PLANERING AV STÅLPRODUKTIONEN I MEXICO

1 INLEDNING

Materialet till denna uppgift kommer från en studie av stålsektorn i Mexico, som har gjorts i samarbete mellan Mexico och Världsbanken. Sifferuppgifterna har hämtats från en rapport av David Kendrick, Alex Meeraus och Jaime Alatorre. Materialet har anpassats till ett mindre projektarbete, genom att ett antal aggregeringar har gjorts i originalmaterialet.

I Världsbankens analys betraktades således 6 kolgruvor, 8 järnmalmsgruvor, 9 stålverk bestående av fler än 30 olika produktionsenheter, ca 20 färdigvarugrupper och ca 30 rå- och mellanvarugrupper. Varorna fördelades på 9 marknadsområden och det fanns möjlighet för import och export av rå-, mellan- och färdigvaror. I denna uppgift är de mindre gruvorna och stålverken eliminerade, och marknaderna och varugrupperna är aggregerade, så att det bara blir 1 kolgruva, 5 järnmalmsgruvor, 5 stålverk med 7 produktionsprocesser, 2 råvaror, 2 mellanvaror, 2 färdigvaror samt 3 marknadsområden.

I det följande beskrivs generellt stålproduktion och speciellt de processer, som kommer att används i Mexico under planeringsåret, som i denna uppgift är satt till 1985. Sedan följer en beskrivning av råvarusituationen, produktionsenheterna, färdigvarumarknaderna och av geografin och transportsystemet. Beskrivningen innehåller kapaciteter, kostnader, tekniska koefficienter, efterfrågedata, m.m.

2 OM STÅLPRODUKTION

Stål har under de senaste århundradena producerats i en tvåstegsprocess, först reduktion av järnmalm till råjärn, därefter avkolning av råjärnet till stål.

I reduktionsfasen hälls järnmalmen, som huvudsakligen består av järnoxider, tillsammans med koks i en masugn, där en del av koksen förbränns och värmer upp blandningen. Man använder rikligt med koks (kol), och vid höga temperaturer förenar sig en del av kolet, som inte åtgick vid uppvärmningen, med syret i järnmalmen, varvid järnoxiden reduceras till rent järn. Vid temperaturer över ca 800 grader Celsius har järn emellertid en tendens att förena sig med kol, så den färdiga produkten från masugnen, råjärnet, innehåller ca. 4 % kol.

En medelstor masugn kan producera ca 2000 ton råjärn per dygn. Avtappningen av det flytande råjärnet sker genom att det med 3 till 9 timmars mellanrum slås hål i närheten av masugnens botten, varefter 300 till 900 ton råjärn avtappas. Orenheter i malmen och i koksen bildar en slagg, som flyter ovanpå råjärnet. Det tillsätts i regel olika ämnen, bl.a. kalksten, för att göra slaggen lättflytande, så att den också kan tappas av med jämna mellanrum.

En del av råjärnet används direkt under namnet tackjärn. Tackjärn är emellertid förhållandevis skört, och för att få stål, som är mindre hårt och mera segt, måste man ta bort en del av kolet, så att kolinnehållet kommer under 1%. I praktiken används idag tre processtyper för avkolning av råjärnet, de s.k. härdningsprocesserna.

I konverterprocessen, som uppfanns av engelsmannen Bessemer, hälls det flytande råjärnet i en stor behållare (ca 50 ton), som man blåser luft igenom. Kolet förenas med luftens syre och fälls ut som koldioxid, och råjärnet omvandlas till kolfattigt stål. Dessvärre kan det förekomma reaktioner mellan kvävet i luften och orenheter i råjärnet så att stålets styrka nedsätts. Under senare år har man därför på en del ställen övergått till att använda rent syre i konvertern, en så kallad syrebehandling, och metoden ser ut att ha goda framtidsmöjligheter.

I Martinugnen, uppkallad efter fransmannen Pierre Martin, värms råjärnet upp av stora olje- eller gasbrännare, vilkas varma utblåsningsluft blåses över ett stort kar med flytande råjärn. Ett överskott

Plats	Kapacitet, Mton/år	Pris, pesos/ton
Coahuila	13.2	500

Tabell 1: Data för Mexicos kolgruvor

av syre i utblåsningsluften förbränner kolet i råjärnet. En fördel med Martinugnen är, att man kan tillsätta järnmalm till det flytande råjärnet, och syret i järnmalmen förenas med råjärnets kol och förbränns som koldioxid, så att blandningen avkyls. Martinugnen kallas också för Siemens-Martinugn p.g.a. några förbättringar i värmeekonomin, som uppfanns av tysken Siemens. Stålet från dessa ugnar kallas också SM-stål.

