

Jordbrukets hållbarhet i ett historiskt perspektiv

Åsa Domeij

Uppsala 2008

ISSN 1401-405X
ISRN SLU-EKON-R--163--SE
© 2008 Åsa Domeij, Uppsala
Tryck: SLU Service/Repro, Uppsala 2008

The Sustainability of Agricultural Systems in a Historical Perspective.

Abstract

The agricultural systems in Sweden changed rapidly during the 20th century, especially after World War II. Agriculture became mechanized, chemicalized and specialized. It has been hypothesized that the prevailing agricultural systems at the beginning of the 20th century were the most sustainable of all agricultural systems ever employed in Sweden, since they used well-developed crop rotations resulting in high yields without high inputs of fertilizers, fuel and pesticides.

The purpose of this report is to investigate the sustainability of the agricultural systems of the 1930/40s compared with those of the 1990s. A comparative study was carried out at the farm level. Two farms in Sweden, producing about the same agricultural products during the 1930/40s and the 1990s, were compared. One of the farms was a dairy farm and the other produced mainly cereals. A number of environmental indicators, important from a sustainability perspective, were calculated for the farms during the two time periods. The indicators were energy ratio, net output of energy per hectare, nitrogen output:nitrogen input, net output of nitrogen per hectare, net output of phosphorus, and phosphorus output:phosphorus input.

The energy ratios decreased substantially between the two time periods. On the other hand, the net delivery of nitrogen increased. The losses of nitrogen were much higher on both farms in the 1990s than during the first time period studied. On both farms the net delivery of nitrogen during the 1930/40s were more than 20 kg per hectare. This had changed in the 1990s to a loss of nitrogen of 100 kg on the dairy farm and 14 kg on the cereal-producing farm. On the cereal-producing farm the efficiency of phosphorus use (P out:P in) changed from 0:68 to 1:2. On the dairy farm it changed from 1:4 to 0:7.

From a sustainability perspective, the dairy farm in the 1930/40s with its developed crop rotation and low cow density seems a viable model. Despite the fact that this farm produced milk and meat it had a positive net delivery of nitrogen and showed a high energy ratio.

Keywords: sustainable agricultural systems, nutrient use efficiency, energy balance, energy ratio, farming systems, nitrogen, phosphorus

Author's address: Åsa Domeij, Department of Economics, SLU,
Box 7013, 750 07 Uppsala, Sweden.

E-mail: asa.domeij@axfood.se

Innehåll

Förord	7
Summary	9
Sammanfattning	17
1 Inledning	25
1.1 Miljömedvetandets utveckling	27
1.2 Populära begrepp inom miljöområdet	29
2 Vad innebär ett ekologiskt hållbart jordbrukssystem?	37
3 Användningen av växtnäring och energi inom jordbruket	45
4 Växtnärings- och energibalanser på gårdsnivå i ett historiskt perspektiv	59
4.1 Syftet med studien	60
4.2 Beskrivning av gårdarna	61
4.3 Material och metoder	62
4.3.1 Val av nyckeltal	64
4.3.2 Val av systemgränser	69
4.4 Resultat	71
4.4.1 Kvävebalans Forkarbyholm	71
4.4.2 Kvävebalans Julita	72
4.4.3 Fosforhushållning Forkarbyholm	77
4.4.4 Fosforhushållning Julita	78
4.4.5 Energi Forkarbyholm	79
4.4.6 Energi Julita	80
5 Diskussion	83
Litteratur	93
Bilaga – Källor till grunddata för beräkningar av energi- och växtnäringsflöden	99
Författarens tack	101

Förord

Härmed publiceras rapporten *Jordbrukets hållbarhet i ett historiskt perspektiv* av Åsa Domeij, som är en redovisning av projektet ”Hållbart jordbruk i ett historiskt perspektiv”. Projektet har finansierats av SJFR (som numera är nedlagt). Projektet avsåg att problematisera begreppet ”hållbarhet” i förhållande till jordbruket, genom att göra några detaljstudier med ett perspektiv som sträckte sig mer än ett halvt århundrade bakåt i tiden. En stor databas har upprättats på basis av de utförliga räkenskaper som fördes vid de två studerade gårdarna. Rapporten inleds med en diskussion av begreppet, därefter följer en presentation av resultaten, och en diskussion av dessa.

Janken Myrdal
Professor, Avdelningen för agrarhistoria

Summary

During the 1990s sustainable development became an important metaphor to express the vision of a society that fulfils its current needs while at the same time preserving its natural resources for continued exploitation into the future without depletion. The purpose of this report is to contribute knowledge about the sustainability of agriculture in Sweden in the 1930/40s compared with the 1990s. In such a comparison not only the environmental impact is important but also the ability to deliver agricultural products to society. The approach in this report is therefore to consider sustainability as a relative and not an absolute concept. This approach implies that we always have to face sustainability problems even if the nature of the problems changes.

The investigation in this report has been carried out as a comparative study at the farm level. A number of indicators, relevant from a sustainability perspective, have been calculated for two farms in central Sweden.

Farming as a way of making the use of solar energy more efficient, has been an absolute condition for the tremendous expansion of humans. A food supply based on only gathering and hunting would only be able to feed a very small proportion of the present world population. The expansion of agriculture may be the largest change of the environment brought about by humankind. When many natural biotopes have disappeared and been replaced by cultural landscapes, the competition between species has changed. The surrounding natural ecosystems have been affected by many things, amongst others drainage. Use of water for irrigation and leakage of plant nutrients have also introduced important changes.

The late 19th century saw the introduction of considerable changes to agricultural systems in Sweden. Agriculture became mechanized, chemicalized and specialized. The most rapid changes took place immediately after World War II. The war had caused problems for overseas

trade with agricultural necessities such as fertilizers and fuel, which delayed agricultural developments. After the war, chemical fertilizers, pesticides and agricultural machines became easily available. The industrial methods were also improved and resulted in relatively cheap chemical fertilizers.

During the decade after World War II the general opinion was that the rapid changes in agriculture were positive. There was no real concern over limited natural resources or the negative environmental impact of agricultural methods. During the 1960s, however, increasing criticism was levelled at developments in agriculture. The book *Silent Spring* by Rachel Carson (1962) resulted in a debate on the effects of pesticides. The oil crisis in 1973 created an awareness of the dependency of agriculture on input energy from fossil sources. In Sweden the leakage of nitrogen from agricultural land and its environmental effects was considered in the 1980s. During this decade, the concept of organic agriculture as an alternative to conventional agriculture gained popularity.

In the debate on the sustainability of the agricultural systems the prevailing agricultural systems during the 1930/40s have sometimes been described as more sustainable than both earlier agricultural systems and the systems that dominated later in the 20th century. This is because the systems in use in the 1930s and 1940s included well-developed crop rotations and could deliver high yields with relatively small external input. The use of chemical pesticides was still low and animal production took place over large areas and was not concentrated to specific regions, as is the case nowadays.

Previous agricultural systems had not included much crop rotation and had been dominated by cereal production. The supply of plant nutrients had come from surrounding areas used for grazing. These types of systems for supply of plant nutrients meant that the productivity had slowly been reduced.

With the so-called “agrarian revolution” in the 1930s and 1940s came increased, and better, crop rotation and cultivation of nitrogen-fixing crops, such as clover, on the agricultural fields. Food as well as feedstuff was cultivated on the fields. The supply of plant nutrients improved significantly while the risk of diseases due mainly to lack of crop rotation decreased. Increased crop rotation meant that improved yields could feed a growing population. During the 1930/40s the agricultural systems in Sweden were based on well-developed crop rotation with nitrogen-fixing crops. Not only the earlier systems but also the subsequent systems were less well balanced.

The aspects of sustainability considered in this report deal with the flows of nitrogen, phosphorus and energy. Before the external input of fertilizers became common practice, the agricultural systems were suffering from lack

of nutrients, which limited the yields. Worldwide, soils were gradually being depleted of plant nutrients and the agricultural systems were not sustainable. There were some exceptions, such as the agricultural systems around the River Nile in Egypt. These areas were flooded every year and the water supplied the soil with plant nutrients from eroded materials.

Following the recommendations of German chemist Justus von Liebig, who emphasized the importance of phosphorus, the use of artificial phosphorus became common even before the use of nitrogen fertilizers, for the production of which, industrial processes still had to be developed. Before 1860 the main nitrogen source for terrestrial systems was biological nitrogen fixing. At the beginning of the 21st century the supply was about 15 times higher, a fact that has caused concern for the environment and health. The proportion of the nitrogen which can be found in the soil and, consequently, of nitrogen in agricultural products has decreased since the early 1950s. Where nitrogen in agricultural products is <50% of the normal values there is an increasing risk of leakage of nitrate from the agricultural land, which causes eutrophication of surrounding ecosystems. Especially farms specialized in animal production lose large amounts of nitrogen, because the input of plant nutrients in feedstuff for animals is concentrated to these farms.

Consequently the agricultural systems have changed, from having problems with supply of sufficient plant nutrients to having problems with losses of nutrients caused by surplus of nutrients. This means that the efficiency of the use of plant nutrients has decreased. In Sweden the content of phosphorus in the agricultural soils increased during the 20th century. This increased concentration of phosphorus began already at the beginning of the century. During the 1980s the use of phosphorus fertilizer decreased, probably for a number of both economic and environmental reasons. Later the use of nitrogen was also reduced.

The literature on the subject reveals that also the energy balances and energy use of agricultural systems have changed considerably. Human productivity, in MJ of energy in terms of product per hour of human labour (MJ/h), may have increased as much as 100 times in agricultural systems which relied completely on human labour in mechanized agricultural systems. At the same time the input of artificial fertilizers and fossil fuels has increased. The efficiency of energy use in the agricultural systems of industrialized countries decreased during the 1950s, 1960s and early 1970s. The definition of energy efficiency in this case is the ratio between output energy and input energy, that is to say, the amount of products obtained per input of external energy. Studies of energy balances indicate that

developments towards increased energy efficiency started during the 1970s, probably as a result of the oil crisis and increased energy prices. But during the time period when energy efficiency decreased as a result of larger inputs, the accumulation of solar energy per hectare in delivered products increased. This was a direct consequence of improved yields.

It is interesting to analyse how increased labour productivity, the consequence of increased external inputs, was used. Increased consumption of animal products is a classic way, at least during the 20th century when increased production of vegetable products cannot be used directly by people. Another change in consumption patterns is the use of more processed food, with the result that more human labour is needed in the food processing industry today. Processing, distribution, sale and transport of food demanded much more labour at the end than at the beginning of the 20th century. There are calculations that indicate that, if consideration is given to changed consumption patterns, the labour productivity of the best pre-industrial agricultural systems can be compared with labour productivity in modern food supply systems.

The need for human labour in the primary production of agricultural products in industrialized countries is almost negligible. Consequently, human labour is normally not included in energy analyses of agriculture. Two important aspects of analyses of the energy balances of agriculture are the flows of energy that are considered and the system boundaries chosen. The comparison of studies of energy balances is often complicated because these studies can be performed in many different ways.

Sometimes negative energy balances for agriculture are shown. In some cases the input energy has been calculated in a different way than the output energy. The input may have been expressed as a calorimetric or effective thermal value while output energy is given in the amount of energy that is useful in terms of human metabolism. If this is the case it is essential to observe that the output energy is of higher quality than the input energy.

In this report several indicators have been calculated for the same two farms during two time periods the 1930/40s and the 1990s. The chosen indicators illustrate important sustainability properties of the agricultural systems and are possible to calculate on the basis of the available sources. The following indicators have been calculated: net delivery per hectare of nitrogen and phosphorus, efficiency of the use of nitrogen and phosphorus as the ratio of output and input of the nutrients, net delivery of energy (effective thermal value) per hectare, and the efficiency in energy use expressed as the ratio between external energy input and energy in delivered products.

The chosen farms have extensive written documentation on farming activities, for example in the form of detailed bookkeeping. The original material gives a detailed view of input of seeds, fertilizers, fuel and feedstuff to the farms. Quantities of sold vegetables, milk and meat can also be calculated from the written material. The agricultural production during the 1990s is also well documented. For information on the second time period, it has also been possible to interview the farmers. The difficulty has been to find farms with detailed written documentation from the 1930/40s.

The farm Forkarbyholm is situated on the flat agricultural land north of Uppsala. During both studied time periods it was a mainly cereal-producing farm. During the first time period seeds for nitrogen-fixing crops were grown, which contributed to the supply of nitrogen to the other crops grown. During the 1990s barley for malt production was grown. The amount of used nitrogen per hectare, 100 kg, was not very high compared with that in other cereal-producing farms in the region. Cultivation of barley for malt production does not require very high input of nitrogen. During the first time period the amount of nitrogen on average was 39 kg of nitrogen per hectare, in delivered products. However, the external input of nitrogen was only 18 kg per hectare. This gives a net delivery of nitrogen of about 21 kg of nitrogen per hectare. During the 1990s the positive nitrogen balance had changed into a loss of about 14 kg of nitrogen per hectare. The efficiency of nitrogen use (N out:N in) during the first period was about 2:0 and during the second period, 0:22.

The farm Julita, in the county of Sörmland, was a dairy farm during both studied time periods. However, between the two time periods the cow density increased from 0.4 cows per hectare to 0.7 cows per hectare. Despite the fact that it is a dairy farm, which should result in higher losses of nitrogen compared with a farm with no animal production, Julita's net delivery of nitrogen during the first time period was about 22 kg nitrogen per hectare. The net delivery of nitrogen was therefore on the same scale as that of the crop-producing farm Forkarbyholm. But during the 1990s Julita, instead of delivering a surplus, lost about 100 kg of nitrogen per hectare. The input of nitrogen from external sources was about 133 kg per hectare. During the 1930/40s the external input of nitrogen was only about 5.5 kg per hectare. The efficiency of nitrogen use decreased between the two time periods, from about 5 to 0:2.

The input of phosphorus at Forkarbyholm was about the same during both time periods, about 14 kg per hectare. During the 1990s the phosphorus yield was considerably higher, a fact which results in different phosphorus balances for the two periods. During the 1930/40s the input of

phosphorus per hectare was about 4 kg higher than the output. In the 1990s there was a net delivery of phosphorus of about 3 kg per hectare. The efficiency of the use of phosphorus (P out:P in) was 0:68 and 1:2, respectively, in the two periods studied.

The output of phosphorus at Julita was about 6.1 kg per hectare during the 1930/40s, compared with an input of about 4.5 kg per hectare. This resulted in a net delivery of phosphorus of about 1.6 kg per hectare. During the 1990s the input of phosphorus was about 2.6 kg per hectare higher than the amount found in delivered products. The efficiency in the use of phosphorus between the two time periods changed from 1:4 to 0:7.

The calculated energy balances and the energy ratios include direct energy inputs from seeds, feedstuff, wood for producer gas units, fuel, and artificial fertilizers because nitrogen fertilizer can be seen as an energy-based product. The energy use for industrial production of artificial fertilizer has been calculated in the same way for both time periods. This was done because the purpose was to compare the primary production of agricultural products and not the efficiency of industrial processes. The energy contents of biological raw materials and fossil fuels have been calculated as effective thermal value. The farms have been considered as whole production systems and therefore feedstuff produced on the farms and used by horses has not been included in the calculation of input energy. On the other hand, the consumption by horses decreased the energy delivery from the farm, because their consumption did affect the amount of products sold by the farm.

The farm Forkarbyholm delivered about 26 gigajoules (GJ) per hectare and the input energy during the 1930/40s was about 8.5 GJ. Consequently the net delivery was about 18 GJ per hectare. During the 1990s the energy delivery in agricultural products was higher, 73 GJ per hectare, as a result of improved yields. During the same period the input energy was 24 GJ per hectare. The net delivery was 50 GJ per hectare and the energy ratio was about 3:1.

During the 1930/40s Julita had a much higher energy ratio than Forkarbyholm, namely 9:1. The reason for this is that the use of artificial fertilizer on Julita was very low. In the 1990s the energy ratio on Julita had decreased to 0:85. The cow density, however, increased between the two time periods, from 0.4 cows per hectare to 0.7. If the cow density had been constant the energy ratio on Julita in the 1990s would have been 2:5. The net delivery of energy was about 19 GJ per hectare during the first time period and about -4 GJ during the second period. But again, if the cow density had not changed the difference between the two time periods would have been smaller. Considering a cow density of 0.4 instead of 0.7 per

hectare in the 1990s would give a net delivery of energy of 39 GJ per hectare.

How has the sustainability of the agricultural systems developed between the two time periods? A major difference between the two time periods is the external input to the farms. The input of artificial fertilizers, feedstuff and fuel was much higher during the 1990s than during the 1930/40s. The yield per hectare was also much higher in the 1990s. The nitrogen balance had changed from systems in which the nitrogen delivered in the agricultural products was greater than the input. Even though it was not possible to measure the losses of nitrogen the high net delivery probably meant that the losses of nitrogen from the farms were low. The need for fossil fuels for production of artificial fertilizers was low during the first period. Regarding losses of nitrogen and use of fossil energy it seems that the sustainability of the systems was therefore higher during the first period. But there is also a production perspective included in the concept of sustainability. Is it possible that a somewhat higher use of nitrogen in a system similar to that described for the 1930/40s could increase the yields without considerably increasing the losses of nitrogen?

The use of phosphorus in agriculture in Sweden during the 1930/40s generally increased the concentration of phosphorus in the soil. This was an example of phosphorus management which was not very sustainable. But of the farms described in this report only one, Forkarbyholm, had a low efficiency in phosphorus use. The utilization of phosphorus on Julita was more balanced. By the 1990s Forkarbyholm had improved its phosphorus management. At Julita the concentration of phosphorus in the soils was increasing in the 1990s because of the purchase of feedstuff for cattle. It is still common in Sweden that on farms with animal production the input of phosphorus is higher than the output.

The calculations of energy use show that both farms have become less energy-efficient concerning the energy ratios between the two time periods. By contrast, the net delivery of energy per hectare was higher on both farms during the 1990s if an assumption of constant cow density is made at Julita. The consequence is that a larger proportion of the solar energy is assimilated in the delivered products, which is a sign of increased sustainability. It is a matter of judgement whether the changes in energy management have improved or impaired the sustainability of the systems. In drawing conclusions an important issue is what the delivered products are used for. Is the higher yield used for replacing fossil fuels or is it used for increased meat production? Is non-use of fossil fuels a necessary condition for a high degree

of sustainability? Or can use of fossil fuels be defended if a higher proportion of solar energy can be used?

I would like to conclude with the remark that the farming system at Julita during the 1930/40s seems interesting from a sustainability perspective. This farm managed to produce both vegetable products and dairy products with high yields and efficient utilization of both plant nutrients and energy. The agricultural system had a comparatively low density of animals, which kept losses of nutrients and energy to a minimum. On the other hand, the density was high enough to make a well-developed crop rotation with nitrogen-fixing crops possible. Perhaps the farming system at Julita during the earlier time period, with somewhat higher use of nitrogen fertilizer, and consequently higher yields, in springtime produced even higher net yields of energy and used an even more sustainable system than shown in this study.

The effort to develop more sustainable farming systems must include iterative processes. Willingness and ability to deal with new sustainability problems must always be present. Ultimately, what is seen as sustainable will depend on our time perspective and our personal set of values.

Sammanfattning

Under 1990-talet blev hållbar utveckling en dominerande metafor för att uttrycka målsättningen om ett samhälle vars behov tillfredsställs samtidigt som långsiktigt tänkande präglar användningen av naturresurser. Den här rapporten syftar till att bidra med kunskap om hur hållbara 1930/40-talets jordbrukssystem var i förhållande till 1990-talets. I en sådan jämförelse är inte bara miljö- och resurshushållning viktig. Förmågan att leverera produkter till samhällets behov är givetvis också väsentlig ur ett hållbarhetsperspektiv. Det synsätt jag utgår ifrån i rapporten är att hållbarhet är ett relativt och inte ett absolut begrepp. Mänskligheten kommer alltid att behöva arbeta med att förbättra samhällets hållbarhet även om de problem man står inför kommer att ha olika karaktär.

Den undersökning som presenteras i rapporten har genomförts som en jämförande studie på gårdsnivå. De valda tidsperioderna är 1930/40-talet respektive 1990-talet. Ett antal nyckeltal, som är relevanta från hållbarhetssynpunkt, har beräknats för två gårdar i Mälardalen.

Att bruka jorden, och på så sätt kunna utnyttja solenergin effektivare, har varit en nödvändig förutsättning för att mänskligheten befolkningsmässigt har kunnat utvecklas så kraftigt. En försörjning baserad på samling och jakt skulle endast kunna försörja en mycket liten del av världens befolkning. Expansionen av jordbruket världen över utgör kanske också den största förändring som människan åstadkommit av miljön. När många naturliga biotoper försvunnit och ersatts av kulturlandskap har konkurrensförhållanden mellan arter förskjutits. Omgivande naturliga ekosystem har också påverkats av t.ex. ändrade dräneringsförhållanden när marker utdikats och sjöar sänkts. Uttag av vatten för bevattning har också medfört förändringar liksom utlakning av växtnäring.

I slutet på 1800-talet inleddes större förändringar av jordbruket. Jordbruket kom att mekaniseras, kemikaliserats och specialiserats. Den

snabbaste utvecklingen av det västerländska jordbruket inträffade efter andra världskrigets slut. Kriget försvårade inte längre handel med jordbrukets förnödenheter. Konstgödsel, kemiska bekämpningsmedel och jordbruksmaskiner blev lättillgängliga. Industrins metoder utvecklades också så att konstgödsel blev relativt sett billigare.

Under årtiondet efter andra världskriget var den allmänna uppfattningen att den snabba omvandlingen av jordbruket var av godo. Någon större oro för att tillgångarna på fossila bränslen var ändliga fanns inte och någon medvetenhet om jordbrukets miljöeffekter hade inte hunnit växa fram. Men under 60-talet växte kritiken mot jordbrukets metoder. Boken *Tyst vår* av Rachel Carson (1962) väckte miljödebatten om jordbrukets användning av kemiska bekämpningsmedel. Oljekrisen 1973 kom att innebära att en oro väcktes för det stora beroende av insatsenergi som utvecklingen av jordbruket hade inneburit. I Sverige blev man medveten om jordbrukets läckage av växtnäring under 1980-talet. Från 1980-talet började också det ekologiska lantbruket expandera i Sverige som ett alternativ till det konventionella.

I debatten om jordbrukets inriktning har ibland de jordbrukssystem som dominerade i Sverige på 1930/40-talen lyfts fram som bättre fungerande än både de tidigare systemen och de som kom att dominera under den andra hälften av 1900-talet. Bakgrunden är att dessa system hade väl utvecklade och allsidiga växtföljder med en god avkastning. Den avkastningen kunde åstadkommas med endast små insatser av externa förnödenheter. Användningen av kemiska bekämpningsmedel och konstgödsel var fortfarande låg och djurhållningen var spridd över hela landet och inte koncentrerad till vissa regioner som idag.

Tidigare odlingsystem hade varit inriktade på ensidig spannmålsodling och försörjningen av växtnäring hade åstadkommit genom att utmarkerna levererade foder vars växtnäring delvis kunde tillföras åkermarken i form av gödsel. Detta innebar att utmarkerna successivt utarmades på växtnäring vilket så småningom påverkade åkrarnas spannmålsskördar. Den agrara revolutionen innebar ett genombrott för förbättrad växtnäring och minskade risker för växtföljdsrelaterade sjukdomar. Odling av vall på åkern, med inslag av kvävefixerande växter som klöver, blev allmän. Allsidiga växtföljder som innebar ökad avkastning kunde försörja en växande befolkning. Under 1930/40-talet byggde i princip hela det svenska jordbruket på allsidiga växtföljder med odling av kvävefixerande grödor. Både jordbrukssystemen före och efter perioden dominerades av mer ensidiga växtföljder.

