wall (1984) "Undersökning av driftkaraktistikor för kombinationen värmepumpar i Rya plus spillvärme från Shell vid sänkning av temperaturen hos fjärrvärmevattnet", 36 s., CTH.
- G. Wall (1977) "Exergy – a Useful Concept within Resource Accounting", rapport nr. 77-42, 76 s.
- G. Wall (1986) "Exergy - a Useful Concept", Doktorsavhandling, 328 s.
- G. Wall (1987) "Exergiflöden i industriella processer", *Energiteknik*, nr. 1, s. 8-11.
- G. Wall (1987) "Vi växlar enkronor mot femöringar", *Ny teknik • Teknisk tidskrift*, nr. 18, s. 22.
- G. Wall (1987) "1. Exergi — ett användbart begrepp", *Energimagasinet*, nr. 3.
- G. Wall (1987) "2. Den svenska exergiomsättningen", *Energimagasinet*, nr. 4.
- G. Wall (1987) "3. Ett resursnålt hus och samhälle", *Energimagasinet*, nr. 5.
- G. Wall (1987) "Exergy Conversion in the Swedish Society", *RESOURCES and ENERGY*, Vol. 9, s. 55-73.
- G. Wall (1988) "Exergy Flows in Industrial Processes", *ENERGY*, Vol. 13, No. 2, s. 197-208.
- G. Wall (1989) *Naturliga fysiska resurser*, 78 s., kompendium.
- G. Wall (1990) *Exergilära*, 166 s., kompendium för självstudier.
- G. Wall (1990) "Exergy Needs to Maintain Real Systems Near Ambient Conditions", "Florence World Energy Research Symposium", 28 Maj-1 Juni, 1990, Florence, Italy, S. S. Stecco, M. J. Moran red., *A Future for Energy*, s. 261-270, Pergamon.
- G. Wall (1990) "Exergy Conversion in the Japanese Society", *ENERGY*, Vol. 15, No. 5, s. 435-444.
- G. Wall (1992) "Exergy, Ecology and Democracy — Concepts of a Vital Society", accepterad för presentation vid "ENSEC'93 International Conferens on Energy Systems and Ecology", 5-9 juli, 1993, Krakow, Polen.
- G. Wall (1992) "Exergi, helhetsyn och intelligens — en tillämpning på Västerås", 178 s., rapport 716-005 STEV och Opuscula No. 6, ISSN 1102-0385.
- G. Wall, Sciubba, E. och Naso, V. (1992) "Exergy use in the Italian society", rapport vid Dipartiment di Meccanica e Aeronautica, Università degli Studi di Roma 'La Sapienza', Rom.
- G. Wall (1992) "Exergi och helhetsyn — en tillämpning på Göteborg", 150 s., Göteborgs Stadsbyggnadskontor och Göteborg Energi AB.