Den tredje typen av härdningsprocess sker i s.k. elektrougnar. Råjärnet förvaras i ett stort kar, på samma sätt som i martinugnen, och uppvärmningen sker elektriskt med hjälp av stora elektroder, som bildar ljusbågar till järnbadet. Omkring ljusbågarna förenas kolet med luftens syre, och försvinner som koldioxid. Processen är förhållandevis dyr, men elektrostål anses ha högre kvalitet än stål producerat i konverterare eller martinugn.

De ovan beskrivna processerna med råjärn som mellanprodukt, har använts under en mycket lång tid, dock används ej längre kombinationen masugn/elektrougn. En nyare process, som bl a används i några av Mexicos nyaste stålverk, består i en reduktion av järnmalmen m.h.a. naturgas till s.k. järnsvamp, som färdigbehandlas till stål av en elektrougn. Det flytande stålet, som producerats m.h.a. någon av de ovanför beskrivna härdningsprocesserna, hälls i stora tackjärnsformar, de s.k. kokillerna. När stålet har svalnat något och stelnat, tas det ur kokillerna och transporteras till valsverket, där det genomgår grov-, mellan- och finvalsverken innan det når sin slutliga form som armeringsjärn, profiljärn, plattor e.d. Under valsningsprocessen är det nödvändigt att uppvärma stålet med jämna mellanrum för att uppnå en lämplig valsningstemperatur.

I de olika processerna i järnproduktionen förekommer ett visst spill. Exempelvis blir det en del rester under valsningen från tillskärningen av stålstänger, plattor osv. Dessa spillprodukter returneras och återanvänds i produktionen. De tekniska koefficienterna, som anges i det följande för att beskriva råvaruförbrukningen i varje enskild process , är därför korrigerade för att ta hänsyn till återanvändningen av spillet. De anger således nettoförbrukningen, och kapaciteterna är på samma satt justerade, så att de anger nettokapaciteter.

3 MEXICOS KOL- OCH JÄRNGRUVOR

I denna uppgift nöjer vi oss med att studera de största gruvorna eller gruvområdena.

Fastän det finns många små kolgruvor i vissa delar av Mexico, nöjer vi oss här med att ta med kol producerat i gruvorna i Coahuila-provinsen, som levererar den övervägande delen av Mexicos kol. Relevanta data för detta gruvområde finns i tabell 1

Järnmalmen bryts huvudsakligen i 5 områden. Data för de olika gruvorna ges i tabell 2. Kvalitetstalet i tabellen anger hur stor del av malmen som kan utnyttjas effektivt. En kvalitet på 0.9 betyder således att man ska ha 1/0.9 gånger så mycket järnmalm i masugnen jämfört med om malmen haft kvalitetstal 1.0.

Kapaciteterna hos de enskilda gruvområdena, både för kol och järnmalm, är justerade på så sätt att kapaciteterna för de mindre områdena, som inte är medtagna i data, är sammanslagna med närmaste större gruvområde.

Plats	Kapacitet, Mton/år	Kvalitet	Pris, pesos/ton
Penacol	6,60	0,91	140
Lastruchas	2,85	0,96	150
Laperla	3,47	0,96	150
Cerro-Mer	2,24	1,00	160
El-Encino	8,45	0,91	140

Tabell 2: Data för Mexicos järngruvor

Process / Produkt	Masugns-reduktion	Avkolning i Martinugn	Syrebe-handling
Järnmalm, kvalitet 1.00, ton	−2,30	–	–
Kol, ton	−1,52	–	–
Råjärn, ton	1,00	−1,06	−1,05
Stål, ton	–	1,00	1,00
Annan energi, pesos	−63,5	−119,5	–
Övriga omkost− nader,pesos	−720,0	−158,4	−179,6

Tabell 3: Input (−) och output (+) koefficienter för de viktigaste produkterna och processerna vid stålverken i Ahmsa, Fundidora och Sicartsa.