De hållbarhetsaspekter som tas upp i den här studien handlar om hushållning med energi, kväve och fosfor. Jordbrukssystemen, innan tillförsel av gödsel utifrån blev allmän, led oftast mer eller mindre av brist på växtnäring som hämmade avkastningen. Marken utarmades på växtnäring och systemen var inte långsiktigt hållbara. Ett fåtal undantag fanns som t.ex. jordbruket längs Nilen som tillfördes näring då floden årligen svämmade över och förde med sig näringsrikt slam.

Användningen av konstgödsel utgjordes i början framför allt av fosforgödsel. En av orsakerna kan vara att den berömda tyska 1800-talskemisten Justus von Liebig betonade fosforgödslingens betydelse, men det dröjde också innan man på ett effektivt sätt kunde tillverka konstgödselkväve industriellt. Före 1860 var den dominerande tillförseln av kväve till terrestra system biologisk kvävefixering. I början av 2000-talet var tillförseln ca 15 gånger så stor, vilket orsakat oro för biodiversitet och hälsa. Den mängd kväve som tillförs jordbrukssystemen och inte återfinns i jordbruksprodukterna har ökat kraftigt sedan början av 50-talet. Om mindre än hälften av det tillförda kvävet tas upp av grödan är risken stor för utlakning, vilket leder till övergödning av omkringliggande ekosystem. De största förlusterna av växtnäring görs på djurgårdar dit stora mängder växtnäring, i form av foder från andra regioner, tillförs.

Jordbrukssystemen har utvecklats från att ha haft stora problem med försörjningen av växtnäring till att istället ha problem med förluster orsakade av överskott, d.v.s. effektiviteten i utnyttjandet av tillförd växtnäring har minskat. I Sverige byggdes fosforförråden upp under 1900-talet. Uppbyggnaden av fosforförråden påbörjades redan under seklets första hälft. Under 1980-talet minskade användningen av fosfor av ekonomiska skäl och av miljöskäl. Senare kom också kvävegödslingen att dämpas.

Den kunskap som finns i litteraturen visar att även energihushållningen inom jordbruket har genomgått mycket stora förändringar. Den mänskliga arbetsproduktiviteten, räknad i MJ-produkter per timme (MJ/h) har ökat med åtminstone 100 gånger från ett jordbruk som i huvudsak byggde på manuellt arbete till ett mekaniserat jordbruk. Samtidigt ökade de fossila insatserna i form av konstgödsel och drivmedel kraftigt. Energieffektiviteten sjönk inom den industrialiserade världens jordbruk under 1950-, 1960- och början av 1970-talet. Med energieffektivitet avses här hur mycket energi i levererade produkter som man får ut i förhållande till insatt energi. Studier av jordbrukets energihushållning visar att utvecklingen mot försämrade energihushållning vände någon gång under 1970-talet som en följd av stigande energipriser efter oljekrisen. Men samtidigt som det utbyte man fick av insatt energi sjönk, i takt med att insatserna ökade, så ökade också den

andel av solljuset som kunde tas tillvara och ackumuleras i produkterna. Den ökade effektiviteten i utnyttjandet av solenergin var en direkt följd av den stigande avkastningen per hektar.

Det är givetvis intressant att fundera på hur den ökade arbetsproduktiviteten, som följde av den ökande användningen av insatsvaror, användes. En del av den användes för att öka den animaliska andelen av maten. Ökad animalieproduktion är ett klassiskt sätt, åtminstone sedan 1900-talet, att använda ökade skördar inom jordbruket som inte kan konsumeras direkt av människor. Den andra stora förändringen som skett är att leden efter jordbrukets primärproduktion successivt har krävt allt mer arbetskraft. Förädling, distribution, försäljning och tillagning av mat krävde betydligt mer arbetskraft under slutet av 1900-talet än under seklets början. Det finns beräkningar som tyder på att, om man tar hänsyn till den ökade animaliekonsumtionen och det ökade arbetskraftsbehovet i leden efter primärproduktionen, så hamnade arbetsproduktiviteten i det fullt industrialiserade 1900-talsjordbruket på samma nivå som de bästa förindustriella jordbrukssystemen!

Åtgången av mänskligt arbete är inom det industriella jordbrukets primärproduktion i stort sett försumbar, vilket har inneburit att man brukar avstå från att beräkna arbetskraftsåtgången när energianalyser görs av jordbruket. Ett par viktiga aspekter att vara uppmärksam på, när man sätter sig in i studier av jordbrukets energibalanser, är vilka energiflöden som avses och vilka systemgränser som valts. Studier av energihushållning är ofta svåra att jämföra eftersom de kan utföras på så olika sätt.

Ibland redovisas negativa energibalanser för jordbruket. I vissa fall kan energiflödet in i systemet ha bedömts annorlunda än energiflödet ut ur systemet. Det kan vara så att inflödet av energi har utgjorts av kalorimetriskt¹ eller effektivt² värmevärde medan energiflödet ut ur systemet har redovisats som energiinnehållet i producerad mat som är tillgänglig för människans metabolism. I sådana fall är det viktigt att vara observant på att energileveransen består av mer högkvalitativ energi än inflödet.

I den här rapporten har ett antal nyckeltal beräknats för två gårdar under dels perioden 1930/40-talet, dels 1990-talet. Nyckeltalen har valts utifrån att vara väsentliga från hållbarhetssynpunkt och dessutom möjliga att beräkna med uppgifter i det tillgängliga materialet. Följande nyckeltal har beräknats: nettoleverans per hektar av kväve respektive fosfor; effektivitet i kväve- respektive fosforutnyttjande som kvoten av tillförsel och bortförsel i

¹ Den teoretiska värmemängd som kan utvinnas under förutsättning att all fukt i rökgaserna kondenserar till vätska vid en given temperatur.

² Det kalorimetriska värmevärdet minus den energi som binds i vattenånga i rökgaserna.

användbara produkter; nettoleverans av energi (effektivt värmevärde) per hektar samt effektivitet i energiutnyttjande som kvoten mellan tillförd och bortförd energi.

De utvalda gårdarna har väl dokumenterat material, bl.a. bokföringsmaterial, från 1930/40-talet. Källmaterialet ger en god bild av införsel till gårdarna av förnödenheter som utsäde, gödsel, drivmedel och foder. Försålda kvantiteter av vegetabilier, mjölk och kött kan också utläsas på ett bra sätt ur materialet. Även driften under 1990-talet är väl dokumenterad. Svårigheten har varit att hitta gårdar med en god dokumentation från den första perioden. När det gäller 90-talet har intervjuer kunnat göras med lantbrukarna för att komplettera informationen i bokföringsmaterialet.

Forkarbyholm ligger på slätten strax norr om Uppsala och drevs som spannmålsgård under båda de studerade tidsperioderna. Under den första perioden odlades vallfrö vilket gjorde att vallodling kunde bidra till gårdens kväveförsörjning. Under 1990-talet odlades korn för maltproduktion vilket innebär att kvävegödslingen på i genomsnitt 100 kg per hektar inte var särskilt hög jämfört med andra spannmålsgårdar i regionen. Under den första tidsperioden levererade gården i genomsnitt 39 kg kväve per hektar i form av produkter medan kvävetillförseln låg på endast 18 kg kväve per hektar. Det innebär en nettoleverans av kväve på ca 18 kg per hektar. Under 1990-talet hade den positiva kväveleveransen förändrats till en förlust på ca 14 kg per hektar. Effektiviteten i kväveutnyttjandet (N_{Ut}/N_{In}) låg under den första perioden på ca 2,0 och under den andra perioden på ca 0,22.

Julita gård i Sörmland drevs som mjölkgård under båda tidsperioderna. Men kotätheten ökade mellan de två tidsperioderna från 0,4 kor per hektar till 0,7 kor per hektar. Trots att Julita var en mjölkgård, vilket borde innebära större kväveförluster än på en växtodlingsgård, levererade Julita under den första perioden 22 kg kväve netto per hektar, d.v.s. på samma nivå som Forkarbyholm. Men under den andra tidsperioden förlorade Julita istället ca 100 kg kväve per hektar. Tillförseln av kväve från externa källor var nu betydligt högre, ca 133 kg i genomsnitt. Under 1930/40-talet tillfördes gården endast ca 5,5 kg kväve per hektar. Kväveutnyttjandet sjönk mellan perioderna från ca 5 till 0,22.

Forkarbyholm tillfördes ungefär lika mycket fosfor per hektar, ca 14 kg, under både 1930/40-talet och 1990-talet. Men under den senare perioden var skördenivån betydligt högre vilket innebär att fosforbalanserna för de båda tidsperioderna ser olika ut. Under den första tidsperioden tillfördes gården ca 4 kg mer fosfor per hektar än vad som bortfördes medan ca 3 kg

mer fosfor per hektar levereras från gården under den andra tidsperioden. Utnyttjandegraden av fosfor ($P_{\text{Ut}}/P_{\text{In}}$) var 0,68 respektive 1,2.

Fosforleveransen på Julita gård låg under 1930/40-talet på ca 6,1 kg per hektar medan fosfortillförseln var ca 4,5 kg per hektar. Det innebär att gården levererade netto ca 1,6 kg fosfor. Under den andra tidsperioden var däremot tillförseln av fosfor ca 2,6 kg högre än den mängd som återfanns i levererade produkter. Fosforutnyttjandet ($P_{\text{Ut}}/P_{\text{In}}$) förändrades mellan tidsperioderna från ca 1,4 till 0,7.

De beräknade energibalanserna och energikvoterna innefattar direkt energitillförsel i form av utsäde, foder, ved till gengasdrift och drivmedel samt konstgödsel eftersom konstkväve kan räknas som en energibaserad insatsvara. För 1930/40-talet har energiåtgången för framställning av konstkväve beräknats på samma sätt som för 1990-talet eftersom syftet har varit att jämföra jordbrukets produktionssystem och inte industriprocesser. Energiinnehållet i biologiska råvaror och fossilt drivmedel har beräknats utifrån effektivt värmevärde. Gårdarna har betraktats som hela system och därför har inte foder till hästar tagits med som energitillförsel. Hästarnas foderförbrukning har istället minskat energileveranserna från gården, eftersom förbrukningen har minskat de fodermängder som funnits tillgänglig för försäljning.

Forkarbyholms gård levererade på 1930/40-talet ca 26 GJ per hektar medan energiåtgången var ca 8,5 GJ. Det innebär en nettoleverans på 18 GJ per hektar. Den genomsnittliga energikvoten låg på 3,2. Eftersom skördenivån var betydligt högre under 1990-talet än under 1930/40-talet innehöll levererade skördeprodukter en betydligt högre energimängd på 1990-talet, 73 GJ per hektar. Insatsenergin uppgick under samma period till 24 GJ per hektar. Detta innebär att nettoleveransen av energi uppgick till 50 GJ per hektar och energikvoten låg på ca 3,1.

Julita hade under 1930/40-talet en betydligt högre energikvot än Forkarbyholm, nämligen 9,1. Förklaringen är att tillförseln av konstkväve var mycket låg på Julita, endast 5 kg kväve per hektar. Fram till 1990-talet sjönk energikvoten kraftigt till 0,85. Men kotätheten ökade mellan perioderna från 0,4 kor per hektar till 0,7 kor. Om man gör en teoretisk beräkning genom att minska foderåtgången som om djurtätheten hade varit konstant, hamnar energikvoten istället på 2,5. Nettoleveransen av energi var under 1930/40-talet ca 19 GJ per ha och ca -4 GJ under 1990-talet. Men om man räknar med att djurtätheten hade varit densamma på 1990-talet, hade istället nettoleveransen av energi ökat till ca 39 GJ per hektar.

I vilken riktning har då hållbarheten utvecklats på de två gårdarna mellan det två tidsperioderna? Den stora förändringen som skett är att de externa

insatserna av foder, konstgödsel och drivmedel var betydligt högre under 1990-talet än under 1930/40-talet. Samtidigt har avkastningen per hektar ökat kraftigt. När det gäller kvävehushållning har betydande nettolönsar av kväve förändrats till negativa balanser. Även om inte förlusterna direkt har kunnat mätas kan man nog våga sluta sig till att det höga kväveutnyttjande som gårdarna uppvisade under den första perioden bör ha inneburit att kväveförlusterna inte var så stora. Kväveförsörjningen kunde också klaras utan stora mängder fossil energi för gödselframställning. I den delen pekar kvävehushållningen mot att hållbarheten har sjunkit mellan de jämförda perioderna. Men i begreppet hållbarhet ingår också ett produktionsperspektiv eftersom syftet är att tillfredsställa mänskliga behov. Kanske avkastningen hade kunnat ökas med något högre kvävegivor utan att förlusterna blivit särskilt mycket större?

Fosforhushållningen innebar, generellt sett under 1930/40-talet i Sverige, att stora mängder fosfor lagrades upp i marken. Det var inte exempel på en särskilt hållbar fosforhushållning. Men i de här två gårdsexemplen är det endast Forkarbyholm som visar på ett lågt fosforutnyttjande. Fosforhushållningen på Julita gård var mer balanserad. Under 1990-talet hade Forkarbyholm en förbättrad fosforhushållning medan fosforförråden på Julita gård ökade p.g.a. inköpen av foder. Det är fortfarande vanligt att djurgårdar har större tillförsel av fosfor än vad som återfinns i produkterna.

Energihushållningen visar tydligt att båda gårdarna har blivit mindre effektiva avseende energikvoterna, vilket tyder på en försämrad hållbarhet. Däremot var nettolönsen av energi per hektar större på båda gårdarna under 1990-talet, om man korregerar för den ökade djurtätheten på Julita gård. Detta innebär att en större andel av den solenergi som träffat de odlade markerna har kunnat tas tillvara i användbara produkter, vilket tyder på en ökad hållbarhet. Det är en bedömningsfråga om man ska anse att energi hushållningen blivit mer eller mindre hållbar. Vilka antaganden man gör om vad de levererade produkterna används för är viktigt. Används t.ex. skördeprodukter för att ersätta fossila bränslen eller används de för att möjliggöra en högre köttproduktion? Ska man se långtgående oberoende av fossila bränslen som en nödvändig förutsättning för en hållbar produktion? Eller kan användning av fossila bränslen motiveras om de innebär att mer solenergi kan tas till vara?

Slutligen vill jag nämna att jordbrukssystemet på Julita gård under 1930/40-talet förefaller intressant ur hållbarhetssynpunkt. På gården lyckades man producera både vegetabiliska och animaliska produkter med god avkastning och med högt utnyttjande av både växtnäring och energi. Produktionssystemet hade en relativt låg djurtäthet, jämfört med många

gårdar idag, vilket begränsade förlusterna av växtnäring och energi. Men djurtätheten var ändå så hög att den var tillräcklig för att ge underlag för en allsidig växtföljd där kvävefixerande foderväxter stod för en stor del av kväveförsörjningen. Kanske den tidiga Julitamodellen med en något högre kvävetillförsel på våren och en förbättrad avkastning hade visat på högre nettoleveranser av energi och kunnat vara ännu mer hållbar? Strävanden efter mer hållbara produktionssystem är med nödvändighet iterativa processer. Successivt, i takt med att kunskapen växer, kan systemen bli allt mer hållbara. Men beredskap måste alltid finnas för att var uppmärksam på nya hållbarhetsproblem. Vad som kan betraktas som mer eller mindre hållbart kommer alltid att bero på vilka tidsperspektiv vi har och vilka värderingar vi omfattar.

1 Inledning

En av de största förändringar som människan orsakat är att börja odla istället för att vara beroende av jakt och samlande. Jordbruket har medfört omvälvande förändringar vilket inneburit att många naturliga biotoper försvunnit eller minskat kraftigt. Konkurrensförutsättningarna mellan olika arter har drastiskt förändrats. Om människan hade nöjt sig med att fortsätta som jägare eller samlare hade det inneburit att människans kraftfulla expansion hade uteblivit. En värld utan jordbruk skulle endast kunna försörja en mycket liten del av dagens befolkning.

Under 1900-talet, särskilt dess sista hälft, växte det fram en insikt om miljö- och resursproblemens allvar. Som en följd av industrialismen hade miljöproblemen förändrats från att vara i huvudsak lokala till att påverka människor världen över. Nu sträcker sig miljöproblemen ofta över vidsträckta geografiska områden eller är globala. Det har vuxit fram en medvetenhet om att det behövs förändringar för att komma till rätta med miljöfarliga utsläpp och förbättra resurshushållningen, även om det är långt ifrån givet att det är de långsiktiga intressena som är starkast när det finns verkliga eller upplevda målkonflikter.

Jordbrukets inriktning har sedan början av 1960-talet ifrågasatts från miljösynpunkt (Flygare & Isacson, 2003). Visserligen förekom det tidigare kritiker som Elin Wägner, som bland annat ifrågasatte jordbrukets kemikaliserings redan på 40-talet (Wägner, 1941), men en mer omfattande kritik tog sin början efter att Rachel Carson 1962 hade publicerat *Silent Spring* (Carson, 1962). Den skrevs då jordbruket inom loppet av ett par decennier hade genomgått och fortfarande genomgick gigantiska förändringar. Jordbrukets befolkning hade, i västvärlden, minskat kraftigt och ersatts av maskiner. Samtidigt hade jordbruket blivit beroende av fossila bränslen och andra insatsvaror. Kemiska bekämpningsmedel och konstgödsel

hade till en del ersatt mer allsidiga växtföljder. Jordbruket hade genomgått mekanisering, kemikalisering och specialisering.

Ett par decennier efter att jordbruket hade börjat ifrågasättas från miljösynpunkt kompletterades jordbrukspolitiken med ett särskilt miljömål. Numera talar man ofta om ett hållbart jordbruk (SCB m.fl., 2007) som en övergripande målsättning för jordbrukspolitiken.

I kontrast till dagens jordbrukssystem med högt specialiserade gårdar som är beroende av betydande mängder insatsmedel, ställs ibland de jordbrukssystem som dominerade innan de stora förändringarna av jordbruket genomfördes efter andra världskrigets slut. Under 1900-talets första decennier hade jordbrukssystem som byggde på ensidiga växtföljder och ej långsiktigt hållbar näringstillförsel från utmark till åker ersatts av mer allsidiga växtföljder med vallodling på åkermark. Odlingssystemen hade i grunden varit ganska stabila från sekelskiftet och fram till 1945 (Lägnert, 1955-1956). Växtföljderna var oftast allsidiga med ett stort inslag av vallodling. Under 1930-talet var vallandelen som högst både i antal hektar och i procentuell andel av åkermarken (Osvald, 1962). Djurhållningen var inte koncentrerad till vissa regioner. I slutet på 30-talet var det endast en knapp tiondel av gårdarna som saknade djur (Flygare & Isacson, 2003). Den tiondelen dominerades dessutom av riktigt små gårdar.

Ibland har 1930/40-talets jordbruk betraktats som en höjdpunkt ur hållbarhetssynpunkt i jämförelse både med de tidigare och med de senare jordbrukssystemen. Argumentationen bygger på att man, trots ett litet beroende av insatsmedel, uppnådde en hög avkastning tack vare väl utvecklade växtföljder. Efter andra världskriget förändras jordbrukssystemen i riktning mot mer ensidiga växtföljder. Osvald beskrev förändringen på följande sätt: "Det förefaller, som om jordbrukarna inte längre hade erforderlig insikt om eller känsla för betydelsen av omväxling mellan grödor av olika slag." (1962, sid. 132)

En intressant fråga, som behandlas i den här rapporten, är om det är ett korrekt påstående att 1930/40-talets jordbrukssystem var mer hållbara än de system som tillämpades sedan jordbruket inriktats mot en långtgående specialisering.

Den här rapporten redovisar en bitemporal undersökning på gårdsnivå där två tidsperioder jämförs från hållbarhetssynpunkt. Den första perioden omfattar fem år från 1930/40-talet och den senare perioden omfattar fem år under 1990-talet. Undersökningen skulle kunna omfatta i princip hur många faktorer som helst. Begreppet hållbarhet innehåller en sådan bredd och är så mångfasetterat att väldigt många indikatorer skulle kunna tas fram. Jag återkommer i senare avsnitt med resonemang om vad som kan avses med

hållbara jordbrukssystem. Ett urval har gjorts av faktorer som ger en bild av hushållningen med växtnäringsämnen kväve och fosfor samt energihushållningen. Faktorerna har valts utifrån vad som är särskilt viktigt att bedöma vid en jämförelse och vad som varit praktiskt möjligt med hänsyn till tillgängligt material.

1.1 Miljömedvetandets utveckling

Det är ingen lätt uppgift att avgöra när diskussionen om miljöfrågor inleddes. Åtminstone inte om man med miljöfrågor menar alla former av resursproblem och miljöfarliga utsläpp, som på något sätt hotar ekosystemen eller mänskliga samhällen. Mänskliga kulturer har brottats med miljö- och resursproblem långt före industrialismen. Kritik mot samhällets utveckling med dess negativa påverkan på natur och levnadsförhållanden har funnits sporadiskt under hundratals år. Inom romantiken kritiserades den mänskliga civilisationen medan naturen dyrkades. Thomas Malthus (1766-1834) varnade för att jordens befolkning ökade snabbare än matproduktionen. I England, där avskogningen redan på 1600-talet hade gått långt, och där industrialiseringen kom tidigare än i något annat land, uppkom en kritik av utvecklingen. På 1930-talet innebar "the Dust Bowl", då vinderosion allvarligt skadade stora arealer jordbruksmark i USA, att naturresursfrågor hamnade i fokus på ett helt annat sätt än tidigare.

Men det var inte förrän på 1960-talet som en mer intensiv och omfattande miljödebatt inleddes i västvärlden. Det var som tidigare nämnts Rachel Carson, som i sin berömda bok *Silent Spring* (1962) uppmärksammade jordbrukets användning av miljögifter, som i hög grad bidrog till att stimulera miljödebatten. Under samma tidsperiod var Georg Borgström en aktiv kritiker av samhällsutvecklingen. Han menade att hänsyn inte togs till långsiktig naturresurshushållning och betonade riskerna med samhällets användning av kemikalier. Det huvudsakliga budskapet var att jordens resurser var begränsade och att denna kunskap borde påverka de politiska besluten. Han menade också att utbildning och växande kunskap var nödvändig för att mänskligheten skulle kunna göra mer långsiktiga prioriteringar (Borgström, 1964). Betoningen av kunskap liknade väldigt mycket den som, trettio år senare, gjordes i Agenda 21-rapporten som tillkom på FN:s miljökonferens i Rio 1992.

Litteratur från det tidiga 60-talet, som exempelvis de ovannämnda böckerna, inledde en bred miljöpolitisk debatt som idag, mer än fyrtio år senare, är än mer levande och politiskt aktuell. Däremot har både debattens styrka och dess inriktning varierat under de gångna decennierna. Jag har

själv, som miljöengagerad och politiskt aktiv, haft möjlighet att både delta i och följa debatten i alla fall sedan 1980-talet.

I Sverige var 1960-talets och det tidiga 1970-talets miljödebatt dominerad av problemen med punktutsläpp från industrier och samhällets avlopp. Det är lätt att förstå varför. Problem som är tydliga för det mänskliga ögat, som rök från skorstenar och utsläpp av smutsigt avloppsvatten, är det lättare att få en allmän förståelse för än mer ”osynliga” problem.

Under 1950- och 1960-talen var fossila bränslen mycket billiga och användningen ökade snabbt både inom jordbruket och inom samhället i övrigt. Någon egentlig oro över utvecklingen är inte enkel att spåra. Tvärtom underströks ofta att ökade energiflöden var viktiga för att åstadkomma ekonomisk utveckling. Ett belysande citat: ”The great significance of a change in the cost of energy arises from the fact that energy is a part of the cost of achieving all values. It takes energy even to dream.” (Cottrell, 1970[1955], sid. 113).

Resursfrågor började uppmärksammas på 1970-talet. Oljekrisen 1973 innebar ett trendbrott i synen på fossil energi. En oro för att tillgångarna var begränsade och att leveranserna kunde vara osäkra började sprida sig. Under 1970-talet ökade också andra energifrågors betydelse i miljödebatten både i Sverige och i andra länder. Kring 1970 började t.ex. miljörörelsen kritisera planerna på att satsa på kärnkraft i Sverige. Tidigare hade miljörörelsen haft en positiv syn på kärnkraften eftersom man antog att en kärnkraftsutbyggnad skulle kunna skydda älvarna från utbyggnad av vattenkraften. Kärnkraftsdebatten kulminerade 1980 i en folkomröstning om kärnkraftens framtid. Folkomröstningen resulterade i ett slags kompromiss som innebar att kärnkraften skulle avvecklas, men att den dessförinnan skulle byggas ut i snabb takt! 1999 stängdes en reaktor efter en intensiv debatt och politiska kompromisser.

Under 1980-talet ökade intresset för jordbrukets miljöfrågor och i mitten av decenniet kompletterade riksdagen de jordbrukspolitiska målen med ett särskilt miljömål (Proposition 1984/85:166). Men det var inte bara jordbrukets markanvändning som var uppmärksammas. Även skogsbrukets metoder och skyddet av de sista naturskogarna var viktiga markanvändningsfrågor.

Sedan 70-talet har alltså energifrågorna utgjort en viktig del av den miljöpolitiska debatten. Men det skulle dröja innan klimatfrågan blev en stor och kanske dominerande del av miljödebatten. Eftersom klimatfrågan utgör en så viktig del av vår tids miljödebatt vill jag något belysa bakgrunden till att frågan har fått en sådan tyngd.

1988 togs ett initiativ inom FN och WMO³ att bilda IPCC⁴. Bildandet av IPCC innebar att ett världsomspännande forskningssamarbete om klimatfrågan inleddes. Dess första rapport⁵ publicerades 1990 och innehöll en unikt långtgående vetenskaplig konsensus om klimatfrågans allvar. IPCC:s arbete innebar att klimatfrågan fick en större politisk tyngd. Under hösten 2006 gav det brittiska finansdepartementet ut den s.k. Sternrapporten (Stern, 2008). Den innehöll en omfattande ekonomisk analys av klimatförändringens effekter. Rapporten blev mycket uppmärksammad eftersom den hävdade att BNP-utvecklingen kommer att ta skada av klimatförändringarna:

”Our actions over the coming few decades could create risks of major disruption to economic and social activity, later in this century and in the next, on a scale similar to those associated with the great wars and the economic depression of the first half of the 20th century.” (Stern, 2008, sid.

ii)

Tidigare har redovisningar av klimatförändringarna oftast belyst effekter på människor och miljö. Men Sterns inriktning, att redovisa ekonomiska effekter av klimatfrågan, ökade frågans tyngd. Den fjärde IPCC-rapporten⁶, som publicerades 2007, betonade också de ekonomiska skadorna av klimatförändringen. Kontrasten till 50-talets syn på att hög energiförbrukning leder till välstånd hade nu blivit skarp.

Jordbrukets roll inom klimatpolitiken har uppmärksammats allt mer både som stor användare av fossila bränslen och som producent av biologiska råvaror och energi som kan ersätta användningen av fossila resurser. Även jordbruksmarken som kolsänka⁷ och jordbrukets utsläpp av metan och lustgas tas numera upp som viktiga frågor.

När jag genomfört den här jämförande studien av jordbrukssystemens hållbarhet har det, p.g.a. klimatfrågans tyngd, varit naturligt att redovisa nyckeltal som ger information om delar av jordbrukets klimatpåverkan.

1.2 Populära begrepp inom miljöområdet

Under den tidsperiod som miljöfrågor har varit en del av samhällsdebatten har olika begrepp utvecklats för att kommunicera samhälleliga målsättningar.

³ World Meteorological Organization

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change

⁵ IPCC First Assessment Report: 1990 (IPCC, 2008)

⁶ IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (IPCC, 2008)

⁷ Om jordbruksmarken fungerar som kolsänka innebär det att kol binds in i marken genom att halten av organiskt material ökar. Ett annat exempel på en kolsänka är världshaven, vars halt av koldioxid ökar.

Begreppen syftar till att styra både tänkande och handlade i en viss riktning. De används också för att skapa så långtgående konsensus som möjligt och för att kommunicera de egna målsättningarna. En spännande fråga är i vilken grad de olika begrepp som använts återspeglar olika synsätt eller om man i olika tidsperioder har avsett ungefär samma idéer och målsättningar. Nedan kommer jag att föra en diskussion om skillnader och likheter i betydelse mellan olika begrepp som använts.

Hållbar utveckling, eller det engelska begreppet "sustainable development", är ett begrepp som har använts flitigt, framför allt i miljösammanhang, sedan början av 1990-talet. I Sverige är det svårt att överhuvudtaget hitta exempel på att det använts före 1990. Men under 1990-talet blev "hållbar utveckling" det vanligaste begreppet för att beskriva denna strävan. Det är därför kanske inte så överraskande att den här rapporten, i jämförelsen mellan olika jordbrukssystem, använder begreppet som en utgångspunkt.

Bakgrunden är Brundtlandkommissionens rapport *Our Common Future* från 1987 där begreppet "sustainable development" lanserades. Visserligen var det inte första gången som uttrycket användes. Men det var nu som det blev allmänt och internationellt känt. Kommissionen definierade begreppet på följande sätt: "development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs." (WCED⁸ m.fl., 1987, sid. 43)

Men en rad olika begrepp har använts för att beskriva strävan mot ett mer långsiktigt tänkande med miljötanke som en integrerad del av samhällsutvecklingen. Exempel på begrepp som använts i Sverige är "ekologisk grundsyn" och "kretsloppssamhälle". Redogörelsen för de olika begrepp som används i den svenska miljödebatten är i hög grad färgad av hur jag själv, som miljöengagerad debattör, har uppfattat deras användning.

Under 1970-talet introducerades begreppet "ekologisk grundsyn" (SOU 1971:75). Definitionen av begreppet var mycket vag. Men begreppet användes ofta i miljödiskussionen fastän det kanske inte ändrade de grundläggande synsätten. Men "ekologisk grundsyn" användes i argumentationen, för att betona andra värden än ekonomiska, för en ny naturresurs- och planlagstiftning som kom till i mitten av 1980-talet. I arbetet med 1984 års vattenlag utgick man också från en "ekologisk grundsyn" när allmänna intressen som t.ex. naturvärden och friluftsliv skulle vägas in vid tillståndsgivning till vattenföretag. Den gamla lagen från 1918 tog endast hänsyn till ekonomiska vinstintressen.

⁸ World Commission on Environment and Development

En ny metafor för ett miljöanpassat samhälle, ”kretsloppssamhälle”, växte fram i slutet på 80-talet och början på 90-talet för att betona vikten av att inte allvarligt påverka ämnens biokemiska cirkulation och för att stödja återanvändning och återvinning. Det är möjligt att den nya metaforen kan vara en konsekvens av att miljödebatten hade inriktats på att förebygga miljöproblem istället för att välja ”end-of-pipe”-lösningar⁹. Under 80-talet hade också en insikt utvecklats om att det var viktigt att också arbeta med diffusa föroreningar och att ett arbete med punktutsläpp var otillräckligt. Inte minst algblomningarna i Östersjön sommaren 1988 bidrog till att öka betoningen på diffusa utsläpp.

Begreppet ”sustainable development” kan spåras tillbaka till 1980-talet och det sena 70-talet. Den första gången som begreppet användes inom den internationella miljöpolitiken var 1980 då IUCN¹⁰ använde uttrycket i *World Conservation Strategy* (IUCN, 1980). Men, som tidigare nämnts, var det Brundtlandkommissionen som i rapporten *Our Common Future* (WCED m.fl., 1987) gjorde att begreppet blev välkänt och fick allmän spridning. En slutsats i rapporten är att miljöproblem inte bara orsakas av livsstilen i den rika världen. Fattigdomen kan också orsaka miljöproblem eftersom den, i vissa fall, kan tvinga människor till ett kortsiktigt tänkande för att överleva. Detta kan leda till att naturresurser som t.ex. ved inte används på ett hållbart sätt. Fattigdom kan också leda till att man odlar på erosionskänsliga områden. I den rika världen däremot orsakas miljöproblemen, menade man, av en kombination av val av livsstil och teknik. Det är uppenbart att kortsiktigt tänkande inte bara är ett problem i den fattiga delen av världen. Kortsiktiga vinstintressen är även i den rika delen av världen en viktig orsak till att långsiktigt tänkande har svårt att få genomslag i beslutsfattandet.

En intressant fråga är om begreppet ”hållbar utveckling” eller ”sustainable development” har inneburit ett nytt sätt att förhålla sig till och arbeta med miljö- och naturresursfrågor. Sedan 90-talet har det gjorts oräkneliga försök att tolka, definiera eller beskriva hur begreppet ska användas i praktiken. Ibland ingår sociala och ekonomiska värden i tolkningarna. Andra gånger begränsar man sig till miljödimensionen. I vissa definitioner har naturen ett värde i sig, men vanligen ses naturvärdena ur ett mänskligt perspektiv.

Brundtlandkommissionen, som kopplade samman miljöproblem med fattigdom, drog slutsatsen att man måste integrera miljöarbetet med insatser

⁹ Begreppet ”end-of-pipe” syftar på en inriktning av miljöarbetet där man försöker lösa miljöproblemen genom rening i samband med utsläpp till mark, luft och vatten. Det används som kontrast till ett miljöarbete där man istället förebygger miljöskadliga utsläpp genom val av råvaror, processer, återvinning och återanvändning.

¹⁰ International Union for Conservation of Nature

för att åstadkomma ekonomisk utveckling. Å andra sidan är det knappast så att kortsiktiga vinstintressen har blivit bortglömda när miljöåtgärder diskuterats under de senaste decennierna. 1960-talets miljödebatt i Sverige ledde fram till 1969 års miljöskyddslag. En grundläggande princip i lagen var att en avvägning skulle göras mellan miljöhänsyn och ekonomi när man t.ex. gav tillstånd till en miljöfarlig verksamhet.

Efter Riokonferensen 1992 blev ”hållbar utveckling”, den svenska översättningen av ”sustainable development”, successivt den dominerande metaforen för en utveckling av samhället där miljö- och resursfrågor integreras med utvecklingen i övrigt. Men trots att ”hållbar utveckling” blivit ett så allmänt använt begrepp saknar Nationalencyklopedin en förklaring till begreppet. Det aktuella bandet kom nämligen 1992 och det var antagligen något år för tidigt för att man skulle inse vikten av att förklara begreppet.

En intressant fråga är om den nya och populära metaforen innebar någon grundläggande skillnad mot tidigare försök att formulera visioner om ett samhälle med genomtänkt miljöhänsyn och långsiktigt tänkande. Om man läser texter som belyser 1970-talets miljödebatt, kan man konstatera att många av argumenten fortfarande är desamma. När man argumenterade för radikala miljöpolitiska idéer tog man ofta upp globala solidaritetsfrågor och ansvaret för kommande generationer. Dagens argumentation om betydelsen av livsstilsval, främjande av ny teknik och annan ekonomisk politik fanns även den med på 70-talet. Om man istället ser till argumentationen mot miljöåtgärder så är även de ungefär desamma. Framför allt har det hela tiden handlat om ekonomiska argument såväl på hushållsnivå som på nationell nivå. Det har hela tiden funnits en oro för att miljöpolitiken skulle kunna minska industrins internationella konkurrenskraft eller innebära fördyringar för vissa människors val av livsstil.

Även om huvudlinjerna i argumentationen kring miljöfrågorna varit likartade, har de frågor som stått i fokus varierat. 1960-talets debatt, som i hög grad var inriktad på problem med utsläpp från industrin, har gradvis ändrats till att istället handla om industrins produkter, trafiken och markanvändningen inom jord- och skogsbruk. Men det har inte bara skett förändringar av vilka frågor som diskuteras mest. Steg för steg har det förebyggande arbetet och planering lyfts fram, liksom ekonomiska styrmedel. Men hittills har inte miljöfrågorna fått en avgörande betydelse i samhällsplaneringen, vilket kan illustreras av att biltrafiken fortfarande ökar.

Begreppet hållbar utveckling understryker att långsiktigt tänkande och miljöhänsyn bör vara en integrerad del av samhällsutvecklingen. Men i huvudsak är det fortfarande samma konflikter som miljöpolitiken handlar om

idag som i miljödebattens barndom. Dagens syn på hållbar utveckling kan snarare förklaras som resultatet av en kontinuerlig process där miljöfrågor har integrerats allt mer inom andra politiska områden och ökad kunskap om att ”end-of-the-pipe”-lösningar aldrig är tillräckliga.

Men om hållbar utveckling inte innebar ett så stort nytänkande, hur kan då begreppet ha fått så stor spridning och popularitet? En enkel förklaring kan vara att miljöpolitiken var under förändring och att det var naturligt att ta till sig ett nytt begrepp som symbol för den fortgående förändringen. En annan möjlig orsak som bl.a. Helmfrid (1992) argumenterar för är begreppets vaghet som bidragande till dess popularitet. Hennes förklaring är inte osannolik. Om en tolkning av ett begrepp, vilket syftar till att åstadkomma samhällsförändringar, inte är självklar kan det vara ett bekvämt sätt att dölja eller i alla fall skjuta på konflikter. En grumlig målsättning och färdväg innebär att det är smidigt för var och en att själv förtydliga. Nackdelen är förstås uppenbar. När målen ska omsättas i praktisk handling går det inte längre att dölja de konflikter som finns. Tonvikten kan läggas antingen på miljöaspekterna eller på mer kortsiktiga ekonomiska intressen. Ibland görs också tolkningen att det inte finns några motsättningar mellan materiell tillväxt och miljötankande överhuvudtaget. Alla de möjliga tolkningarna gör att i stort sett vem som helst kan ställa upp på hållbar utveckling som ett politiskt mål. När det verkar finnas konsensus om att satsa på hållbar utveckling kan det alltså vara en illusion. En metafor kan inte så enkelt radera ut de konflikter som finns mellan olika prioriteringar.

I grunden är hållbar utveckling ett politiskt begrepp. Men inte bara samhällsdebattörer, utan också forskare, har försökt att förtydliga definitionen. Den grundläggande definitionen är ganska öppen, vilket kanske var en nödvändighet, för att uppnå politiskt stöd. Myrdal (2008) menar att det finns fördelar med begrepp som inte är så tydligt definierade inom politiken. Om det finns utrymme för tolkningar av begrepp kan de underlätta politiska kompromisser. Inom vetenskapen däremot, menar han, är precisa begrepp att föredra eftersom det inte alltid finns behov av enighet utan att olika uppfattningar istället kan vara fruktbara för den vetenskapliga utvecklingen. Hans slutsats är att det är väsentligt att båda typerna av begrepp finns eftersom de fyller olika funktioner och kompletterar varandra. Vetenskapligt definierade begrepp kan bli för strikta och sakna den värderingsmässiga laddning som är nödvändig för samhällsdebatten. De politiskt definierade begreppen kan istället bli för otydliga om de inte kompletteras med mer preciserade vetenskapliga begrepp.

Eftersom det finns en otydlighet i vad som avses med ”hållbar utveckling” är det inte förvånande att definitionen av begreppet och av dess

egentliga innehåll har blivit omdiskuterad. Men de tolkningar som finns har det gemensamt att de i begreppet ser en strävan efter att minska miljöförstöring och resursslöseri samtidigt som mänskliga behov, både dagens och morgondagens, tillfredsställs. Hållbar utveckling innehåller en moralisk dimension eftersom det handlar om att även klara kommande generationers behov. Eftersom framtida generationer inte har möjlighet att delta i utformningen av samhället, måste de som lever idag klara av ett långsiktigt tänkande och ansvarstagande.

Problem med mänskliga samhällens ekologiska hållbarhet är inte någon ny företeelse som uppstått i samband med industrisamhället. Det är graden och miljöproblemens geografiska utbredning som gör hållbarhetsaspekten till en så central fråga för mänskligheten. Större delen av människans påverkan på ekosystemen har uppkommit efter 1950 (Turner m.fl., 1990). Det allra tydligaste exemplet är klimatförändringarna, som till största delen orsakats av användningen av fossila bränslen. Klimatfrågan har visat att mänskligheten har gemensamma miljöproblem som påverkar samhällen och ekosystem över hela jorden.

De konflikter som försvårar arbetet med att lösa hållbarhetsproblem är inte nya. I decennier har de i princip varit likartade. Oavsett vilket begrepp som använts för att beskriva ett mer miljöanpassat samhälle, har i stort sett samma motstående intressen försvårat lösningar. Kortsiktigt har ställts mot långsiktigt. Det egna samhällets konsumtion har vägts mot materiell välfärd i andra länder. Vinstintressen har varit i konflikt med andra värden. De begrepp som använts för att beskriva målsättningarna om ett mer miljöanpassat samhälle har alla gett uttryck för ett allmänintresse. Särintressen, som försvarat vinstintressen eller rådande livsstilar, har försvårat beslut som gynnat allmänintresset.

Framtidsperspektivet, som är tydligt i definitionen av hållbar utveckling, är kanske den svåraste utmaningen när begreppet ska tillämpas inom politiken och samhällsutvecklingen överhuvudtaget. Det är svårt att föreställa sig långa tidsperspektiv framåt som sträcker sig över många generationer. När ekonomer talar om långsiktig ekonomisk politik handlar det ofta om ungefär fem år. I ett ekologiskt hållbarhetsperspektiv är däremot fem år en mycket kort tidsperiod. Inför förra sekelskiftet var många tekniker i IT-branschen sysselsatta med den s.k. 2000-årsproblematiken. Många IT-system fick göras om trots att de hade konstruerats bara ett fåtal år tidigare. Dessutom var tusenårsskiftet definitivt inte en oförutsedd händelse.

Om vi övergår till jordbrukssystemets hållbarhet är det uppenbart att inte heller ett hållbarhetsperspektiv på i storleksordningen hundratals år är tillräckligt. Det finns stora jordbruksarealer som har brukats i tusentals år

och som det sannolikt kommer att finnas behov av tusentals år framåt. Jordbruket står för mycket grundläggande behov och därför är det nödvändigt att, trots svårigheterna att tänka så långsiktigt, ha som ambition att föreställa sig ett mycket långt tidsperspektiv.

Den moraliska dimensionen i hållbar utveckling, med dess långsiktiga tidsperspektiv, handlar om hur vi som lever idag ska kunna väga in och ta hänsyn till kommande generationers intressen. Det är väsentligt att inte skapa en bild av ett "hållbart samhälle" som något oföränderligt. Människans längtan efter utveckling behöver bejakas och är en viktig del av livskvaliteten. Även om vi inte vet vilka värderingar de som lever efter oss kommer att omfatta eller vilka önskningar de kommer att vilja uppfylla, måste vi ändå ta hänsyn till deras intressen. Det rimliga sättet att se på tolkningen av begreppet, enligt min mening, är att framtida generationer har rätt till samma möjligheter till t.ex. resursanvändning och goda levnadsförhållanden som vi som lever idag. Men det är bara dagens generationer som kan påverka utvecklingen med politik, livsstil och teknik.

Förutom långsiktigheten ligger en annan svårighet med arbetet för en hållbar utveckling i de biologiska systemens komplexitet. Det innebär att effekterna av mänskliga handlingar kan vara svåra att förstå och förutsäga. Effekterna av handlingar är ofta förskjutna i såväl tid som rum. Det kan därför dröja många år innan de negativa effekterna av handlingar blir uppenbara. Omvänt kan också positiva effekter av åtgärder som syftar till att minska miljöproblem dröja.

Ibland sägs det att beslut skulle bli annorlunda, inte minst inom politiken, om beslutsfattare hade förståelse för icke-linjära system och samband. Bristen på linjäritet, medför just att beslut om förändringar blir svåra att fatta i tid eftersom effekterna inte kommer i samma takt som påverkan. När effekterna börjar märkas kommer de snabbt, svåröversägligt och ibland kaosartat. Addiscott menar att det även inom vetenskapen finns en önskan om att uppfatta verkligheten som linjär: "Many scientists and, it would seem, most economists would prefer to live in a linear world. Unfortunately for them, the real world shows a definite preference for curves, and any system involving human beings is most unlikely to behave in a linear way." (Addiscott, 2005, sid. 189)

Min egen uppfattning är att det finns behov av större kunskap om naturvetenskapliga samband hos beslutsfattare för att åstadkomma förändringar i både val av teknik och livsstil. Det krävs ett ledarskap där man även vågar ta beslut som inte är populära hos alla. Men för att nå ett brett stöd för nya vägval kommer det också att vara nödvändigt att kombinera miljöpolitiken med en fungerande fördelningspolitik.

Det finns skillnader i utveckling av begrepp och språkbruk mellan USA och Europa. I USA är det vanligare med användning av radikala begrepp som "deep ecology" ("djupökologi") och mer djupgående ifrågasättande av samhället. I Europa har miljörelsens människor ofta en mer pragmatisk framtoning. Debatten i Europa är mer inriktad på konkreta åtgärder än att ändra på hela samhällssystemet. En möjlig förklaring är att de gröna partierna är relativt starka i Europa och har verkligt politiskt inflytande. Det innebär att en del människor som annars skulle vara aktiva inom utomparlamentariska miljörelser istället arbetar med konkret politik som lagstiftning och ekonomiska styrmedel.

Även om tolkningen av hållbar utveckling varierar både mellan länder, organisationer och mellan människor är det ett begrepp som använts allmänt över hela världen. I Europa talar man ofta om tre aspekter av hållbarhet, nämligen ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet. Ibland nämns även kulturell hållbarhet. I det här projektet har jag valt att lägga tonvikten på miljö- och resursaspekterna men utgått ifrån att de agrara systemen syftar till att försörja samhället med produkter.

Hur verkligheten ter sig beror både på kunskap och på värderingar, även om man inte alltid tydligt kan särskilja dem. I den kontinuerliga process där bilden av verkligheten formas, är det väsentligt att ha tillgång till så relevant och korrekt kunskap som möjligt. Det är inte alltid lätt att veta vilka uppfattningar som är baserade på forskning och vilka som bygger på myter som har antagits överensstämna med verkligheten eftersom de upprepats många gånger. I det här fallet är myter bekväma sanningar som stödjer den egna uppfattningen av verkligheten och därför vidarebefordras utan vidare undersökning.