4 EXISTERANDE STÅLVERK

Det finns för tillfallet 5 större stålverk i Mexico. De 3 verken Ahmsa, Fundidora och Sicartsa använder en traditionell masugnsteknologi med efterföljande avkolning m.h.a. syrebehandling eller i Martinugn. De övriga verken, Hylsa och Hylsap, använder naturgasreduktion av malmen till järnsvamp och efterföljande behandling i elektrougn. Det är totalt fråga om 5 produktionsprocesser plus valsningsprocesserna. De enskilda processerna är beskrivna i tabell 3 och 4. De teknologiska koefficienterna anger input (−) och output (+) vid en enhets produktionsnivå, och det antas råda ett linjärt samband mellan input/output och produktionsnivån. Till exempel så åtgår det 2.3 ton malm och 1.52 ton kol för att producera 1 tom råjärn i en masugn (se Tabell 3).

Siffrorna i tabell 3 och 4 är normerade, och de avspeglar därför inte vissa historiska skillnader i effektivitet mellan de enskilda produktionsanläggningarna. Vi använder dock de normerade värdena, eftersom man har planer på att under kommande år rationalisera driften, och det finns hopp om att alla anläggningarna ska nå upp till normen under planeringsåret.

Endast produkterna järnmalm, kol, stål samt mellanprodukterna råjärn och järnsvamp finns medtag-

Process / Produkt	Järnsvamps-reduktion	Avkolning i Elektrougn
Järnmalm, kvalitet 1.00, ton	−2,11	–
Järnsvamp, ton	1,00	−1,08
Stål, ton	–	1,00
Energi, pesos	−187,0	−315,0
Övriga omk., pesos	−5,5	−148,2

Tabell 4: Input/output koefficienter för stålverken Hylsa och Hylsap.

Stålverk / Produktionsenhet	Ahmsa	Fundidora	Sicartsa	Hylsa	Hylsap
Masugn	4,30	2,40	1,20	–	–
Martinugn	1,95	0,95	–	–	–
Syrekonverterare	2,17	1,60	1,40	–	–
Red. till järnsvamp	–	–	–	1,08	1,10
Elektrougn	–	–	–	1,23	0,66
Plattvals	3,50	2,20	1,40	1,30	1,00
Rör- och stångvals	1,50	1,20	0,55	0,20	–

Tabell 5: Kapacitet hos produktionsanläggningarna vid stålverken, mätt i Mton output.

Energikostnader, pesos	44,2
Övriga kostnader, pesos	5,3

Tabell 6: Kostnader vid valsning av 1 ton stål.

na. Alla övriga input finns medtagna i samlingsposterna “annan energi” och “övriga omkostnader”. Dessa poster täcker dels inköp av el, naturgas och olja, dels löner, hjälpämnen, elektroder osv. Vi kan anta, att dessa input finns tillgängliga i tillräcklig omfattning. En uppdelning av energikostnader och övriga kostnader har gjorts, eftersom energipriserna förväntas stiga mer än andra priser de kommande åren.

Man har räknat med kol som input i masugnarna, fastän man i verkligheten använder koks. Kolet levereras emellertid till stålverket, där det avgasas och omvandlas till koks. Koksen används alltså i masugnen medan gasen och andra biprodukter dels används i det vidare förarbetet, dels säljs. I kostnadsuppgifterna är hänsyn tagen till försäljningen av dessa biprodukter. I beskrivningen av Martinugnen i tabell 3 är möjligheten att blanda råjärnet med järnmalm under avkolningen inte medtagen, för att förenkla problemställningen. Likaledes har man valt att helt bortse från återanvandningen av skrot i stålproduktionen.

Kapaciteten hos produktionsanläggningarna vid stålverken ges i tabell 5 och kostnadsdata för valsningsprocesserna ges i tabell 6.

5 EFTERFRÅGAN

Efterfrågan är fördelad på en mängd olika produkter, och det är varken möjligt eller praktiskt att i en planeringsmodell ta med alla produkterna. Det har därför gjorts en aggregering i produktgrupper. Aggregeringskriteriet har varit, att de olika produkterna i en bestämd grupp ska utnyttja samma produktionsanläggning i ungefär samma grad, så att kapacitetsbehovet för de olika produkterna i gruppen blir detsamma.

I denna uppgift nöjer vi oss med att betrakta två produktgrupper, plattor samt stänger och rör. Valet av uppdelning beror bl a på att de nyare stålverken, Hylsa och Hylsap, nästan bara kan producera plattor, medan de äldre stålverken har en mer allsidig produktionsanläggning.

Efterfrågan är först prognosticerad som en total efterfrågan inom varje produktgrupp som ges av tabell 7, därefter är en regional uppdelning gjord på de större användningscentra m.h.a. fördelningsnyckeln i tabell 8. Det förutsättes, i brist på annat, att den regionala fördelningsnyckeln är densamma för de olika produktgrupperna. Till exempel får därmed Mexico City en efterfrågan om $0.5 * 3.28 = 1.64$ ton stänger och rör.