Inom beslutsfattande som rör miljöområdet, med dess många komplicerade problem med målkonflikter och ibland kontroversiella åtgärder och styrmedel, är det viktigt att ha grundläggande kunskap som är så relevant och fri från fördomar som möjligt. Ju större bristen är på relevant kunskap desto svårare är det att fatta beslut. Dessutom finns risken att effekterna av de beslut som fattas inte blir de önskvärda. Den allmänna debatten är en viktig del i processen som leder fram till beslut. Forskning som ifrågasätter eller stödjer rådande uppfattningar om verkligheten kan bidra till att höja debattens kvalitet. Den här rapporten syftar till att bidra till ett bättre kunskapsunderlag som kan användas i diskussionen om vägval inför framtida jordbrukssystem.

2 Vad innebär ett ekologiskt hållbart jordbrukssystem?

När man funderar på vad ett hållbart samhälle skulle kunna innebära så är det naturligt att komma in på jordbrukssystemens hållbarhet. Övergången från jägar- och samlarkulturer till jordbrukande kulturer har varit en förutsättning för att jorden ska kunna försörja en stor befolkning. Jordbruk är också ett av de allra största ingreppen som mänskligheten har orsakat och orsakar på de naturliga ekosystemen. Den radikalt förändrade markanvändningen har inneburit stora förändringar i de naturliga ekosystemen och i förutsättningarna för olika växt- och djurarter att överleva. Det är inte bara de fysiska förutsättningarna som förändras av jordbruket. Jordbruket medför också kemisk påverkan, både när det gäller jordbruksmarkens egenskaper och på omgivande ekosystem.

Det har gjorts olika försök att beskriva vad som är ett hållbart jordbrukssystem. Ett sätt är att beskriva ett antal systemegenskaper, ”system properties”, som är väsentliga. Marten (1988) har beskrivit de egenskaper som SUAN-nätverket¹¹ har identifierat:

- Productivity
- Stability
- Sustainability
- Equitability
- Autonomy

Med ”productivity” avses den mängd användbara produkter som systemet kan leverera. ”Stability” handlar om hur jämnt systemet kan leverera produkter – det är ett mått på säkerheten i odlingsystemet. Det skiljer sig

¹¹ The Southeast Asian Universities Agroecosystem Network

från ”sustainability” som handlar om att kunna ligga kvar på samma produktionsnivå långsiktigt. Hänsyn tas inte till hur skörden varierar mellan åren. ”Equitability” är ett socialt begrepp och avser hur rättvist produktionen fördelas. ”Autonomy” är ett mångdimensionellt begrepp som beskriver hur självförsörjande jordbrukssystemet är. Det handlar om alltifrån arbetskraft, till information och växtnäringsförsörjning.

Tanken med att använda sig av ett antal systemegenskaper är att man ska kunna systematisera jämförelser mellan olika jordbrukssystem.

Brklacich m.fl. (1991) beskriver olika perspektiv som kan användas för att beskriva jordbrukssystemets hållbarhet:

- Environmental accounting
- Sustained yield
- Carrying capacity
- Production unit viability
- Product supply and security
- Equity

Perspektivet ”environmental accounting”, miljöräkenskaper, handlar om att bedöma effekter på miljön av ett odlingssystem. Det handlar alltså inte bara om påverkan på själva jordbrukssystemet. Jordbruket kan t.ex. orsaka försämring av dricksvatten utan att själva jordbruksproduktionen för den skull påverkas. Begreppet ”sustained yield”, bibehållen skördenivå, är däremot inriktat på den långsiktiga produktionsförmågan hos själva jordbrukssystemet. Ett odlingssystem som t.ex. orsakar erosion, försaltning eller minskad tillgång till växtnäring kan inte långsiktigt bibehålla skördenivåerna.

”Carrying capacity” kan definieras på olika sätt. Det handlar om hur stor befolkning som kan försörjas långsiktigt på en given resursbas. Givetvis är det ett dynamiskt begrepp eftersom t.ex. val av livsstil påverkar hur många som kan försörjas.

Begreppet ”production unit viability” är istället inriktat på de enskilda jordbruksföretagens möjligheter att överleva. Det är alltså inte, till skillnad från de tidigare beskrivna perspektiven, i hög grad naturvetenskapligt. Istället beskriver begreppet ett socialt och ekonomiskt perspektiv. ”Product supply and security” är ett begrepp inriktat på relationen mellan jordbruksproduktion och mänsklig efterfrågan på produkter. Perspektivet är inte bara fysiskt utan också, i hög grad, ekonomiskt och socialt. Perspektivet ”equity”, som också beskrivs av Marten (1988), är också socioekonomiskt

inriktat och handlar om rättvis tillgång till de produkter som produceras inom jordbruket.

Parr och Hornick (1992, sid. 186) ger en sammanfattande naturvetenskaplig definition av ett hållbart jordbrukssystem: "...a truly sustainable farming system is one in which the beneficial effects of various conservation practices equal or exceed the harmful effects of degradative processes."

I den här rapporten förs endast en diskussion om själva jordbrukssystemens hållbarhet med avseende både på produktionsförmågan och påverkan på miljö och resurshushållning. Men givetvis skulle det gå att föra en vidare diskussion om hållbarheten i den totala livsmedelsförsörjningen. I så fall skulle transporter av livsmedel och förnödenheter beaktas. Hela livsmedelsindustrin och den industri som försörjer jordbruket med förnödenheter skulle också vara väsentlig. Dessutom skulle hushållen, som förbrukar livsmedlen, behöva tas med i bedömningen av hållbarheten.

En faktor som avgör hållbarheten hos ett jordbrukssystem är om brukandet av marken kan fortgå på i princip samma sätt långt fram i tiden utan att dess produktionsförmåga eller bördighet sjunker. En balanserad tillförsel av växtnäring är viktig för att ett jordbrukssystem ska vara långsiktigt hållbart (Bergström m.fl., 2005). Men det skulle kunna tänkas att ett jordbrukssystem skulle kunna ge avkastning, på ungefär samma nivå, under en relativt lång tid, även om omgivande ekosystem skulle påverkas negativt. Jordbruksmark kan läcka stora mängder kväve till omgivande vattendrag utan att dess avkastning per hektar sjunker, under förutsättning att kväve tillförs marken t.ex. genom gödsling eller, under en begränsad tidsperiod, genom att markens bördighet utarmas. Jordbrukssystem kan också orsaka utsläpp av växthusgaser och bidra till den globala klimatförändringen. Det är heller inte omöjligt att kemiska bekämpningsmedel skulle kunna skada omgivande ekosystem och förgifta dricksvatten utan att avkastningen skulle sjunka.

För att bedöma ett jordbrukssystemens långsiktiga hållbarhet är det därför viktigt att beakta såväl interna som externa miljö- och resurseffekter av systemet. Med interna effekter avses sådant som påverkar jordbruksmarkens långsiktiga förmåga till produktion. Markens växtnäringssstatus, både dess innehåll av näringsämnen och i vilken form de finns, är givetvis väsentlig för dess produktionsförmåga. Om halten av växtnäring som är tillgänglig för växterna minskar, p.g.a. en större bortförsel med skördeprodukter eller utlakning än vad som tillförs t.ex. med gödsling, mineralisering och vittring, kommer det att innebära en sjunkande avkastning. Ett annat exempel på

intern påverkan är packning av marken som orsakas av tunga jordbruksmaskiner och som påverkar dränering och rötternas möjligheter att tränga ned och få tillgång till vatten och växtnäring. Ett allvarligt hållbarhetsproblem i stora delar av världen är bristande vattenhushållning som kan leda till försaltade jordar inom bevattningsjordbruket.

Med externa effekter kan avses t.ex. oönskad spridning av ämnen till omgivande ekosystem. Det handlar t.ex. om föroreningar som nämnts ovan. Men hit kan också räknas resursutarmning på annat håll. Om förluster av t.ex. fosfor och kalium sker inom jordbruket, p.g.a. erosion och utlakning eller genom att kretsloppen mellan stad och land är brutna genom att växtnäringen i stadens avfall inte återförs till jordbruksmarken, måste så småningom växtnäring tillföras från annat håll. Ändliga mineraltillgångar måste tas i anspråk då fosfor och kalium bryts i gruvor för att ersätta förlusterna.

Inom litteraturen och samhällsdebatten råder det konsensus om att jordbrukssystem som leder till att jordar försaltas eller drabbas av allvarlig erosion inte är hållbara. De största åsiktsskillnaderna finns när det gäller användningen av konstgödsel, kemiska bekämpningsmedel och fossila drivmedel. I princip kan tre synsätt urskiljas. Ett av dessa är att utvecklingen mot en allt större användning av insatsmedel i stort sett är bra. Synsättet utgår från att en större del av solenergin kan bindas genom att skördarna blir större per hektar. Stora skördar av biomassa kan i så fall t.ex. användas för att ersätta fossila bränslen (Loomis & Connor, 1992). Ett annat synsätt är att det är viktigt att sluta kretsloppen och att radikalt minska beroendet av fossila bränslen. Odum och Odum (2001) menar att en sådan utveckling kommer att bli resultatet av höjda energipriser, vilket kommer att leda till förbättrade kretslopp och odling av baljväxter mer konkurrenskraftiga i jämförelse med användning av handelsgödsel. Det tredje sättet att se på jordbruket är att det visserligen inte är hållbart, med dess stora beroendet av insatsmedel, men att problemet inte är så stort i relation till andra hållbarhetsproblem med de moderna samhällena (Green, 1978).

Begreppet hållbarhet är i grunden ett antropocentriskt begrepp eftersom det handlar om uppfyllande av mänskliga behov, både för dagens och morgondagens generationer. Om jordbruket inte behövde avkasta något, skulle målsättningarna med bibehållen bördighet och att inte påverka omgivande system negativt vara betydligt lättare att uppnå. Men då skulle givetvis hela syftet med jordbruket vara uttraderat! Därför kan man vid bedömningen av systemens hållbarhet inte begränsa sig till att se till intern och extern miljö- och resurspåverkan. Påverkan måste på något sätt relateras till vilken nytta systemen bidrar med till det mänskliga samhället.

Eftersom begreppet hållbarhet handlar om uppfyllandet av mänskliga behov och mänskligt resursutnyttjande ligger det nära till hands att vid värdering av jordbrukssystem beakta olika dimensioner av begreppet produktivitet. Enkelt uttryckt kan produktivitet sägas innebära kvoten mellan "output" och "input" av olika resurser. Vilken produktivitet som beaktas beror på vilket syfte man har och vilket slags resurseffektivitet man värderar högst. Inom agrarhistorisk forskning har man t.ex. bedömt arealavkastning i kg producerad mat per arealenhet och arbetsproduktivitet som mängd producerad mat per mänsklig arbetstimme. Overton och Campbell (1991) menar att agrarhistoriker traditionellt har lagt för stor vikt vid avkastningen per hektar i jämförelse med arbetsproduktiviteten. De menar också att den ökande arbetsproduktiviteten har varit avgörande för de stora samhällsförändringar som industrialiseringen inneburit. Något förvånande är kanske att Overton och Campbell inte fokuserar mer på produktiviteten mätt som jordbruksproduktion per fossil resursinsats med tanke på att uppsatsen skrevs på 1990-talet. Troligen beror det på att de har en bakgrund som historiker och inte som naturvetare. Redan på 1970-talet väcktes nämligen ett intresse för energieffektiviteten inom jordbruket som ett resultat av både oljekrisen och den snabbt ökande energianvändningen inom jordbruket under 1950- och 1960-talen. Numera är det ovanligt att man vid diskussioner om jordbrukssystemets hållbarhet inte beaktar dessas produktivitet med avseende på fossilt energiutnyttjande.

Den mentala bilden av vad som är ett hållbart jordbrukssystem eller ett hållbart samhälle varierar mellan människor. Det är naturligt att variationen är stor eftersom begreppet i sig är relativt vagt. Människor har olika uppfattningar om både kultur och natur. Våra erfarenheter och utbildningsbakgrunder skiljer sig också mycket åt. Ett sätt att se på ett hållbart samhälle är att ha en eller flera visioner om ett "gott" samhälle där alla problem förefaller lösta. Begreppet hållbart är i det fallet ett absolut begrepp. Det går att sätta upp tydliga målsättningar för vart man vill nå och föreslå åtgärder för att ta sig dit.

Ett annat sätt att se på hållbarhet är att det istället är ett relativt och dynamiskt begrepp. Med ett sådant synsätt är det betydligt svårare att måla upp visioner av det ideala samhället eller systemet där alla problem är lösta. När man ser på hållbarhet som ett relativt och dynamiskt begrepp så bedömer man istället om system är mer eller mindre hållbara. Andra bedömningar som kan göras är i vilken grad systemet är hållbart i ett visst tidsperspektiv eller rumsligt perspektiv.

Historiskt är det inte ovanligt att kulturer har drabbats av olika typer av hållbarhetsproblem. Det kan vara någon råvara som sinat eller bytesdjur som

tagit slut. Det kan också handla om jordbrukssystem som förlorat i bördighet genom utarmning av växtnäring, tilltagande försaltning eller erosion. Ibland har kulturer lyckats lösa sina problem genom att göra förändringar av samhället eller genom att välja nya tekniska lösningar. Andra gånger har kulturer gått under för att man inte lyckats lösa sina problem. Men bara för att en typ av hållbarhetsproblem har lösts innebär det inte att alla hållbarhetsproblem är lösta för all framtid. Troligen är konflikten mellan människans önskan att konsumera och omgivningens "carrying capacity" ett regelbundet återkommande mönster (Cao m.fl., 2007). Nya lösningar kanske bara är hållbara i ett visst, mer eller mindre långt, tidsperspektiv. Det kan också vara så att de genomförda förändringarna visserligen löste de gamla hållbarhetsproblemen, men istället skapade nya och oförutsedda problem. Eller också kanske hållbarhetsproblem av en helt annan karaktär kräver uppmärksamhet. Med det perspektivet är hållbarhet ett rörligt mål och människan ställs hela tiden inför nya utmaningar i form av hållbarhetsproblem som behöver lösas.

Det kan ligga en fara i förhoppningar om att nya tekniska lösningar med automatik ska lösa hållbarhetsproblem: "New technologies, whether or not they succeed in solving the problems that they were designed to solve, regularly create unanticipated new problems." (Diamond, 2005, sid. 505)

Diamond (2005) ger exempel på tekniska lösningar som medfört nya och oförutsedda problem. CFC i kylskåp var en välkommen lösning eftersom man kunde ersätta giftiga kemikalier. Men i början av 70-talet upptäcktes de allvarliga effekterna på ozonskiktet. Förhoppningar fanns att bilen skulle lösa föroreningsproblemen med hästbajs i städerna. Som vi vet löste man visserligen det då aktuella problemet men skapade i stället nya.

Det synsätt som tillämpas i den här rapporten är att hållbarhet är ett relativt och dynamiskt begrepp. System kan vara mer eller mindre hållbara. Den jämförande studien, som görs på gårdsnivå, bedömer graden av vissa aspekter av hållbarhet. Syftet är inte att skapa en konkret bild av det ur ett hållbarhetsperspektiv optimala jordbrukssystemet.

I den bitemporala studien, som redovisas i den här rapporten, har hållbarhetsaspekter hos två gårdar i Mellansverige under dels 1930/40-talet, dels 1990-talet, studerats. Det är många aspekter av hållbarhet som skulle vara intressanta att studera men eftersom detta är en historisk studie – och det därför varit omöjligt att t.ex. göra mätningar i fält – har det varit nödvändigt att begränsa studien till faktorer som är viktiga för hållbarheten och som det gått att dra slutsatser om utifrån skriftligt material från gårdarna.

Det kanske största hållbarhetsproblem som mänskligheten står inför är klimatfrågan. Den senaste klimatrapporten från IPCC¹² (2008) är mycket tydlig när det gäller allvaret i klimatförändringen. Expertpanelen tvekar inte om att klimatförändringen är en realitet. Tvärtom för man istället en diskussion om nödvändiga anpassningsåtgärder samtidigt som man betonar att utsläppen måste minska för att begränsa klimatförändringarnas omfattning så mycket som möjligt.

Jordbruket har en mycket viktig roll i klimatfrågan. Jordbruket står för ungefär en femtedel av den antropogena klimatpåverkan (Cole m.fl., 1997). Användningen av fossila bränslen inom jordbruket, både för produktion av konstgödselkväve och som drivmedel till traktorer och jordbruksmaskiner, är hög. Men jordbruket har också en förmåga att binda luftens kol till kolhydrater som kan användas både till mat, till att ersätta fossila råvaror inom industrin och till energiändamål. Förhoppningarna är stora om att jordbruket ska kunna vara med och ersätta delar av behovet av fossila bränslen inte minst till drivmedel.

Det är alltså svårt att undgå att ta med energiaspekter på jordbrukssystemen vid en bedömning av deras hållbarhet. Det är också möjligt att på ett rimligt sätt få en bild av systemens energihushållning utifrån bl.a. bokföringsmaterial. Effektiviteten i energianvändningen kan bedömas både utifrån det energiutbyte man får per hektar och de insatser av hjälpenergi som behövs per producerad enhet.

Däremot finns det andra viktiga aspekter på jordbrukssystemen utifrån deras klimatpåverkan som är väsentliga men som är svåra att bedöma i den här typen av studie. Det rör framför allt andra klimatpåverkande gaser än koldioxid. Jordbruket har problem med förluster av metan från kor och från gödselhantering. En annan kraftigt klimatpåverkande gas är lustgas (N_2O) som avges från jordbruksmark framför allt vid syrebrist. Eftersom det skulle bli frågan om alltför mycket gissningar om en bedömning av andra växthusgaser än koldioxid skulle tas med, har de lämnats utanför trots att de har väsentlig betydelse.

När det gäller växtnäringsämnen har hushållningen med kväve och fosfor tagits med. Kväve är, genom sitt komplicerade kretslopp, det svåraste växtnäringsämnet att göra bedömningar av i en studie av växtnäringsbalansen. Men hushållningen med kväve är så avgörande för bedömningen av systemens hållbarhet att kvävet inte gått att utelämna. Markorganismer, som lever i symbios med baljväxter, kan binda luftens kväve och höja halten av kväve i marken. Kväve kan förloras från marken

¹² IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007

antingen i gasform, som kvävgas eller lustgas, eller utlakas från marken i form av nitratjoner. Nitrat kan förorena dricksvatten och orsaka övergödning av havet. Hushållningen med kväve är dessutom viktig ur ett energiperspektiv eftersom framställningen av konstgödselkväve är energikrävande och fossilgas används i framställningsprocessen när kvävgas från luften används som råvara. Problemet med att åstadkomma försörjning med kväve är alltså inte en fråga om huruvida det finns tillgångar av näringsämnet, utan en energi- och miljöfråga.

Fosforförsörjningen är däremot en resursfråga eftersom världens tillgångar av fosfor är begränsande. Jordbruksmarken i tropikerna har låga halter av fosfor och därför det största fosforbehovet. När världens lättillgängliga fosfortar slut kommer en stor del av den fosfor som utvunnits att ha hamnat på havsbotten i låga koncentrationer som inte är realistiska att utvinna. Fosfor bryts i gruvor för att tillföras åkermarken i löslig form som fosforgödsel. Grubvrytningen är förknippad med miljöproblem, som förorening med tungmetaller och arsenik. Fosforgödsel innehåller också kadmium, som tillförs åkermarken (även om halterna nu är lägre tack vare att koncentrationen minskar under tillverkningsprocessen). En förhöjd koncentration av kadmium i åkermarken är allvarig eftersom kadmium inte bindes hårt i marken och lätt tas upp av grödan. Ett annat miljöproblem förknippat med fosforhushållningen är övergödning av vattendrag vilket kan leda till igenväxning och algbloomning.

Fosforbalansen i ett jordbrukssystem är betydligt enklare att studera utifrån bokföringsuppgifter än kvävebalansen. Människan kan kontrollera tillförsel och bortförsel av fosfor på ett helt annat sätt än av kväve. Tillförseln sker framför allt genom gödning och bortförseln domineras av skördeprodukter. Utlakningen av fosfor är liten i jämförelse med utlakningen av kväve.

När valet gjorts av vilka faktorer som skulle beaktas i den jämförande studien har hänsyn alltså tagits till såväl vad som är möjligt att göra utifrån tillgängligt material som till vilka faktorer som är väsentliga för en bedömning av systemens hållbarhet. Det innebär att energihushållning och växtnäringsbalanser för kväve och fosfor har tagits med i studien.

3 Användningen av växtnäring och energi inom jordbruket

Hushållningen med energi och växtnäring är väsentlig för att bedöma jordbrukssystemets hållbarhet. Det är också de faktorerna som den här rapporten koncentrerar sig på i den jämförande studien på gårdsnivå. Det här avsnittet ger en översikt över den kunskap som litteraturen ger om jordbrukssystemets hushållning med energi och växtnäring.

De mänskliga samhällena är beroende av en fungerande energiförsörjning. I början av mänsklighetens utveckling var energiförsörjningen för mat dominerande. Men sedan har anspråken på en högre standard med avseende på boende, transporter och materiell standard i övrigt medfört större omsättning av energi i de mänskliga samhällena. Men även om andelen energi som används till annat än försörjning med livsmedel idag är betydligt större än i mänsklighetens barndom, är fortfarande den andel av mänsklighetens energiförsörjning som går åt till mat ansenlig. I den följande litteraturgenomgången är det energiåtgången för livsmedelsförsörjningen som står i fokus.

Det finns givetvis många olika system för energiförsörjning men genom historien kan man förenklat säga att mänskliga kulturer har byggt på tre huvudtyper av energiförsörjning. Den äldsta typen byggde på insamling och jakt. Människan hade ännu inte modifierat naturen för att öka den tillgängliga energimängden utan använde sig av den solenergi som naturen själv ackumulerade för att kunna tillgodogöra sig för människan omsättbar energi och nödvändiga näringsämnen. De kulturer som byggde på insamling och jakt var möjliga då få människor levde på stora geografiska ytor. Denna typ av matförsörjning var mänskligheten beroende av under en miljon år (Pimentel & Pimentel, 1996).

Nästa utvecklingssteg, som innebar en revolution för hur många människor som kunde leva på en viss yta, bestod i en övergång till en

energiförsörjning som byggde på jordbruk. När jordbruk började tillämpas för 10 000 år sedan började jordens befolkning att öka från en så låg nivå som tio miljoner människor. Men det var först efter år 1700 som befolkningsutvecklingen tog fart på allvar. I Sverige mer än fördubblades befolkningen från 1750 till 1800-talets mitt då befolkningen kom att uppgå till nästan fyra miljoner människor (Köllman, 1965).

Ett jordbrukande samhälle kan tillgodogöra sig solenergin på ett betydligt effektivare sätt än ett jägar- och samlarsamhälle. En större andel av den solenergi som träffar en viss yta kan omvandlas till mat. Utvecklingen från ett jägar- och samlarsamhälle till ett jordbrukssystem med växelbruk skedde i flera steg (Emanuelsson, 1988). Den enklaste formen är svedjebruk där odlad mark överges under många år innan den odlas igen. Nästa, mer utvecklade odlingsystem, är ett permanent system med åkrar där man skiljer på fodermarker och åker. Den mest utvecklade formen är växelbruk där foderproduktion sker även på åker.

Den tredje huvudtypen av energiförsörjning, och som dominerar idag, bygger också huvudsakligen på solenergi. Men nu utnyttjas tidigare lagrad solenergi i form av fossila tillgångar av olja, gas och kol. Detta möjliggör en betydligt större energiomsättning per person än tidigare system. Jordbruket är beroende av fossil energi för tillverkning av konstgödsel och för dragkraft. Även fisket är beroende av diesel för fartyg som bedriver trålning på världshaven. Användningen av fossil hjälpenergi har medfört att många människor kan försörjas per hektar mark.

Det är givetvis intressant att fundera över för- och nackdelar med den utveckling som jordbruket genomgått där energiförsörjningen successivt har övergått till att bygga på annan, av människan tillförd, insatsenergi än manuellt arbete. Från början handlade det framförallt om dragkraft från djur. Sedan blev den fossila energitillförseln helt dominerande samtidigt som höjd avkastning per hektar har inneburit att en större andel av den flödande solenergin kunnat tas tillvara. Hur har jordbruket förändrats från effektivitets- och produktivitetssynpunkt? En högre avkastning per hektar är en fördel, men den kan innebära andra nackdelar från hållbarhetssynpunkt.

Om man jämför de förindustriella jordbrukssystemen med de system som utvecklats i industrialiserade samhällen kan man konstatera att arbetsproduktiviteten har förändrats. Innan jordbruket mekaniserades och började använda större mängder insatsvaror var den mänskliga arbetsinsatsen betydligt större, precis som den fortfarande är inom delar av jordbruket i utvecklingsländerna. De förindustriella jordbrukssystemen hade en arbetsproduktivitet av 11-40 MJ/h (Leach, 1976). I de här systemen bestod den mänskliga energitillförseln nästan helt och hållet av mänsklig arbetskraft.

Om man räknar med att en människa har ett energibehov av ungefär 10 MJ så innebär det att det inte var nödvändigt att arbeta särskilt många timmar för att uppfylla behovet av mat. Det industriella jordbruket, med långtgående mekanisering, tillgång till konstgödsel och kemiska bekämpningsmedel producerar givetvis mycket mer per arbetad timme. Den mänskliga arbetsinsatsen kan betraktas som försumbar i förhållande till den fossila insatsen. Leach (1976) har beräknat en arbetsproduktivitet på 3000–4000 MJ/h i det brittiska jordbruket.

En intressant fråga är givetvis hur denna enorma ökning av arbetsproduktivitet, och även av avkastning per hektar, har använts. En stor förändring, som skett successivt under jordbrukets industrialisering, är att konsumtionen av animaliska produkter har ökat. I det förindustriella jordbruket dominerades jordbruksproduktionen av vegetabiliska produkter. Ytterligare en stor förändring är att leden efter själva primärproduktionen tar i anspråk mer av både arbetskraft och annan energitillförsel. Innan maten äts har den både förädlats, transporterats och tillagats.

Pimentel & Dazhong (1990) har, utifrån en studie i USA, illustrerat behovet av mänskligt arbete inom livsmedelssektorn. I USA har den mänskliga arbetsinsatsen för att odla ett hektar majs minskat från 120 timmar per hektar till en timme mellan 1910 och 1983. Författarna redovisar också att 20% av arbetskraften var sysselsatt inom livsmedelssektorn och i praktiken inom primärproduktionen. De gör också den intressanta iakttagelsen att det fortfarande är ungefär 20% som arbetar inom livsmedelssektorn. Skillnaden var att mycket få på 1980-talet arbetade inom primärproduktionen. Det stora antalet sysselsatta arbetade i leden efter primärproduktionen fram till konsument. Arbetsproduktiviteten skiljer sig alltså betydligt åt om man i jämförelser endast fokuserar på primärproduktionen i jordbruket eller om man gör en beräkning för hela livsmedelssektorn.

Leach (1976) beräknade att, när man tagit hänsyn till att mycket av skörden användes till djurfoder och till hela livsmedelskedjan, hamnade man på en arbetsproduktivitet på ungefär 35 MJ/h. Enligt denna beräkning hamnar man alltså på en liknande nivå som de förindustriella system som hade den högsta arbetsproduktiviteten!

Om man endast beräknar arbetsproduktiviteten i primärproduktionen har alltså arbetsproduktiviteten ökat mycket kraftigt i jämförelse med det förindustriella jordbruket. Men om man istället ser till nettoproduktionen av energi så är inte produktionen av energi, enligt Altieri (1989), så hög i ett fullt industrialiserat jordbruk. Förklaringen är att annan insatsenergi har ökat kraftigt.

Sedan mitten av 1900-talet har synen på det moderna jordbruket med stort beroende av insatsmedel varierat med tiden. I litteraturen är det olika perspektiv på jordbruket som är tongivande under 1950-talet, 1970-talet och under perioden från 1990-talet. Det dominerande synsättet på de förändringar som jordbruket genomgått var övervägande positiv på 1950-talet. En ökad användning av energi sågs som en självklar och naturlig del av samhällsutvecklingen. På 1970-talet, särskilt efter den första oljekrisen 1973, börjar man i artiklar uttrycka oro för både oljeberoendet och jordbrukets energieffektivitet. Under 1990-talet blir det allt vanligare att litteraturen tar upp jordbrukets påverkan på klimatet när dess energihushållning diskuteras. Utifrån hur mycket som publicerats om jordbrukets energihushållning får man intrycket att intresset för jordbrukets energihushållning var relativt stort under 70-talet för att minska under 1980-talet och sedan, i takt med att klimatdebatten växt i styrka, åter blivit ett uppmärksammat område under 1990-talet.

Jordbrukets användning av energi och dess effektivitet var alltså inte särskilt omdiskuterad förrän på 1970-talet. Först då verkar det som om en insikt började växa fram om att energianvändningen kunde vara ett problem:

Man's role in the environment is becoming so enormous that his energetic capacity to hurt himself by upsetting the environmental system is increasing. His system is becoming so large and complex and is changing so rapidly that it is more and more difficult to learn of the patterns in his own fuel supply. (Odum, 1971, sid. 6)

En insikt om att jordbrukets avkastning hade stigit snabbare än de ökande energiinsatserna endast fram till mitten av 1950-talet skapade en oro för världens framtida livsmedelsförsörjning (Steinhart & Steinhart, 1974). Det skulle alltså dröja 100 år efter det att de kolberoende ångloken och ångfartygen blev dominerande för långväga transporter innan man på allvar började diskutera energifrågan.

Pimentel m.fl. publicerade 1973, samma år som den första oljekrisen, en artikel i *Science* om energieffektiviteten inom jordbruket som gjorde energifrågan till en del av jordbruksforskningen. Pimentel m.fl. konstaterade, utifrån studier av amerikansk majsodling, att energieffektiviteten minskat när jordbruket blivit beroende av insatsvaror. Med energieffektivt avses, i det här sammanhanget, hur stor energiinsats som behövs för att producera en given mängd jordbruksprodukter. I samma artikel varnade man för det mekaniserade jordbrukets stora beroende av fossil energi. De alternativa utvecklingsvägar man förespråkade var goda växtföljder och användning av grön gödsling/grödor. Man hade blivit medveten om att energiinsatsen i jordbruket hade ökat enormt de senaste 50

åren (Steinhart & Steinhart, 1974). Efter publiceringen av artikeln i *Science* genomfördes en rad vetenskapliga studier om jordbrukets energihushållning.

En sådan studie visade att energiinsatsen ökade i USA:s jordbruk mellan 1940 och 1970, medan energiinnehållet i den mat som konsumerades inte ökade i samma takt. Ett sätt att beskriva energieffektiviteten i ett system är kvoten mellan energileverans från systemet och energiinsatsen. Mellan 1940 och 1970 sjönk kvoten för USA:s jordbruksproduktion kraftigt, enligt Green (1978).

Under 70-talets ifrågasättande av energieffektiviteten i jordbruket blev det också intressant att göra jämförande studier av odlingsystem med olika energiinsatser per hektar. Ett exempel från USA handlar om amishkulturens jordbrukssystem. Den jordbrukande amishkulturen, som etablerades i landet på 1700-talet, har bevarat mycket av äldre jordbruksteknologi och energiinsatserna av fossilt bränsle är betydligt lägre än inom det övriga jordbruket. Orsaken var att man av religiösa skäl undvikit att använda fossila bränslen. Johnson m.fl. (1977) genomförde en jämförande studie mellan amishjordbruk och konventionellt jordbruk. Fyra olika grupper av amishjordbrukare, med olika lokala förutsättningar och teknikval, jämfördes med konventionella gårdar i samma område och med samma produktionsinriktning. I samtliga grupper hade amishjordbruket högre energieffektivitet räknat per fossil insats. Men i de flesta fall var också skörden per hektar betydligt lägre. I en av amishgrupperna hade man, trots betydligt högre energieffektivitet, i princip samma skördenivå som de konventionella jordbrukarna. Om man ser till gårdarnas totala energianvändning, där även hushållens energianvändning ingår, menar författarna att resultaten entydigt är till amishgårdarnas fördel. Hushållens energianvändning för transporter och hushållsenergi är betydligt lägre vilket visar sig i en bättre energihushållning.

Men det var inte alla inlägg i 70-talets energidebatt som menade att just jordbrukets beroende av fossil energi var särskilt prioriterat att göra något åt. I boken *Eating Oil* redogör Green (1978) för den stora ökning av beroendet av fossila bränslen som jordbruket i den industrialiserade världen hade genomgått på några decennier. Men han pekar också på att jordbrukets primärproduktion stod för endast några procent av ländernas totala fossila energiförbrukning. Samtidigt krävde livsmedelskedjan efter primärproduktionen 4-5 gånger mer fossil energi. Den slutsats han drog är att jordbrukets fossila energiförbrukning var viktig att göra något åt men att det var än mer prioriterat att göra något åt t.ex. transportsektorn och bristande energihushållning i samhället i övrigt.

Intressant att notera är att de siffror för energiförbrukning som Green presenterade för 1970-talets livsmedelssektor i industrialiserade länder är av samma storleksordning som livsmedelssektorns aktuella energiförbrukning i Sverige. Man brukar räkna med att ungefär 20% av Sveriges totala energiförbrukning används inom livsmedelssektorn (Naturvårdsverket, 1996). De uppgifter som finns på livsmedelssektorns andel av samhällets energiförbrukning brukar ligga på mellan 15 och 20% (Pimentel & Pimentel, 1996). Detta kan jämföras med det förhistoriska jordbruket vars energiåtgång, som bestod nästan helt av kroppsarbete, utgjorde 95% av energiförbrukningen. Uppgifterna om livsmedelssektorns andel av samhällets energiförbrukning ligger på samma nivå som den tidigare nämnda nivån för livsmedelssektorns andel av arbetskraftsbehovet som Pimentel & Dazhong (1990) redovisat.

Hållbarhetsperspektivet i 70-talets diskussion om jordbrukets energihushållning utgick nästan alltid från problemet att de fossila tillgångarna var begränsade. Att användningen av fossila bränslen leder till högre koldioxidhalt i atmosfären och förstärkt växthuseffekt uppmärksammades inte mycket. Artiklar publicerade på 1990-talet och senare tar däremot i stort sett alltid upp klimatperspektivet.

Ett exempel på en studie där klimatperspektivet ingår är en jämförande studie från Rodale Institute i Pennsylvania som bl.a. undersökt fossil energiinsats i konventionella och ekologiska odlingssystem under 22 år. I de ekologiska systemen var den fossila insatsen omkring 30% lägre (Pimentel m.fl., 2005). Skördenivåerna för majs var, efter en övergångsperiod, ungefär desamma i alla odlingssystem. Studien illustrerar att användningen av konstgödselkväve utgör en stor del av den fossila insatsen inom jordbruket

En fransk studie har jämfört energieffektiviteten i olika franska odlingssystem för veteproduktion (Risoud, 2000). Med energieffektivitet har avsetts kvoten mellan energiinnehållet i användbara produkter och den mängd icke-förnybar energi som har förbrukats i produktionen. Energibalanser har också beräknats och definierats som differensen mellan ovanstående faktorer. Resultaten visar att energikvoten är högre i ekologisk odling, om man räknar in värdet av halmen, men att den konventionella odlingen, som använder handelsgödselkväve, har en bättre energibalans. Den slutsats som dras i uppsatsen är att det ekologiska jordbrukssystemet är bättre om man vill minska användningen av fossilt bränsle, medan den konventionella är bättre om man vill skapa en sänka för koldioxid.

I en annan fransk studie (Bonny, 1993) undersöktes energieffektiviteten i det franska jordbrukets produktion av vete mellan 1959 och 1990. Enligt Bonny steg energieffektiviteten i samhället under 1800-talet, men

utvecklingen stannade av under perioden 1955-1973 då olja var som billigast. Efter oljekrisen började energieffektiviteten istället att öka. Jordbruket genomgick förändringar i energieffektivitet i princip i samma riktning som samhället i övrigt. Enligt den franska undersökningen minskade energieffektiviteten i jordbruksproduktionen från 1959 till 1977 med 3,8% per år för att därefter istället öka med 1,6% per år. Resultat som går i samma riktning redovisas av Panesar och Fluck (1993). De menar att energieffektiviteten i det amerikanska jordbruket minskade fram till 1979. Därefter vände utvecklingen, antagligen som en följd av höjda energipriser. Priset på konstgödselkväve ökade tre-fyra gånger åren efter 1973 (Bolin & Arrhenius, 1977).

Uhlin (1998) menar däremot att energieffektiviteten ökat hela tiden från 1956 till 1993. En förklaring till att Uhlins bedömning är annorlunda beror på att man kan få olika resultat beroende på om man utgår från energikvoten eller nettoleveransen av energi per hektar. Energitkvoten anger hur mycket energi man får ut per insatt mängd energi. Nettoleveransen av energi per hektar utgör istället differensen mellan insatt mängd energi per hektar och levererad mängd energi per hektar. Vid en bedömning av energihushållningen kan man givetvis också göra en helhetsbedömning där man tar hänsyn till såväl energikvot som nettoleverans av energi per hektar.

Pimentel och Dazhong (1990) har beräknat hur energiåtgången inom jordbruket förändrats mellan år 1700 och 1983. I beräkningarna var mänskligt arbete inkluderat och antogs vara lika med människornas matkonsumtion. Resultatet visar att energiåtgången, per hektar räknat, hade ökat 15 gånger. Energieffektiviteten hade minskat i vegetabilieproduktionen p.g.a. övergången från ett jordbruk som byggde på muskelkraft till ett jordbruk med en hög grad av mekanisering. Däremot hade utnyttjandet av solenergin blivit effektivare, d.v.s. en större del av den solenergi som träffade ett hektar jordbruksmark återfanns i produkterna. Utnyttjandet av solenergin hade ökat från 0,1% till 0,2%. Om man istället betraktar vad som hänt under det förra seklet och bara ser till användningen av fossil energi finns beräkningar som redovisar en ökning på mer än sex gånger mellan 1910-1978 (Cleveland, 1995). Därefter, menar de, började energianvändningen minska inom jordbruket. Denna tidpunkt överensstämmer väl i tid med den tidpunkt då andra forskningsresultat pekar på att energieffektiviteten började öka.

I ett fältförsök undersöktes energieffektiviteten i vall- och majsproduktion i Tyskland (Kelm m.fl., 2004). Varierande mängder handelsgödselkväve och flytgödsel tillfördes. Det visade sig att energieffektiviteten sjönk vid användning av högre givor mineralgödsel. Högst energieffektivitet

uppnåddes med en giva på 50 kg kväve per hektar som tillfördes i form av flytgödsel. Författarna menar att all energianvändning bidrar till koldioxidutsläpp så länge användandet av förnyelsebar energi är av marginell betydelse.

I en dansk modellstudie undersöktes energieffektiviteten för olika odlingssystem. En av slutsatserna blev att ekologiskt jordbruk, som inte använder konstgödsel, har en högre energieffektivitet men en lägre energiproduktion per hektar (Dalgaard m.fl., 2001).

I studier av jordbrukssystemens energihushållning väljer man ibland att ta med den mänskliga arbetsinsatsen medan den i andra fall utelämnas. I delar av utvecklingsländernas jordbruk är fortfarande insatsen av inköpta insatsvaror som diesel och kvävegödsel låg och där påverkas resultaten i hög grad av om man tar med det mänskliga arbetet i beräkningen. Giampietro m.fl. (1994) påpekade att utvecklingsländernas jordbruk använde 3-5 gånger så mycket inköpt energi som energiinnehållet i form av för människan tillgänglig energi. I de industrialiserade länderna däremot handlade det istället om 10 gånger så mycket. Men författarna menar också att det vid en bedömning av ett jordbrukssystemens funktion är väsentligt att också värdera det mänskliga arbete som har krävts för att producera en viss mängd mat. När det gäller krav på mänsklig arbetsinsats var behovet betydligt större i utvecklingsländerna.

Om man väljer att ta med mänskligt arbete i beräkningar av energibalanser är det inte självklart hur det mänskliga arbetet ska beräknas. De metoder som finns för att bedöma energiåtgången inom jordbruket i form av mänsklig arbetskraft ger mycket olika resultat. Stout (1990) har redovisat hur mycket arbete en människa kan leverera. Genom att anta en kontinuerlig effekt av 75 W och 10 timmars arbetsdag, kom han fram till ett totalt arbete på 750 Wh per dag. Om man däremot räknar in all energi som en jordbruksarbetare med familj totalt förbrukar per dag hamnar man på helt andra siffror, särskilt i industrialiserade välfärdsländer. Den energimängd som går åt för att underhålla hela livsstilen med all konsumtion av varor och transporter överstiger vida det fysiska arbete som en människa kan utföra.

I modern livscykelanalys är det vanligt att man utelämnar det mänskliga arbetet vid beräkning av energiåtgång. I världens industrialiserade länder används en stor del av den kommersiella energin till konstgödsel. Stout (1990) menade att det rörde sig om ca 70% medan andelen som gick till fosforgödsel var lägre än 10%. Han hävdade också, i enlighet med den klassiska lagen om avtagande meravkastning, att den första kvävegivan på 15-30 kg gav störst höjning av avkastningen. När det gäller spannmålsodling gav

dessa en skördeökning på 10-15 kg spannmål enligt hans beräkningar. Högre kvävegivor innebär större skördar men minskande energieffektivitet.

Om man ser till hur mycket energi som blir tillgänglig för mänsklig konsumtion från ett växtodlingssystem, är det svårt att hitta system där inte energibalansen blir negativ. Den energi som är tillgänglig för människans metabolism i form av stärkelse och protein kan sägas vara betydligt mer högkvalitativ än den som tillförs systemet. Därför är det viktigt att vara tydlig när man förklarar vilka energiflöden man avser. När Kjærgaard (1995), utan att förklara vilka energiflöden som avses, argumenterar för att dagens jordbruk har en negativ energibalans medan det tidigare alltid har varit fråga om en positiv balans är det därför svårt att tolka vad som är det egentliga budskapet i påståendet.

Idag är jordbrukets energihushållning än mer aktuell sedan klimatfrågan, ungefär 100 år efter det att Arrhenius (1896) publicerade sin artikel om växthuseffekten, blivit en fråga som tas på allvar inte bara bland forskare utan även i samhället i övrigt. Med tilltagande klimatförändring och växande befolkning är det en inte alltför djärv gissning att energianvändningen, både i samhället i stort och inom jordbruket, kommer att diskuteras även under kommande år. De studier som gjorts av energianvändningens effektivitet illustrerar hur svårt det är att göra tillförlitliga bedömningar, inte bara p.g.a. bristande tillgång till relevanta data, utan också för att man kan ha olika perspektiv när man bedömer vad som är en god hushållning med energi. Dessutom är olika studier svåra att jämföra eftersom man kan ha använt olika metoder och antaganden.

Men sammanfattningsvis är det mycket som tyder på att en utveckling som innebar sjunkande effektivitet i form av försämrade energikvoter, som orsakades av jordbrukets mekanisering och kemikalisering, vände någon gång på 1970-talet. Den viktigaste orsaken till den förbättrade resursanvändningen var troligen ett stigande oljepris. Om man vill göra jämförelser mellan olika odlingssystem i energihänseende bör man beräkna både energikvoten och nettoleveransen av energi per hektar för att få en så fullständig information som möjligt.

Inte bara hushållningen med energi har genomgått stora förändringar när jordbrukssystemen utvecklats. Även användningen av växtnäring har i hög grad förändrats. Perioden mellan mitten av 1700-talet och 1880-talet brukar benämnas den agrara revolutionen (Chorley, 1981). Jordbruket blev mer produktivt och kunde försörja allt fler människor. Jordbrukets framsteg bidrog till att Europas befolkning kunde öka med 90% mellan 1750 och 1850 (Köllman, 1965). Den stora förändringen var en övergång från en ensidig odling av spannmål till odling av vall med baljväxter på åkermarken.

Innan system med växelbruk introducerades skilde man på mark för produktion av foder och mark för spannmål. Marken var uppdelad i inägor respektive utägor. På utägorna låg betesmarkerna och där skördade man även gräs för produktion av vinterfoder. Åkermarken, där man odlade för mänsklig konsumtion, tillfördes den gödsel som samlades in när djuren stod uppstallade. Utmarkerna tillfördes ingen växtnäring utifrån. Där var näringstillförseln beroende av mineralisering, vittring och tillförsel av kväve genom kvävefixerande växter och frilevande markorganismer.

Näringstillförseln var inte tillräcklig för att kompensera för uttagen. Detta innebar att marken långsiktigt utarmades på växtnäring. För att kunna försörja åkern med näring var det nödvändigt att expandera utmarkerna. Men det fanns givetvis gränser för hur mycket arealen som tillförde åkern näring kunde expandera. Kjærgaard (1994) beskriver hur en ekologisk kris orsakad av kvävebrist utvecklades.

I en brittisk studie, baserad på räkenskaper från 1300-talets första hälft, undersöktes växtnäringsbalanser av kväve, fosfor och kalium. Syftet var just att undersöka odlingssystemens långsiktiga hållbarhet (Newman & Harvey, 1997). Utifrån räkenskaper på gods beräknades växtnäringsbalanser. Man gjorde också antaganden om vittring och mineralisering. Resultaten pekade på att fosfortillgången sjönk kontinuerligt men att vittringen gav en tillräcklig försörjning med kalium för de avkastningsnivåer man hade. Beräkningen av kvävebalansen var alltför osäker för att man skulle våga dra några slutsatser. Jordbrukssystemen var inte långsiktigt hållbara och radikala förändringar var nödvändiga för att undvika en kontinuerligt sjunkande produktion av livsmedel. I studien kunde man också visa att skördenivåerna långsamt sjönk under en 50-årsperiod. Även Olsson (1988) har i en svensk fallstudie exemplifierat de problem med långsiktig hållbarhet som förindustriella jordbrukssystem led av p.g.a. problem med sina växtnäringsbalanser.

Studier av ett antal historiska odlingssystem har genomförts av Newman (1997) för att bedöma deras hållbarhet med avseende på fosfor. De odlingssystem som studerats är jordbruket kring Nilen i det antika Egypten, medeltidsjordbruket i England, 1800-talets präriejordbruket i USA samt kinesiskt jordbruk i början av 1900-talet. Slutsatsen blev att endast jordbruket vid Nilen, där översvämningar som innehöll fosforhaltigt slam tillförde marken näring, var långsiktigt hållbart. I alla andra odlingssystem sjönk markens innehåll av fosfor kontinuerligt. Newman menar att man kan ifrågasätta om odlingssystem på riktigt lång sikt kan vara hållbara överhuvudtaget eftersom världens fosfortillgångar är begränsade.