Produktgrupp	Efterfrågan i Mton
Plattor	5,08
Stänger och rör	3,28

Tabell 7: Efterfrågan år 1985 fördelad på produktgrupper

Område	%
Mexico City	50
Monterrey	31
Guadalajara	l9

Tabell 8: Den regionala fördelningen av efterfrågan.

6 EXPORT OCH IMPORT

Som kommer att framgå av den kommande problemformuleringen kommer tyngdvikten att ligga på att planlägga ett kapacitetsutnyttjande och ett transportmönster som minimerar kostnaden för att tillgodose den inhemska efterfrågan. Det kan också vara av intresse att ta med export och import i modellen. P.g.a. transportkostnadernas storlek kommer det bara att vara relevant att ta med export och import av färdiga stålprodukter. Ni kan räkna med att export ger ett pris om 3000 pesos per ton i Mexicansk hamn, och export ger 2700 pesos per ton i mexicans hamn.

I den kommande beskrivningen av transportsystemet är "Import" medtaget som en extra producent, och transportavstånden är räknade mellan efterfrågeområdet och närmaste hamn. På samma sätt har "Export" tagits med som ett extra efterfrågeområde, och avstånden svarar mot avstånden från stålverket till närmaste hamn.

7 TRANSPORTSYSTEMET

Kolen, järnmalmen och de färdiga stålprodukterna transporteras alla med järnväg, och vi antar att järnvägsnätets kapacitet är tillräcklig. Transportsystemet som sådant medför alltså inga begränsningar, men har ändå betydelse p g a transportkostnaderna.

Transportkostnaderna består av två delar. Det finns en startkostnad för lastning och lossning av järnvägsvagnar, drift av terminalanläggningar osv, och en avståndsberoende kostnad för själva transporten. Avstånden från gruvorna till stålverken och från stålverken vidare till efterfrågeområdena ges i tabell 9 och 10, och de fasta och variabla transportkostnaderna ges i tabell 11.

Stålverk Gruva	Ahmsa	Fundidora	Sicartsa	Hylsa	Hylsap
Coahuila	120	400	1500	400	1420
Penacol	1490	1396	337	1376	1116
Lastruchas	1416	1322	10	1312	995
Laperla	403	621	1797	626	1595
Cerro-Mer	677	636	1275	640	1245
El-Encino	1401	1307	965	1300	1033

Tabell 9: Järnvägsavstånd från gruvor till stålverk i kilometer

Stålverk Efterfr.	Ahmsa	Fundidora	Sicartsa	Hylsa	Hylsap	Import
MexicoCity	1204	929	819	920	185	428
Monterrey	218	10	1305	17	1085	521
Guadalajara	1125	1030	704	1033	760	300
Export	739	521	10	520	315	–

Tabell 10: Järnvägsavstånd från stålverk (inkl import) till efterfrågeområden (inkl export) i kilometer.

Varugrupp	Fasta kostnader, pesos/ton	Rörliga kostnader, pesos/ton och km
Råvaror	17,46	0,106
Plattor	57,16	0,194
Rör	57,16	0,204

Tabell 11: Fasta och rörliga transportkostnader, dels för råvaror, dels för färdigvaror.

8 UPPGIFT

Konstruera utgående från de givna upplysningarna en modell för bestämning av det produktions- och transportmönster, som minimerar kostnaden för att tillgodose den inhemska efterfrågan. Ni behöver inte ange konstanter som siffror, snarast uppmuntrar vi er till att använda generellare beteckningar, t.ex. d_{ij} för avståndet mellan gruva i och stålverk j, (siffrorna finns med som referens till nästa uppgift). Modellen skall vara tydlig och lättläst, variabler, konstanter, index och mängder skall vara tydligt definierade. Syftet med varje bivillkor skall klart framgå. Ni skall dessutm själva på förfrågan kunna förklara hur modellen fungerar, för att undvika situationer där endast en gruppmedlem förstår vad som händer.

Till de grupper som lämnat in en godkänd modell kommer vi senare att distribuera en modell implementerad i ampl, vilken ni kommer att använda för att besvara ett antal frågor.

Målet med projektet är att visa ett problem som är tillräkligt komplicerat för att lösningen inte skall vara uppenbar (detta är ofta fallet för lägre dimensioner).

Lycka till