Lösningen på jordbrukssystemens hållbarhet, avseende kväve, blev att införliva vallodling, med kvävefixerande växter, i växtföljder på åkermarken. Klöver blev den viktigaste kvävefixerande grödan och den ökande kvävetillgången blev en viktig del i den agrara revolutionen. Redan i mitten av 1500-talet odlades klöver i Nederländerna (Kjærgaard, 1995). Men det skulle dröja innan odlingen blev allmän i Europa. Det var t.ex. inte förrän på 1700-talet som odlingen spred sig i Danmark. På 1800-talet hade klövern blivit en mycket viktig gröda i det europeiska jordbruket. Kjærgaard (1995) menar att potatisodlingens roll för att möjliggöra produktion av livsmedel till en växande befolkning har överskattats. Potatisodling kräver mycket kväve och det var därför klövern som gjorde det möjligt att odla potatis med god avkastning. Även Chorley (1981) beskriver expansionen av klöver och potatis som samtida processer som hängde ihop. I slutet av 1800-talet hade jordbruksproduktionen ökat kraftigt. Enligt Chorley (1981) hade den balanserats när det gäller kväveförsörjningen, med tillförsel och bortförsel som motsvarade varandra.

Pfister (1990) har beskrivit den agrara revolutionen i schweiziska Büren. Mellan 1760 och 1845 fördubblades befolkningen samtidigt som tillgången till mat under samma period ökade med 40% per capita. Förbättrad hushållning med växtnäring, inte minst stallgödseln, samt odling av kvävefixerande klöver var väsentliga för att möjliggöra utvecklingen. Men tyvärr skapade den positiva utvecklingen för jordbruksproduktionen nya problem. På 1880-talet hade systemet för energiförsörjning hamnat i obalans. Den ekonomiska utveckling som möjliggjordes av mer effektiva jordbruksmetoder ökade inte bara efterfrågan på och konsumtionen av mat. Energikonsumtionen ökade också kraftigt. Anspråken på energi för matlagning, uppvärmning, handel och industri ökade dubbelt så snabbt som efterfrågan på mat. Under samma period som jordbruket kraftigt ökade sin produktion låg skogsbruket kvar på samma nivå. Jordbrukets positiva utveckling medförde att samhället råkade in i en energikris. Pfister menar att om inte de fossila bränslena hade introducerats så hade skövlingen av Alpernas skogar gått lika långt som vid Medelhavet.

Hushållningen med växtnäringen är inte bara viktig ur ett hållbarhetsperspektiv som fokuserar på jordbruksmarkens produktivitet. Även växtnäringshushållningens miljöpåverkan utanför själva jordbrukssystemet, de externa miljöeffekterna, måste vägas in vid en bedömning av hållbarheten. Bristande hushållning med såväl kväve som fosfor kan orsaka övergödning och påverkan på andra ekosystem.

Tillfört kväve är oftast det växtnäringssämne som ger de största skördeökningarna i de flesta av världens jordbruksområden. Det kan tyckas

märkligt eftersom varje kvadratmeter jord ovanför sig i atmosfären har ett lager av åtta ton kväve (Jarrell, 1990). Men kväve i gasform kan inte tas upp av växterna och marken måste därför tillföras kväve på något sätt i växttillgänglig form. De stora anspråken på produktion av mat och energi kan orsaka oönskade förändringar i kvävet globala kretslopp (Dalton & Brand-Hardy, 2003). Före 1860 var den dominerande källan för kväve till terrestra ekosystem biologisk kvävefixering. Numera är människans tillförsel av kväve 15 gånger så stor. Författarna pekar på risker för både biodiversitet och hälsa p.g.a. förorening av kväve. De menar att det är en utmaning i arbetet för en hållbar utveckling att både klara produktion och miljökrav. Till miljöproblemen räknar de också de utsläpp av växthusgaser som orsakas av industrins tillverkning av konstgödselkväve. Men även tillförseln av kväve i sig påverkar klimatet genom att koncentrationen av lustgas (dikväveoxid), som är en kraftig växthusgas, ökar (Vitousek m.fl., 1997).

Även andra beräkningar tyder på kraftigt ökad tillförsel av kväve (Galloway m.fl., 1995), och att tillförseln av kväve kommer att öka kraftigt framför allt i Asien. van der Ploeg m.fl. (2001) har redovisat beräkningar av Tysklands kvävebudget från början av 1950-talet fram till slutet av 1990-talet. Från att jordbrukets kväveöverskott var mycket litet har det ökat till ungefär 80 kg per hektar. Atmosfäriskt nedfall av kväve och biologisk kvävefixering har inte räknats in. Andersson (1986) har, utifrån uppgifter i *Jordbruksstatistisk årsbok*, redovisat en liknande utveckling av kväveöverskottet i Sverige. Kväveöverskottet i det svenska jordbruket ökade kraftigt från 1950-talet. Under 1930- och 40-talet däremot innehöll skördeprodukterna något mer kväve än vad som tillfördes.

Produktion av konstgödsel utgör det största tillskottet till Europas kvävebudget och står för 14 av totalt 34,5 miljoner ton per år (van Egmond m.fl., 2002). Men även import av kraftfoder innehåller stora mängder kväve. För att minska tillförseln av kväve orsakad av jordbruksproduktion skulle en möjlig väg vara att lita mer till lokala resurser och att minska konsumtionen av animalieprodukter. I Europa används 60% av spannmålsproduktionen till djurfoder, vilket kan jämföras med genomsnittet i världen som ligger på 30%.

En stor del av det kväve som tillförs jordbrukssystemen återfinns inte i jordbruksprodukterna utan lämnar systemet antingen p.g.a. utlakning eller genom denitrifikation. Ofta tas mindre än 50% av det kväve som tillförs grödorna upp (Wiesler m.fl., 2001). Vid lägre upptag än så är också riskerna för kväveutlakning stora. En modellberäkning applicerad på brittiskt jordbruk kom fram till att endast 20% av det kväve som tillförs intensiva mjölkgårdar återfinns i produkter som lämnar gårdarna (Jarvis, 1993). Studier

av växtnäringsbalanser brukar visa att när produktionen består av mer vegetabilier återfinns en större andel av tillfört kväve i produkterna. Ett exempel är en brittisk gårdsstudie där 45% av tillfört kväve återfanns i produkterna (Allingham m.fl., 2002).

De största förlusterna av växtnäring görs på djurgårdar. Ett problem är att långtgående specialisering har inneburit att dessa ofta är regionalt koncentrerade. Specialiseringen har möjliggjorts av tillgången på konstgödsel och kemiska bekämpningsmedel. Växtodlingsinriktade gårdar förlorar inte lika mycket växtnäring i själva jordbruksproduktionen utan produkterna, som ofta används till djurfoder, orsakar istället växtnäringsförluster i andra regioner. Växtnäringsförlusterna på växtodlingsgårdar orsakas framför allt av för hög tillförsel av växtnäring. För brittiskt jordbruk finns beräkningar som tyder på att mer än 90% av den nuvarande produktionen skulle kunna åstadkommas med en hälften så stor tillförsel av kväve (Sylvester-Bradley, 1993).

Tillförsel av fosforgödsel har en äldre historia än kvävetillförsel. Förklaringen är antagligen att Liebig betonade behovet av fosforgödsel och att det dröjde innan de industriella metoderna för att framställa kvävegödsel blev effektiva. På 1920-talet utgjorde fosforgödseln 50% av tillförseln av konstgödsel, medan kvävegödselns andel endast var 25% (Leigh, 2004). År 1990 hade fosforgödselns andel sjunkit till 25%.

Sammanfattningsvis kan sägas att jordbrukssystemen utvecklats från system med stora problem med växtnäringsstillförseln till att under den agrara revolutionen ha fått en mer tillfredsställande försörjning med växtnäring. Som en följd av en ökande användning av konstgödsel under 1900-talet har också förlusterna av växtnäring ökat och därmed effektiviteten i utnyttjandet av tillförd växtnäring minskat. En av orsakerna till de ökade växtnäringsförlusterna är att när allsidiga växtföljder kunnat ersättas med konstgödsel har en specialisering som innebär en koncentration av animalieproduktionen kunnat genomföras.

Det finns inte så många studier av växtnäringsbalanser på gårdsnivå där olika tidsperioder har jämförts. Det är betydligt vanligare med jämförelser av energibalanser under olika tidsperioder, men det vanliga är att man då arbetat med aggregerade data på nationell eller regional nivå. Den här rapporten utgör därför kompletterande kunskap till de studier som tidigare har gjorts på en mer övergripande nivå.

4 Växtnärings- och energibalanser på gårdsnivå i ett historiskt perspektiv

Jordbrukets nödvändighet för att försörja en växande befolkning och dess stora påverkan på miljö och hushållning med naturresurser medför att jordbrukssystemen ofta är under debatt. Det ligger en stor utmaning i att kunna leverera stora mängder produkter per hektar samtidigt som negativ miljöpåverkan ska minimeras och resurshushållningen ska vara god.

När det gäller de svenska jordbrukssystemen påstås det ibland att det jordbruk som bedrevs strax före traktoriseringen och införandet av ett omfattande konstgödseljordbruk representerade ett mer hållbart jordbruk än det som utvecklades till ett jordbruk beroende av insatsmedel. Under 1800-talet skedde en övergång från ett system med en uppdelning av kulturmarken på åker och äng. Det gamla systemet byggde på att åkern tillfördes växtnäring genom foderskörd på ängsmarkerna. Gödseln användes sedan på åkermarkerna nära gårdarna. På åkrarna bedrevs ensidig odling av spannmål. Men denna typ av odlingsystem utarmade ängarna på växtnäring vilket gjorde att det också blev svårt att håll avkastningen på åkrarna uppe. Halterna av fosfor och andra växtnäringsämnen sjönk successivt, men långsamt, och det innebar att man stegvis tvingades utveckla andra produktionssystem, även om det är möjligt att hastigheten i utarmningen kunde begränsas av en mer effektiv kvävefixering hos frilevande markorganismer.

De nya produktionssystemen innebar att man bröt traditionen av ensidig spannmålsodling på åkern och att man istället införde växelbruk. Uppdelningen mellan mark avsedd för foderproduktion och mark avsedd för produktion av mat till människor försvann delvis. Vallodling med inslag av kvävefixerande klöver infördes i växtföljden. Detta innebar stora fördelar med bättre kvävetillförsel till grödorna och minskade problem med växtföljdsrelaterade sjukdomar och skadedjursangrepp. Man skulle kunna

uttrycka det som att det nya växtföljdsjordbruket infördes för att lösa hållbarhetsproblem med de gamla systemen.

Tack vare införandet av växtföljder med vallinslag ökade skördarna under 1800-talet och fram till 1940 med ca 50%. På 40-talet bedrevs ett relativt högavkastande jordbruk med allsidiga växtföljder. Användningen av konstgödsel och kemiska bekämpningsmedel var mycket låg. Växtnäringstillförsel och problem med skadegörare klarades genom tillämpning av växelbruk istället för användning av insatsmedel. Användandet av fossila bränslen till traktordrift var begränsat. Hästar klarade en stor del av jordbrukets dragkraftsbehov.

Ibland beskrivs jordbruket strax före övergången till ett jordbruk baserat på konstgödselanvändning, kemiska bekämpningsmedel och dieseldrivna traktorer som en höjdpunkt när det gäller hållbarhet. Produktionen var betydligt högre än på de äldre ensidiga växtföljdssystemens tid. Samtidigt var beroendet av insatsmedel, med deras negativa miljöeffekter, lågt. Djurhållningen var spridd över samtliga jordbruksregioner. Det fanns alltså inte regioner specialiserade på djurhållning med en hög koncentration av stallgödsel och medföljande miljörisiker.

Efter andra världskriget ökade användningen av konstgödsel och bekämpningsmedel snabbt. Detta gjorde att det blev möjligt att återigen övergå till mer ensidiga växtföljder och dessutom koncentrera djurhållningen regionalt. Under 1950-talet ersattes hästens dragkraft med dieseldrivna traktorer. Användningen av diesel och konstgödselkväve kom att innebära en hög användning av fossila bränslen som medför klimatpåverkande utsläpp av koldioxid. I början ifrågasattes sällan utvecklingen mot det insatsberoende jordbruket. Det sågs som en självklar modernisering när behovet av arbetskraft minskade inom jordbruket för att istället öka inom den växande industrin. Men oljekrisen 1973 kom att öka medvetenheten om energihushållningens betydelse inom jordbruket.

4.1 Syftet med studien

Studien syftar till att bidra med kunskap om jordbrukssystemens hållbarhet strax före andra världskrigets slut i förhållande till hållbarheten hos 1990-talets jordbrukssystem. Förbättrad kunskap om olika jordbrukssystemers hållbarhet är väsentlig för diskussionen om jordbrukets framtida vägval och inriktningen på jordbrukspolitiken. Målsättningen är inte att jämföra hela livsmedelsförsörjningens hållbarhet under två tidsperioder. I en sådan jämförelse skulle också transporter av livsmedel, hushållens konsumtion av mat och industrins tillverkning av t.ex. jordbruksmaskiner behöva tas med.

Denna undersökning har utförts som en jämförande fallstudie på gårdsnivå med verkliga gårdsdata för att ge kompletterande kunskap till uppgifter som kan fås från aggregerad statistik som är tillgänglig på nationell nivå.

4.2 Beskrivning av gårdarna

I studien ingår två olika gårdar belägna i Mellansverige. Den ena gården, Forkarbyholm, ligger på slätten en mil norr om Uppsala och den andra, Julita gård, är belägen vid sjön Öljaren i Södermanland. Båda gårdarna var på 1930/40-talet mycket stora i förhållande till medelgården. De har inte, som många andra gårdar, antingen lagts ner eller vuxit kraftigt. Valet av gårdar har inte gjorts utifrån att det skulle vara stora produktionsenheter. Istället har det varit avgörande att det funnits så detaljerade uppgifter som möjligt om hur produktionen bedrevs under 1930/40-talet.

Forkarbyholm är en kreaturslös gård som, ovanligt nog, drevs kreaturslöst redan i slutet av 30-talet med undantag för viss husbehovsproduktion. På 1930/40-talet odlades spannmål och vall för fröproduktion. Dessutom producerades foder till gårdens hästar och till mjölkkor som hölls för husbehovsproduktion. På 1990-talet odlades framför allt malkorn, vilket innebär att givorna av kvävegödsel var något lägre än vad som var vanligt på spannmålsgårdar i trakten. Gården ligger på Uppsalaslätten i ett typiskt spannmålsdistrikt med få djurgårdar. Jordarten är typisk för Uppsalaslätten med en måttligt mullhaltig lerjord. Nästan alla skiften ligger inom kaliumklass IV och fosforklass III.

Under den första tidsperioden uppgick åkerarealen till 82 hektar. 1994 utökades arealen med ett antal skiften som ligger en bit bort från övriga skiften. Det var möjligt att avgränsa arealen så att de tillkommande skiftena inte behövde tas med i studien. Men det finns också sex hektar mark som tillkommit och som ligger i direkt anslutning till den mark som brukades redan på 1930/40-talet. Det gick inte att göra en avgränsning så att den marken inte togs med i studien. Men fälten är mycket homogena så det bör egentligen inte ha någon betydelse för slutresultaten. Vid beräkningar av flöden har det givetvis tagits hänsyn till den utökade arealen. 1938, det första året i undersökningen, hade gården nyligen fått en ny ägare och så mycket som 18% av arbetsmängden lades ned på reparationer och ombyggnader. Ägarskiftet och uppmärksamheten på en modernisering av byggnaderna verkar inte ha påverkat avkastningen. Avkastningens variation mellan åren verkar ha varit beroende av odlingsbetingelserna de skilda åren.

Julita gård var under båda tidsperioderna en mjölkproducerande gård med ett stort inslag av vall. Jordbruksmarken bestod i huvudsak av

mineraljordar med relativt gott näringstillstånd beträffande fosfor och kalium. Under den första tidsperioden gick det inte att särskilja data från Julita gård och Berga gård vad gäller växtodlingen eftersom de brukades gemensamt. Därför är beräkningarna för den första tidsperioden gjorda för en areal på mer än 300 hektar. Däremot har det knappast någon betydelse för resultatet att Berga gård finns med i redovisningen från den första tidsperioden. Gårdarna hade samma produktionsinriktning och låg inom samma geografiska område. Det som däremot är viktigt att ha i åtanke är att djurtätheten har ökat mellan de två tidsperioderna, från ungefär 0,4 mjölkkor per hektar till 0,7 mjölkkor per hektar. Under 1990-talet har gården också börjat producera rapsolja för kosmetiska ändamål vilket begränsat spannmålsarealen.

4.3 Material och metoder

I en förberedande del av rapportsarbetet sökte jag, främst genom annonsering i lantbrukspressen, lämpliga gårdar där det fanns ett bra dataunderlag för de båda tidsperioderna. Målsättningen var att hitta gårdar som inte bara hade mer allmänna uppgifter om produktionen i form av t.ex. växtodlingsplaner. Bokföringsmaterial som huvudböcker och verifikationer är intressanta eftersom de ger en god bild av in- och utflöden från gården. Efter genomgång av material från ett antal gårdar identifierades de två gårdarna, som beskrivits ovan, med olika driftsinriktning och ett mycket bra material som gav en noggrann bild av produktionssystemen. Det är inte lätt att hitta gårdar med så bra material från två olika tidsperioder med flera decennier emellan att det är möjligt att genomföra den här typen av jämförande undersökning. Detta är också en möjlig förklaring till att det är svårt att hitta bitemporal undersökningar av den här typen på gårdsnivå.

Huvudböcker och kassaböcker fanns bevarade på båda gårdarna från den första tidsperioden. Men det fanns också en stor mängd annat relevant material. Det handlade t.ex. om mjölkningslistor, utfodringslistor och en mängd olika handskrivna anteckningar. De handskrivna anteckningarna innehöll t.ex. uppgifter om vallskördar från enskilda fält. Även uppgifter från markkarteringar fanns delvis bevarade. För den senare tidsperioden kunde bokföringsmaterialet kompletteras med intervjuer med lantbrukarna som kunde ge en god bild av skördar och inköpta förnödenheter. Verifikationer kunde ofta användas för att se om överensstämmelsen med huvudböckerna var god. Från den första perioden var samtliga verifikationer sparade från Forkarbyholm och överensstämmelsen mot övrigt bokföringsmaterial var god.

Julita gård hade för den första tidsperioden en god tillgång till uppgifter från provmjölkningar och utfodringslistor. Däremot har innehåll i vallfoder av kväve, fosfor och vattenhalt fått uppskattas. Gengasved och gengaskol började användas som insatsmedel under perioden. Uppgifter om gengasvedens egenskaper, som träslag och vattenhalt, har det inte funnits tillgång till. Men 1943, då gengasdrift var ett i högsta grad aktuellt ämne, påbörjades ett arbete för att sammanställa kunskap om gengasdrift. Arbetet försenades flera år och en bok om gengas publicerades inte förrän 1950 (Ingenjörsvetenskapsakademien, 1950). Men resultatet blev ett omfattande verk med detaljerad information om gengastekniken vilket jag har kunnat använda mig av i energiflödesberäkningarna¹³.

Sammanfattningsvis kan sägas att uppgifter om in- och utflödena i form av inköp och försäljning gick att följa detaljerat månad för månad. Betydligt större är osäkerheten beträffande t.ex. vallskördar. Om det finns uppgifter om ett visst antal lass är det svårt att göra en bedömning av hur stor skörden var eftersom lass kan vara olika stora, även om brukaren har gjort en bedömning av vikten på ett lass. Det fanns inte heller analysuppgifter på innehåll av kväve och fosfor i olika produkter. Därför har innehållet fått uppskattas utifrån generella data i lantbrukslitteraturen.

Kunskap saknas också om in- och utflöden som inte har att göra med inköp, försäljning och husbehovskonsumtion. Det gäller t.ex. förluster av ammoniak från stallgödselhantering, lustgasavgång från mark och utlakning av kväve från åkermarken. Undersökningen kan därför inte visa var de förluster av växtnäring som redovisas har uppkommit. Det kan givetvis också vara så att man har förluster av kväve genom utlakning trots att systemet levererar ett överskott av kväve. Vallar med baljväxter kan bidra till en stor kvävetillförsel till marken.

Undersökningen omfattar hushållningen med kväve, fosfor och energi. Valet av faktorer har gjorts utifrån vilka faktorer som är viktiga för att bedöma hållbarheten i ett system och vad som varit möjligt att bedöma utifrån det tillgängliga materialet. Insatt mängd kväve och fosfor i produktionen i form av inköpt gödsel och foder har beräknats för vart och ett av åren. Sedan har kväve- och fosformängderna som lämnat gården i

¹³ Boken *Gengas* är mycket noggrann när det gäller en mängd uppgifter om gengasproduktion – bl.a. arbetskraftsåtgång och energiinnehåll. Men i källmaterialet från Julita gård har det inte funnits uppgifter om gengasvedens sammansättning utan endast de använda mängderna. Den möjliga variationen av energiinnehållet i gengasved är dock inte så stor att det för energiflödesberäkningarna på gårdsnivå har så stor betydelse för de sammanfattande resultaten.

försålda produkter, och i viss mån mat till människor verksamma på gårdarna, beräknats.

4.3.1 Val av nyckeltal

Inom det ekonomiska området har man sedan länge använt sig av olika ekonomiska nyckeltal som t.ex. BNP, soliditet och sysselsättningsgrad. Nyckeltalen syftar till att på ett förenklat och aggregerat sätt ge information om antingen tillstånd eller förändringar. På liknande sätt har man, framför allt sedan 1990-talet, inom miljöområdet och det sociala området börjat använda sig av nyckeltal. Givetvis kan nyckeltal sättas samman av både miljö- och ekonomiska faktorer. Exempel på det kan man hitta i budgetpropositionen 98/99 där man bifogade en bilaga med gröna nyckeltal t.ex. energianvändning per BNP-enhet (Proposition 1998/99:100). Ibland uttrycker gröna nyckeltal den nytta som levereras i förhållande till den miljöpåverkan som orsakas. Miljövårdsberedningen utarbetade under slutet av 1990-talet gröna nyckeltal för att ge underlag för beslutsfattande inom miljöområdet (SOU 1998:170). Miljövårdsberedningen föreslog några kriterier som ledning för val av nyckeltal. De bör bygga på tillgängliga data. Dessutom skulle de vara relevanta för de hållbarhetsaspekter som man ville studera och vara möjliga att följa i tidsserier.

Nyckeltal blir mer praktiskt användbara inom miljöarbetet om de anknyter till uppställda politiska miljömål. Om man följer nyckeltalens utveckling bör de ge indikationer på om utvecklingen går i en riktning mot större måluppfyllelse. I Sverige har riksdagen beslutat om 16 övergripande miljö kvalitetsmål (Miljömålsrådet, 2008). Dessa är mål för just miljö kvalitet d.v.s. tillstånd i miljön och inte mål för t.ex. hur mycket utsläppen ska minska. Miljö kvalitetsmålen har sedan brutits ned på en operationell nivå där t.ex. mål för utsläppsminskningar finns med. Många av målen är relevanta för val av produktionsmetoder inom jordbruket. De som är mest relevanta för jordbruket är "Begränsad klimatpåverkan", "Bara naturlig försurning", "Giffri miljö", "Ingen övergödning", "Levande sjöar och vattendrag", "Grundvatten av god kvalitet", "Hav i balans" samt "Levande kust och skärgård", "Ett rikt odlingslandskap" och "Ett rikt växt- och djurliv".

Den aktuella undersökningen har avgränsats till hushållningen med kväve, fosfor och energi. Det innebär att en del viktiga miljö kvalitetsmål helt eller delvis har utelämnats. Ett rikt odlingslandskap som bl.a. handlar om den biologiska mångfalden inom kulturlandskapet har det inte, med stöd av tillgängligt material, varit möjligt att utforma nyckeltal för. Det skulle kräva ett annat historiskt material med kartor som visar på struktur och kantzoner samt helst inventeringar av biotoper och arter. Däremot har hushållningen

med växtnäring en betydelse för den biologiska mångfalden eftersom näringstillgången är en viktig faktor för konkurrensen mellan olika arter.

Valet att utforma nyckeltal för växtnäringshushållning är egentligen självklart eftersom det är så centralt för uppfyllandet av många av miljökvalitetsmålen. Målet "Begränsad klimatpåverkan" kanske inte för alla leder tanken till hushållning med kväve. Men eftersom tillverkning av konstgödselkväve är energikrävande och fossilgas används för framställningen är hushållning med kväve i högsta grad en energifråga. Dessutom påverkar kvävehushållningen avkastningen och därmed också hur mycket solenergi som kan skördas per hektar i form av biomassa.

Kvävehushållningen påverkar både förluster av kväve till luften, i form av ammoniak, kvävgas och lustgas, och till vatten, i huvudsak som nitrater. Lustgas, N_2O , är en kraftig växthusgas. Den bildas, liksom kvävgas, N_2 , vid denitrifiering i marken. Denitrifikation gynnas av syrebrist. Syrebrist förekommer när marken är vattenmättad, vilket kan vara fallet om dräneringen är undermålig. Markpackning, orsakad av tunga maskiner, kan innebära försämrad markstruktur och därmed syrebrist. Kvävgas har däremot givetvis ingen negativ miljöpåverkan eftersom luft till större delen består av kväve. Men förluster i form av kvävgas innebär dyrbara förluster av kväve för odlingsystemet.

Kväve kan också förloras ur produktionssystemet i form av ammoniak. Detta är ett stort problem framför allt på djurgårdar. Ammoniak bildas både vid själva djurhållningen i stallet, vid lagringen och vid spridningen av gödsel. Nedfallet av kväve har betydelse både för miljömålet "Ett rikt växt- och djurliv" och "Bara naturlig försurning". Den biologiska mångfalden kan påverkas genom att mer kväveälskande växter gynnas av kvävenedfallet. Kvävenedfall, orsakat av förluster från jordbruket, försvårar även möjligheterna att uppnå målet "Ingen övergödning".

Ammoniakförluster från djurhållningen förekommer under hela året och bidrar därför till kvävetillförsel till marken även under de delar av året då det inte finns någon växtlighet som tar upp kväve. Detta innebär att riskerna för utlakning av kväve ökar. De metoder som använts, d.v.s. hantering, lagring och spridning av gödseln, har stor betydelse för förlusterna av kväve. Generellt kan sägas att hantering av fast stallgödsel innebär större förluster av kväve vid lagringen men mindre förluster vid spridningen. För hantering av flytgödsel är förhållandet det motsatta. Det kunde därför, eftersom systemet för hantering av gödsel från mjölkproduktionen har förändrats på Julita gård mellan de två tidsperioderna, ha varit intressant att utforma ett specifikt nyckeltal för ammoniakförluster. Men för att utforma nyckeltal med ett intressant informationsvärde måste det finnas relevanta grunddata. Eftersom

det saknas för båda tidsperioderna har det inte vara ändamålsenligt att utforma sådana nyckeltal. Det enda sättet att göra det på hade varit att utgå från schablonvärden som finns att tillgå för att göra livscykelanalyser.

Förlusterna av kväve genom läckage av nitrat genom markprofilen hade det också varit intressanta att utforma specifika nyckeltal för. Men genom att det inte har genomförts några mätningar av kvävehalt i dräneringsvattnet, har det inte heller här varit meningsfullt att redovisa nyckeltal. Nitratförlusterna har relevans för ett flertal miljömål som "Ingen övergödning", "Grundvatten av god kvalitet" och "Hav i balans samt levande kust och skärgård". Miljökvalitetsmålet "Ingen övergödning" innehåller ett särskilda delmål för både kväveläckaget och ammonikförlusterna från jordbruket. Målet är att kväveläckaget ska minska med 30% och ammoniakutsläppen med 15% fram till 2010, i jämförelse med 1995 års nivå (Miljömålsrådet, 2008).

Slutsatsen är att det är självklart att nyckeltal för kvävehushållningen är viktiga att redovisa eftersom kvävehushållningen i högsta grad är relevant för ett flertal miljömål. Däremot är det inte möjligt att i det här sammanhanget redovisa nyckeltal som kvantifierar förlusterna av kväve i olika former till luft och vatten. Valet av nyckeltal för kvävehushållningen har blivit att dels beräkna kvävebalansen som över- respektive underskott per hektar, dels att redovisa utnyttjandegraden av tillförd kväve. Dessa nyckeltal är också sådana som ofta används för att beskriva kvävehushållningen i produktionssystem inom jordbruket (SLU, 2001).

En effektiv användning av fosfor är viktig inte minst ur ett resurshushållningsperspektiv. Fosfor bryts i gruvor och är en ändlig resurs. Samtidigt som förluster av fosfor innebär bristande resurshushållning bidrar också förlusterna till övergödning av vattendrag, sjöar och hav. Därför har fosforhushållningen direkt betydelse för miljömålet "Ingen övergödning". Miljökvalitetsmålet innehåller också ett särskilt delmål för fosfor som innebär att utsläppen ska ha minskat med 20% till 2010 jämfört med 1995 års nivå (Miljömålsrådet, 2008). Men fosforhushållningen har också relevans för miljömålet "Giftfri miljö". Fosforutvinning innebär att även kadmium och arsenik bryts. Kadmiumanrikning i jordbruksmark är särskilt allvarlig eftersom kadmium lätt tas upp av jordbruksgrödorna, i hög grad koncentreras till sädeslagens kärna och är skadligt för människor. Sammanfattningsvis innebär detta att det är relevant att utforma nyckeltal för fosforhushållning. Det är också vanligt att fosforbalanser används som miljönyckeltal inom jordbruket (SLU, 2001). Genom att redovisa både fosforbalanser per hektar och hur effektivt tillförd fosfor utnyttjas i produktionen ges en god bild av fosforhushållningen på gårdsnivå.

Ett produktionssystemens energihushållning är relevant för ett flertal miljömål eftersom energiutvinning både kan innebära miljöskadliga utsläpp och fysisk påverkan. Det är därför nödvändigt att både minimera negativ påverkan och sträva efter en hög avkastning av bioråvara som inte innebär nettotillskott av koldioxid. För miljökvalitetsmålet ”Begränsad klimatpåverkan” är energihushållningen central. Det är vanligt att man beräknar energikvoten för produktionssystem inom jordbruket (SLU, 2001). Energikvoten är insatt energimängd i förhållande till det energiinnehåll som systemet levererar. Men det är också viktigt att se vilken nettoproduktion av energi man har per hektar eftersom den mark som finns tillgänglig för jordbruksproduktion inte är oändlig.

I den här rapporten har följande nyckeltal beräknats för växtnäringssystemer: insatt kväve/kväve i levererade produkter, insatt fosfor/fosfor i levererade produkter, levererat kväveöverskott/ha (kg/ha), levererat fosforöverskott/ha (kg/ha). Effektivt värmevärde har använts som mått på energi i beräkningar av nettoleverans av energi per hektar. Dessutom har energiinnehåll i produkter/insats av energi beräknats.

De valda nyckeltalen uppfyller de kriterier som Miljövårdsberedningen föreslog. De anknyter också väl till gällande miljökvalitetsmål. Relevanskriteriet innebär att de valda nyckeltalen ska ge information om jordbrukssystemens hållbarhet. N_{IN}/N_{UT} ¹⁴ ger en bild av hur effektivt man utnyttjar det kväve som man tillför systemet. Ett bra utnyttjande av kväve innebär sannolikt att förlusterna av kväve, som ger negativ miljöpåverkan, är mindre. Men eftersom kvävet kretslopp är komplicerat kan tyvärr inte nyckeltalet ge den fullständiga bilden. Kväve tillförs också via biologisk kvävefixering och kvävekoncentrationen i utlakningsvattnet har vi inte kunskap om. Eftersom den här undersökningen avser ett historiskt material har det inte heller varit möjligt att genomföra sådana mätningar. Det har varit nödvändigt att bygga på befintliga data. Det levererade kväveöverskottet per hektar (N_{UT}/N_{IN})/ha ger ett annat mått på kväveutnyttjandets effektivitet som istället är relaterat till arealen och ger en kompletterande bild. Miljö- och resurshushållningen är intressant att studera både med avseende på areal och per produkt.

Nyckeltalen för fosforhushållning har bildats på samma sätt som de för kvävehushållning. P_{IN}/P_{UT} anger ett mått på hur effektiv fosforhushållningen är. Fosforhushållningen kan bedömas på ett säkrare sätt än kvävehushållningen. Fosfor förloras inte i gasform, till skillnad mot kväve som kan denitrifieras, och utlakas inte heller i samma omfattning. Det andra

¹⁴ N_{IN} Tillfört kväve i form av konstgödsel, utsäde och foder;
 N_{UT} Levererad kvävemängd i produkter

nyckeltalet som avser fosforhushållning (P_{UT}/P_{IN})/hektar ger en bra bild av hur fosforkapitalet i marken förändras. På de gårdar som ingår i undersökningen torde förlusterna av fosfor p.g.a. utlakning och erosion vara små och inte ha någon större betydelse för resultatet.

Ett annat sätt att utforma nyckeltal är att undersöka hur hög avkastning, mätt som torrsubstans, som levereras från systemet. I den engelskspråkiga litteraturen brukar man använda termen "nutrient use efficiency"¹⁵. Jag har istället valt att se till hur mycket växtnäring man får ut av varje mängd insatt växtnäring. Det finns tre anledningar till att jag gjort det valet. Det blir enklare att koncentrera sig på endast växtnäring då man vill ha med både effektivitet ur såväl produktperspektiv som arealperspektiv. När man studerar produktperspektivet får man dessutom fram en enkel kvot och slipper ange enhet. För det tredje får man fram lika mycket information som när man tar med torrsubstanshalten i nyckeltalen vid en given halt växtnäring i produkterna trots att man vinner de andra fördelarna.

Systemets energieffektivitet kan givetvis inte utelämnas när man bedömer ett jordbrukssystemets hållbarhet. Detta har utvecklats mer i kapitlet som behandlar hållbarhetsbegreppet. Det är väsentligt att ta med både produktperspektivet och arealperspektivet när man studerar energihushållningen. Det skulle kanske vara frestande, om man vill begränsa antalet nyckeltal, att endast beräkna hur mycket energi som åtgår för produktion av en viss mängd. Men då förlorar man arealperspektivet vilket skulle vara olyckligt eftersom man inte kan anta att det finns en obegränsad yta till förfogande för jordbruksproduktion.

Den energimängd som levereras från ett jordbrukssystem kan mätas på olika sätt. En möjlighet är att beräkna det energiinnehåll i produkterna som är tillgängligt för människans metabolism, d.v.s. den energi som människan kan tillgodogöra sig från socker, stärkelse, fett och protein. Ibland påstås det att dagens jordbrukssystem kräver mer energi än vad som återfinns i produkterna. När man kommer till sådana resultat från vegetabilieproduktion har man ibland jämfört energinsatser i effektivt värmevärde med innehållet av energi som människan kan tillgodogöra sig i produkterna. Det kan innebära att systemen ser mer ineffektiva ut än de egentligen är. Man kan inte bortse från att energi som människan kan tillgodogöra sig är mer värdefull än energi i en form som inte är tillgänglig för människan. Resonemanget ovan innebär inte att det skulle vara felaktigt att utforma nyckeltal som innehåller olika typer av energi. Däremot är det viktigt att vara tydlig i beskrivningen av nyckeltalen.

¹⁵ Nutrient use efficiency brukar förkortas NUE

Anledningen till valet att redovisa såväl insatser av energi, E_{IN}^{16} , som energi levererad från systemet, E_{UT}^{17} , är att det inte bara är energi för mänsklig konsumtion som är intressant ur ett hållbarhetsperspektiv. Även produkter för energiändamål och industriell användning är intressanta. Energiinnehållet har mätts i effektivt värmevärde. När det gäller energiinsatserna har de begränsats till direkt tillförd hjälpenergi, energiinnehåll i inköpt utsäde och foder samt energiåtgång för energibaserade insatsvaror, i det här fallet konstgödsel. Det innebär att indirekt tillförd hjälpenergi som åtgått vid tillverkning av lantbruksmaskiner inte finns med. Anledningen till begränsningen är brist på tillförlitliga data från särskilt den första tidsperioden i undersökningen. Dessutom är energiåtgången till drivmedel och framställning av konstgödsel dominerande, så länge det inte är frågan om bevattningsjordbruk, vilket gör att man ändå får en bra bild av hur systemen fungerar med avseende på energieffektivitet. Även om olika undersökningar av energiflöden inom jordbrukets primärproduktion kan vara svåra att jämföra med varandra så är det vanligt att direkta hjälpenergiinsatser samt insatser av energibaserade insatsmedel ligger på ungefär tre fjärdedelar av energiinsatsen. I energiflödesberäkningar där man har som ambition att ta med all indirekt energiåtgång brukar man vara hänvisad till schablonsiffror.

4.3.2 Val av systemgränser

Valet av systemgränser är alltid svårt och dessutom kanske det viktigaste valet som påverkar vilket resultat man får. Smil m.fl. har beskrivit svårigheten i att välja systemgränser:

The factor that has engendered the most heated debate in assessments of energy consumption is the choice of boundaries for the system under study. There is no basis for claiming that a particular choice is right or wrong as long as double-counting is avoided; we must simply argue that the chosen boundary is the most relevant one for the issue being studied. (Smil m.fl., 1983, sid. 5)

Syftet i den här studien har varit att koncentrera sig på själva produktionssystemet på gårdarna. Därför har produktionens storlek definierats som summan av försålda produkter och mat som förbrukats på gårdarna. Produkter från gården som använts som djurfoder räknas därför inte in i produktionen. Först i nästa steg, när mjölk och kött levererats, har innehållet av växtnäring och energi beräknats.

¹⁶ E_{IN} Energi tillförd till systemet

¹⁷ E_{UT} Energi levererad från systemet

När det gäller energi har delvis en annan systemgräns valts. Systemgränsen för energi som lämnar produktionssystemen har satts på samma sätt som för växtnäring. Men för insatt energi har inte bara direkta insatser av hjälpenergi, t.ex. drivmedel till traktorer, tagits med. Även indirekt hjälpenergi i form av konstgödsel har beaktats i beräkningarna. Detta beror på att processen att framställa konstgödselkväve är så energikrävande att konstgödsel kan betraktas som en energibaserad produkt. I beräkningarna av energiåtgång har samma energiåtgång per kg kväve använts för båda tidsperioderna trots att industrin har effektiviserats sin produktion av konstgödsel. Anledningen till att samma energiåtgång antagits är att syftet med studien är att jämföra produktionssystemen på gårdsnivå och inte att beräkna effektiviseringen inom den kemiska industrin.

Insatsen av mänskligt arbete, som var betydligt större på 1930/40-talet, kan värderas på olika sätt. Det är långt ifrån självklart hur man bör ta hänsyn till energiinsatsen i mänskligt arbete i den här typen av undersökning. När man undersöker ett jordbrukssystemets hållbarhet där själva syftet är att försörja människor med mat intar människan en särställning. Hon är inte utbytbar som hästar och traktorer. Även om de människor som överhuvudtaget inte arbetar kommer att behöva energi, fast energiåtgången givetvis blir lägre om inget kroppsarbete utförs! Men det är inte heller säkert att en människa som inte arbetar äter mindre d.v.s. gör av med mindre resurser.

Det är alltså svårt att avgöra om och på vilket sätt mänskligt arbete ska tas med i den här typen av undersökningar. IFIAS (International Federation of Institutes for Advanced Study) gjorde 1974 bedömningen att man inte behövde ta med mänskligt arbete i studier av energibalanser i jordbruket. Man menade att den mänskliga energiinsatsen i form av mänskligt arbete ändå var så liten. Men det stämmer endast när det gäller det mekaniserade jordbruket. Inom många jordbrukssystem är insatsen av mänskligt arbete betydande.

Om man ska värdera mänskligt arbete kan det göras på en rad olika sätt. Fluck (1992) har beskrivit sju sätt att värdera arbete i energianalysen:

- Muskelenergi – den extra energi, i form av mat, som går åt därför att arbete utförs.
- All energi i den mat som konsumeras.
- Den energimängd som gått åt för att producera maten ("energy sequestered in food").
- Energi i maten som konsumeras av hela arbetarens familj.
- Marginell substitutionskvot ("marginal substitution ratio").
- Energiåtgång för hela arbetarens livsstil.

➤ Nettoenergianalys.

Syftet med uppräknigen är inte att redogöra för alla sätten att betrakta mänskligt arbete utanför att belysa att det finns många olika sätt att resonera. De olika sätten att göra beräkningarna kan ge väldigt olika resultat. Det kan handla om så mycket som tre tiopotensers skillnad mellan den beräkningsmetod som indikerar lägst energiåtgång (muskelenergi) till den som ger högst energiåtgång (energiåtgång för hela livsstilen). Smil m.fl. (1983) argumenterar för att man inte bör ta med mänskligt arbete i energianalys av jordbruket.

Eftersom olika sätt att resonera ger så väldigt olika resultat är det nödvändigt att noggrant fundera på vad som är mest ändamålsenligt utifrån undersökningens syfte. I den undersökning som redovisas i den här rapporten, fokuseras på energianvändning som kan innebära miljöproblem. I det perspektivet är inte mänskligt arbete en särskilt väsentlig faktor. Det är långt ifrån säkert att de människor som var aktiva inom de beskrivna jordbrukssystemen skulle förbruka mer energi om de inte hade varit det.

Den mängd mänskligt arbete som åtgår i ett produktionssystem är inte intressant ur ett hållbarhetsperspektiv så länge det inte är tillgången på mänskligt arbete som utgör en begränsande resurs för produktionen av mat som går åt. Däremot är behovet av arbetskraft intressant ur ett livskvalitetsperspektiv när olika produktionssystem jämförs.

4.4 Resultat

4.4.1 Kvävebalans Forkarbyholm

När man på Forkarbyholm jämför de två tidsperioderna ser man att kvävegödslingen har femfaldigats mellan de två tidsperioderna (Tabell 1 och 2). Under den första tidsperioden levererade jordbrukssystemet dubbelt så mycket kväve jämfört med insatsen. Kvävetillförseln låg på mellan 9 och 24 kg per hektar. Bortförd mängd kväve i skördeprodukter var betydligt högre, mellan 27 och 45 kg per hektar. I genomsnitt var nettoutbytet av kväve ca 21 kg per hektar.

På 1990-talet låg kvävetillförseln på drygt 100 kg per hektar. Skördeprodukterna innehöll i genomsnitt 89 kg per hektar. Det innebär att det levererade nettoutbytet av kväve under den första tidsperioden nu bytts till ett underskott. Det genomsnittliga nettoutbytet låg på 90-talet på i genomsnitt -14 kg. Kvoten mellan levererad kvävemängd och insatt mängd låg på i genomsnitt 0,86 (Tabell 2).

Tabell 1. Kvävebalans för Forkarbyholm 1938-1942, på gårdsnivå och per hektar, samt kväveutbyte.

Kväve	Ut Tot (kg)	In Tot (kg)	Netto Ut (kg)	Ut/ha (kg/ha)	In/ha (kg/ha)	Netto Ut per ha (kg/ha)	N Ut / N In (kg)
1938	3340	1448	1892	40,7	17,7	23,1	2,31
1939	3676	1521	2154	44,8	18,6	26,3	2,42
1940	2247	765	1482	27,4	9,3	18,1	2,94
1941	2262	1751	511	45,0	23,7	6,2	2,11
1942	3690	1990	1700	37	12,7	20,7	1,52
Genomsnitt	3043	1495	1548	39	18	20,8	2,0 ¹⁸

Tabell 2. Kvävebalans för Forkarbyholms gård 1993-1997, på gårdsnivå och per hektar, samt kväveutbyte.

Kväve	Ut Tot (kg)	In Tot (kg)	Netto Ut (kg)	Ut/ha (kg/ha)	In/ha (kg/ha)	Netto Ut per ha (kg/ha)	N Ut / N In (kg)
1993	8307	9038	-738	93,9	102,1	-8,3	0,92
1994	7054	9838	-284	79,7	111,2	-31,5	0,72
1995	7763	8054	-292	87,7	91,0	-3,3	0,96
1996	7711	9836	-2125	87,1	111,2	-24,0	0,78
1997	8569	9038	-469	96,8	102,1	-5,3	0,95
Genomsnitt	7881	9161	-1280	89	104	-14	0,86 ¹⁹

4.4.2 Kvävebalans Julita

Julita gård uppvisade även den ett positivt nettoutbyte av kväve för den första perioden (1939-1943). Detta är intressant att notera eftersom Julita är en mjölkgård. Djurgårdar har högre förluster av kväve, eftersom förluster vid hanteringen av stallgödseln är svåra att undvika. Trots detta levererade gården hela 22 kg kväve per hektar och låg därmed i nivå med växtodlingsgården Forkarbyholm. Men Julita levererade också relativt stora mängder spannmål och var alltså inte helt specialiserad på mjölkproduktion. Antalet mjölkkor per hektar låg på ca 0,4, vilket inte är en särskilt hög djurtäthet. Tillförseln av kväve från externa källor var låg. Endast mellan 3 och drygt 9 kg kväve köptes in i form av konstgödsel, utsäde och foder. I genomsnitt var den externa tillförseln av kväve ca 5,5 kg per hektar.

Foderinköpen var den viktigaste externa kvävekällan de två första åren då tillförseln av kväve till gården inte ens uppgick till fyra kg per hektar. Inte

¹⁸ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

¹⁹ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

ens ett kg av det tillförda kvävet kom från konstgödsel. Men efter de två första åren ökade användningen av konstgödsel. En slutsats som kan dras är att kvävetillförseln till marken från kvävefixerande grödor var betydlig. Detta är också rimligt eftersom det handlar om en typisk mjölkgård med vallodling både för foderproduktion och för bete. En låg tillförsel av kväve kan kompenseras av vallar med ett högt klöverinslag. Sett över alla fem åren utgjorde konstgödselkvävet ungefär hälften av kvävetillförseln. Det inköpta fodrets andel av kvävetillförseln uppgick till en dryg tredjedel.

Utbytet av kväveinsatsen låg på 5 (Tabell 3), d.v.s. den mängd kväve som levererades i för människan nyttiga produkter var nästan fem gånger så hög som det tillförda kvävet. Men variationen mellan åren var stor från endast ett utbyte av kväveinsatsen på ca två till ett utbyte på nästan 15. Skördevariationen slår igenom tydligt i resultaten. 1941 var ett dåligt skördeår, särskilt för höstvetete och ”hö på odlad mark” (SCB, 1942). Skördarna för dessa grödor var mindre än hälften av normalt. 1943 var också ett dåligt skördeår, men nettoleveransen av kväve var lägre än 1941 p.g.a. en högre kväveinsats. Det beror på att tillförseln av kväve till gården var högre det året, vilken minskar både nettoskörden av kväve per hektar och utbytet.

Tabell 3. Kvävebalans för Julita gård 1939-1943, på gårdsnivå och per hektar, samt kväveutbyte.

Kväve	Ut Tot (kg)	In Tot (kg)	Netto Ut (kg)	Ut/ha (kg/ha)	In/ha (kg/ha)	Netto Ut per ha (kg/ha)	N Ut (kg)/N In (kg)
1939	11286	1170	10116	36,2	3,7	32,4	9,6
1940	14056	949	13108	45,1	3,0	42,0	14,8
1941	3786	1691	2095	12,1	5,4	6,7	2,2
1942	9790	2975	6815	31,4	9,5	21,8	3,3
1943	3738	1783	1955	12,0	5,7	6,3	2,1
Genomsnitt	8531	1714	6818	27,3	5,5	21,8	5,0 ²⁰

I beräkningarna av kvävebalans från 1990-talet har den positiva kvävebalansen från den första perioden förändrats till ett underskott (Tabell 4). Kväveförlusterna per hektar räknat var ca 100 kg. Av det tillförda kvävet återfanns ungefär 22% i produkterna som lämnar gården. Men djurtätheten har ökat mellan de två tidsperioderna från ca 0,4 mjölkkor per hektar till 0,7. Om djurtätheten hade varit densamma hade skillnaden mellan tidsperioderna sannolikt inte varit så stor. Under de fyra första åren fördes en jordbrukspolitik som innebar en extensivering av odlingen och att spannmålsodling blev mindre lönsam. Det är troligt att om det gjorts en

²⁰ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

jämförelse med åren före 1990 så skulle leveranserna av kväve per hektar ha varit större. Sverige gick med i EU 1995 vilket innebar att spannmålsodling blev mer lönsam vilket man kan se i form av högre kväveleveranser 1996. Men det året låg också gödslingen på en högre nivå, vilket kan vara en förklaring till att nettoskörden av kväve inte är så mycket större än ett genomsnittligt år.

Tabell 4. *Kvävebalans för Julita gård 1993-1997, på gårdsnivå och per hektar, samt kväveutbyte.*

Kväve	Ut Tot (kg)	In Tot (kg)	Netto Ut (kg)	Ut/ha (kg/ha)	In/ha (kg/ha)	Netto Ut per ha (kg/ha)	N Ut (kg)/N In (kg)
1992	5837	28821	-22984	35	175	-139	0,20
1993	4469	38798	-34329	27	202	-175	0,12
1994	3591	15219	-11628	22	92	-70	0,24
1995	3842	5754	-1912	23	35	-12	0,67
1996	8018	26791	-18773	48	162	-114	0,30
Genomsnitt	5151	23077	-17925	31	133	-102	0,22 ²¹

Om man diskuterar kväveförluster per hektar så för det lätt tankarna till kväveförluster från den odlade marken. Men i de här beräkningarna redovisas kvävebalanserna för hela produktionssystemet och det innebär att även förlusterna i själva animalieproduktionen redovisas per hektar. Troligen sker den största delen av kväveförlusterna i ladugården och vid hanteringen av stallgödseln. Gården har inte jordar som är särskilt känsliga för kväveläckage och den har dessutom en stor andel vallodling, vilket innebär att mycket av marken täcks av gröda även vintertid.

När man studerar tabellen kan det tyckas märkligt att tillförseln av kväve varierat så mycket mellan åren. Förklaringen är inte att odlingens inriktning har varierat mycket. Beräkningarna av tillförd kväve har gjorts utifrån företagets verifikationer. Konstgödsel kan lagras mellan åren och det är möjligt att större inköp har gjorts när det har funnits möjlighet att göra inköpen till ett rimligt pris. Anteckningar om årlig gödsling har det inte funnits tillgång till.

4.4.2.1 Exempel på beräkningarnas praktiska genomförande

För att närmare förklara hur beräkningarna av de olika nyckeltalen gått till kommer jag att använda beräkningarna av nyckeltalen som beskriver kvävehushållningen på Julita gård under perioden 1939-45 som ett exempel. Gården hade både växtproduktion och animalieproduktion. Det skulle vara

²¹ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

möjligt att utifrån källmaterialet beräkna separata nyckeltal för animalieprodukter och vegetabilieprodukter. Men jag har valt att se gården som ett produktionssystem och har därför gjort beräkningar för hela gården. Gården hade en allsidig växtföljd och odlade många grödor: höstvetete, vårvete, råg, korn, havre, blandsäd, ärter, grönfoder (vicker och blandsäd), kålrötter, vall med klöver. Dessutom producerades halm som användes i den egna produktionen. Drygt 40% av den egna växtproduktionen användes inom mjölkproduktionen.

Kvävet i animalieproduktionen stod för ca 25% av det kväve som lämnade gården i dess produkter. 11 286 kg kväve lämnade gården i produkter och av dessa utgjorde mjölk och mindre mängder kött 2 718 kg.

I beräkningarna av de nyckeltal som berör kvävehushållningen har de kväveflöden som lämnat gården tagits med. Kväveinnehållet i växtprodukter som använts på gården som foder, utsäde eller strö har inte tagits med i beräkningarna. Hela produktionen av betesvall och halm har använts inom gården medan en del av det producerade höet samt kålrötter har sålts och därmed lämnat gården.

Kväve har tillförts gården i form av utsäde, foder och kvävegödsel. Det inköpta utsädet utgjordes framför allt av råg men även mindre mängder utsäde av andra sädeslag samt vallfrö tillfördes gården. Den inköpta kvävegödseln utgjordes av kalkkväve. Det egenproducerade fodret kompletterades med en inköpt kraftfoderblandning och linfrö. Gården var till stor del självförsörjande på foder och endast drygt 10% av det använda fodret köptes in. Trots detta är det foderinköp som dominerar inflödet av kväve till gården. Av ett inflöde av kväve på 1 170 kg stod foderinköpen för 970 kg.

För att få fram in- och utflöden till gården har huvudböcker, utfodringslistor och resultat från provmjölkningar använts. I huvudböckerna finns gårdens flöden dokumenterade i ett system med konton där man kan följa hur olika produkter används inom gården samt vilka kvantiteter som lämnar gården. Utfodringslistorna, som hade ambitionen att redovisa verkligt använda mängder och inte planerade foderstater, ger information om vilka foderslag och mängder som har använts till olika djurslag. Materialet skulle ge möjlighet att beräkna närings- och energibalanser för hästdragkraft om man var intresserad av just den aspekten. Men som tidigare nämnts har jag valt att se gården som ett sammanhållet system och att inte undersöka hushållningen inom olika delar av gården.

En statistisk modell har byggts upp med hjälp av Excel med de kvantifierade årliga flödena av olika produkter. Sedan har framräknade mängder kväve för olika flöden räknats fram utifrån ett bedömt

kväveinnehåll. Den största osäkerheten består i att det inte har funnits tillgång till kväveanalyser av t.ex. vete och andra produkter. Därför har kväveinnehållet fått uppskattas utifrån kväveanalyser som finns dokumenterade i litteraturen. Det största kväveflödet som redovisas i studien av Julita det aktuella året är det kväve som fanns i det sålda höstvetet. Därför väljer jag att exemplifiera med just höstvete för att förklara hur jag har resonerat när jag har gjort bedömningen av kväveinnehållet²². Koivistoinen (1980) gjorde på 1970-talet mätningar av innehållet av olika grundämnen i många finländska livsmedel. I mätningarna kan man följa hur innehållet varierat mellan olika år.

Innehållet av kväve i höstvetet på Julita varierade mellan 1,7 och 2,3% de olika åren. Medelvärde för de olika åren var 2,0% och medianvärdet 2,1%. Jag har valt att räkna med ett kväveinnehåll på 2,1%. Det är också det värde som en jordbrukslära från 1930-talets början (Rydberg, 1933) anger när man redovisar kväveinnehållet. I en bilaga till rapporten finns en förteckning över de källor som använts för att bedöma innehåll av växtnäring och energi i produkter och förnödenheter. Koivistoinens mätningar visar att kväveinnehållet mellan de undersökta åren varierade med ungefär 10%. Om man studerar ett större antal jordbruksprodukter verkar det också som om, grovt sett, innehållet av olika ämnen, inte endast kväve, varierar med ungefär 10%. Detta är något som man bör ha i åtanke när man studerar flödesberäkningar av jordbrukssystem som inte bygger på verkliga analysdata. En beräkning av det maximala felet för kväveflödena gav ett fel för output av kväve på 4,4 kg per hektar och för input av kväve på 0,9 kg per hektar. I beräkningen antogs variablerna vara oberoende av varandra. Om vissa variabler inte skulle vara oberoende skulle det maximala felet bli något större.

När det gäller mängddata, d.v.s. antal kg av olika produkter och förnödenheter, har jag gjort bedömningen att materialet är i det stora hela tillförlitligt. Vid försäljning måste givetvis produktmängd vägas eller mätas. I vissa fall går det också att kontrollera olika uppgifter mot varandra. Exempelvis kan försäljningssiffror för mjölk jämföras med provmjölkningens resultat. Vissa uppgifter som gäller produkter som inte kan vägas bör vara osäkrare, t.ex. produktion av betesvall. Men i det här fallet

²² Innehållet i produkterna varierar mellan åren. Givetvis skulle det genomsnittliga innehållet av olika ämnen ha kunnat bli annorlunda om andra år valts. Men en fördel med mätningarna är just att de gjorts för ett antal år så att man får en uppfattning om variationens storlek. Innehållet i mätningarna överensstämmer relativt väl med uppgifter i annan litteratur och även med äldre lantbrukslitteratur från 30-talet.

har hela produktionen av bete använts inom gården och därför påverkas inte värdena för in- och utflöden av betesproduktionens storlek.

4.4.3 Fosforhushållning Forkarbyholm

På Forkarbyholm var gödslingen av fosfor högre än vad som levererades i produkterna under 1930/40-talet. I genomsnitt var insatsen av fosfor nästan 7 kg högre än utbytet (Tabell 5). Det innebar att markens fosforförråd byggdes upp under perioden. Kvoten mellan levererad mängd fosfor i produkter och insatt mängd låg på i genomsnitt 0,54. Fosforgödslingen låg i stort sett på samma nivå under 1990-talet (Tabell 6). Men under 90-talet var avkastningen betydligt högre, vilket innebär att mer fosfor, 3 kg per hektar, istället levererades än vad som tillfördes via gödsling. Kvoten mellan levererad mängd fosfor och insatt mängd var i genomsnitt 1,2. Förändringen i fosforhushållning mellan perioderna är alltså stor. Från att endast 50% av tillförd fosformängd återfanns i levererade produkter till att 20% mer fosfor levererades än vad som sattes in. Fosforhalten i marken måste ha ökat mellan de båda studerade perioderna. En ökad upplagring av fosfor i jordbruksmarken var vanlig i Sverige på 50- och 60-talet.

Tabell 5. Fosforbalans på Forkarbyholms gård 1938-1943, på gårdsnivå och per hektar, samt fosforutbyte.

Fosfor	Ut Tot (kg)	In Tot (kg)	Netto Ut (kg)	Ut per ha (kg/ha)	In per ha (kg/ha)	Netto Ut/ha (kg/ha)	Ut (kg)/In(kg)
1938	588	1213	-626	7,2	14,8	-7,6	0,48
1939	691	1137	-446	8,4	13,9	-5,4	0,61
1940	669	641	28	8,2	7,8	0,3	1,04
1941	526	1890	-1364	6,4	23,1	-16,6	0,28
1942	678	991	-313	8,3	12,1	-3,8	0,68
Genomsnitt	630	1175	-544	7,7	14,3	-6,6	0,54 ²³

När det gäller innehållet av fosfor i de produkter som Forkarbyholm och Julita levererade under 1930/40-talet så ligger man på ungefär samma nivå trots att Forkarbyholm levererade en betydligt större kvävemängd per hektar än Julita. Den rimliga förklaringen är att kväveförlusterna relativt sett är större på en djurgård, framför allt i stallgödselhanteringen, än på en växtodlingsgård. Fosfor finns däremot kvar i stallgödseln och förlusterna, även på djurgårdar, är små. Däremot är det möjligt att en djurgård kan

²³ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

omfördela fosfor inom gården så att åkrar som ligger nära och är lätta att köra till får en större andel av den fosfor som återförs i stallgödseln.

Tabell 6. Fosforbalans på Forkarbyholms gård 1993-1997, på gårdsnivå och per hektar, samt fosforutbyte.

Fosfor	Ut Tot (kg)	In Tot (kg)	Netto Ut (kg)	Ut per ha (kg/ha)	In per ha (kg/ha)	Netto Ut per ha (kg/ha)	Ut (kg)/In (kg)
1993	1593	1399	193	18,0	15,8	2,2	1,1
1994	1434	1055	379	16,2	11,9	4,3	1,4
1995	1480	1409	71	16,7	15,9	0,8	1,1
1996	1439	1107	332	16,3	12,5	3,8	1,3
1997	1639	1399	240	18,5	15,8	2,7	1,2
Genomsnitt	1517	1274	243	17	14	3	1,2 ²⁴

4.4.4 Fosforhushållning Julita

Under den första perioden, 1939-1943, innehöll de produkter som Julita levererade ett fosforinnehåll på drygt 6 kg fosfor per hektar (Tabell 7). Men tillförseln av fosfor var 1,6 kg lägre per hektar. Till skillnad mot Forkarbyholm minskade markens fosforförråd på Julita under samma tidsperiod. Det dåliga skördeåret 1941 skiljer sig från de andra genom att markens fosforförråd ökade. Nästan hela gårdens tillförsel av fosfor sker i form av konstgödsel. Inköpen av foder och utsäde är låga. Fosforutnyttjandet låg på 1,4 för hela perioden, vilket visar att markens fosforinnehåll minskade. Variationen mellan åren är tydlig.

Under 1990-talet hade gårdens leverans av fosfor i produkter ökat till drygt 6,5 kg per hektar (Tabell 8). En stor del av den fosfor fanns i den producerade mjölken. Tillförseln av fosfor låg på drygt 9 kg per hektar. Tillförseln gjordes främst i form av inköpt kraftfoder och fosforgödsel. Fosforgödselns andel var högre än kraftfodrets. En mindre del tillförs också i form av inköpt utsäde. Att fosfortillförseln var högre än bortförseln kan tyda på att tidigare uttag varit höga i förhållande till tillförseln. Det är också möjligt att stallgödsel inte spridits homogent över gårdens areal så att behovet av fosfor därför är större på vissa arealer. En annan förklaring är att man, vid beräkning av behovet av inköp av fosforgödsel, inte räknat med fosforinnehållet i inköpt foder. Inköpen av foder innebar en fosfortillförsel till gården på ca 4 kg per hektar. Det är ingen ovanlighet att djurgårdar har en högre tillförsel än bortförsel av fosfor. Steineck m.fl. (2000) har

²⁴ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

presenterat siffror med fosforbalanser som tyder på en nettoliverans på -5 kg per hektar på mjölkkgårdar.

Tabell 7. Fosforbalans på Julita gård (inkl. Berga), på gårdsnivå och per hektar, samt fosforutbyte.

Fosfor	Ut Tot (kg)	In Tot (kg)	Netto Ut (kg)	Ut per ha (kg/ha)	In per ha (kg/ha)	Netto Ut per ha (kg/ha)	Ut (kg)/In (kg)
1939	2197	1369	828	7,0	4,4	2,6	1,6
1940	2374	1682	693	7,6	5,4	2,2	1,4
1941	1096	1349	-253	3,5	4,3	-0,8	0,81
1942	2576	1240	1336	8,3	4,0	4,3	2,1
1943	1296	1392	-96	4,2	4,3	- 0,1	0,93
Genomsnitt	1908	1406	502	6,1	4,5	1,6	1,4 ²⁵

Tabell 8. Fosforbalans på Julita gård 1993-1997, på gårdsnivå och per hektar, samt fosforutbyte.

Fosfor	Ut Tot (kg)	In Tot (kg)	Netto Ut (kg)	Ut per ha (kg/ha)	In per ha (kg/ha)	Netto Ut per ha (kg/ha)	Ut (kg)/In (kg)
1992	1168	1591	-423	7,1	9,6	-2,6	0,73
1993	889	2505	-1616	5,4	15,2	-11,3	0,35
1994	806	996	-190	4,9	6,0	-1,2	0,81
1995	906	876	30	5,5	5,3	-0,2	1,0
1996	1621	1571	50	9,8	9,5	0,3	1,9
Genomsnitt	1078	1508	-429	6,5	9,1	-2,6	0,71 ²⁶

4.4.5 Energi Forkarbyholm

Forkarbyholms nettoliveranser varierade kraftigt under den första tidsperioden, från endast ca 11 GJ 1941 till så mycket som det dubbla 1942 (Tabell 9). Det beror på att både skördar och insats av energi varierat mellan åren. 1941 var ett svagt skördeår samtidigt som energiinsatsen i form av kvävegödsel ökade. I genomsnitt levererade Forkarbyholm nettoenergi motsvarande ca 18 GJ under tidsperioden. Energikvoten för hela perioden låg på 3,2. Energiinsatsen av drivmedel minskade under perioden, med all sannolikhet p.g.a. andra världskriget, men energiinsatsen i form av kvävegödsel ökade istället.

²⁵ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

²⁶ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

Tabell 9. *Energihushållning på Forkarbyholms gård 1938-1942, på gårdsnivå och per hektar, samt energikvot.*

Energi (GJ)	Ut Tot	In Tot	Netto Ut	Ut/ha	In/ha	Netto Ut	E Ut/E In
1938	2364	684	1680	27,2	8,3	18,8	3,46
1939	2587	611	1976	31,5	7,5	24,1	4,23
1940	1462	335	1126	17,8	4,1	13,7	4,36
1941	1785	883	902	21,8	10,8	11,0	2,02
1942	2815	953	1862	34,3	11,6	22,7	2,95
Genomsnitt	2203	693	1509	26,5	8,5	18,1	3,2 ²⁷

1990-talets jordbruk på Forkarbyholm hade både högre leveranser av energi och högre användning av insatsenergi (Tabell 10). Energileveranserna har tredubblats, men insatserna har också ökat i samma storleksordning. Energitillgången låg för hela perioden på 3,1 vilket är något sämre än under den första tidsperioden. Däremot är skillnaden i nettoleverans av energi per hektar stor. Den har ökat från ca 18 GJ per hektar till ca 50 GJ per hektar. Detta kan tolkas som att en större andel av den solenergi som träffat gårdens brukade mark har kunnat omvandlas till produkter under 1990-talet än på 1930/40-talet.

Tabell 10. *Energihushållning på Forkarbyholms gård 1993-1997, på gårdsnivå och per hektar, samt energikvot.*

Energi (GJ)	Ut Tot	In Tot	Netto Ut	Ut/ha	In/ha	Netto Ut per ha (GJ/ha)	E Ut/E In
1993	6518	2199	4320	74	25	49	2,96
1994	6126	1838	4288	69	21	48	3,33
1995	6288	2135	4153	71	24	47	2,95
1996	6758	1997	4761	76	23	54	3,38
1997	6813	2257	4556	77	26	51	3,02
Genomsnitt	6501	2085	4415	73	24	50	3,13 ²⁸

4.4.6 Energi Julita

Julita hade under den första tidsperioden betydligt högre energikvot än Forkarbyholm (Tabell 11). Detta kanske är något förvånande eftersom Julita var en djurgård och produktionen av animalieprodukter borde innebära större energiförluster. Men energiinsatserna var låga. Tillförseln av

²⁷ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

²⁸ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

kvävegödsel var betydligt lägre än på Forkarbyholm. Kvävetillförseln var endast ca 5 kg per hektar vilket innebär att energinsatsen i form av konstgödsel var låg. Användningen av bensin och diesel minskade kraftigt efter 1939. Istället börjar gengasved och gengaskol att användas. Men inköpen blev aldrig så höga att den minskade användningen av fossila drivmedel komprimerades. Nettoleveransen av energi låg under perioden på strax under 20 GJ per hektar.

Tabell 11. *Energihushållning på Julita gård (inkl. Berga) 1939-1943, på gårdsnivå och per hektar, samt energikvot.*

Energi(GJ)	Ut Tot	In Tot	Netto Ut	Ut per ha (GJ/ha)	In per ha (GJ/ha)	Netto Ut per ha (GJ/ha)	E Ut/E In
1939	10982	841	10141	35,2	2,7	32,5	13,1
1940	5231	419	4813	16,8	1,3	15,4	12,5
1941	4548	821	3727	14,6	2,6	11,9	5,5
1942	5082	865	4217	16,3	2,8	13,5	5,9
1943	7863	709	7153	25,2	2,3	22,9	11,1
Genomsnitt	6741	731	6010	21,6	2,3	19,3	9,2 ²⁹

Energikvoten förändrades kraftigt mellan de två tidsperioderna. Under den första tidsperioden var energiinnehållet i produkterna mer än nio gånger insatsen men under 90-talet har den sjunkit till 0,85 (Tabell 12). Men djurtätheten ökade betydligt mellan de två tidsperioderna, från 0,4 till 0,7 mjölkkor per hektar. Frågan är hur resultatet skulle ha påverkats om man skulle ha behållit samma djurtäthet men i övrigt ha gjort samma förändringar av produktionssystemet. Foderstaterna kunde inte utläsas ur verifikationerna från 1990-talet beträffande foder odlat på gården. Men intervjuer med brukaren³⁰, som hade detaljerade anteckningar, har gett en god bild av utfodringen. Om man räknar med minskade inköp av foder och konsumtion av eget foder från gården så att det motsvarar en bibehållen djurtäthet samt ökad leverans av vegetabilieprodukter och till det lägger ett antagande om en djurtäthet på 0,4 mjölkkor per hektar så förändras energikvoten kraftigt. Från att vara mindre än ett ökar den till 2,5. Detta är en illustration av ett känt faktum, nämligen att produktion av vegetabilier är mer energieffektiv än animalisk produktion.

Nettoleveransen av energi förändras från ca 19 GJ per hektar till ca -4 GJ per ha. Men om man gör motsvarande räkneexempel för nettoleverans per

²⁹ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

³⁰ Källa, intervju med brukaren, i denna fotnot...

hektar som för energikvoten, kan man istället konstatera en fördubbling av nettoleveransen från strax under 20 till nästan 40 GJ per hektar. Den stora förändringen förklaras nästan helt av ökad energileverans från växtproduktionen och endast i mindre utsträckning från minskade foderinköp.

Tabell 12. *Energihushållning på Julita gård (inkl. Berga) 1993-1997, på gårdsnivå och per hektar, samt energikvot.*

Energi (GJ)	Ut Tot	In Tot	Netto	Ut per ha (GJ/ha)	In per ha (GJ/ha)	Netto Ut per ha (GJ/ha)	E Ut/E In
1992	3723	3565	158	22,6	21,6	0,96	1,0
1993	3113	6273	-3160	18,9	38,0	-19,1	0,5
1993	3744	4206	-462	22,7	25,5	-2,8	0,9
1995	2694	3275	-581	13,8	19,8	-3,5	0,8
1996	5135	4386	749	31,1	26,6	-4,5	1,2
Genomsnitt	3682	4386	-704	21,8	26,3	-4,0	0,85 ³¹
Genomsnitt³²	10811	4341	6470	65,5	26,4	39,1	2,5

³¹ Beräknad som kvoten mellan tillförd och levererad energi för hela tidsperioden.

³² Genomsnitt korrigerat för djurtäthet. Under den första tidsperioden var djurtätheten ca 0,4 mjölkkor per hektar. Under 1990-talet hade den ökat till 0,7 mjölkkor per hektar.

5 Diskussion

De båda gårdarna som studerats under två tidsperioder har båda genomgått stora förändringar i jordbrukssystemens funktion, trots att produktionsinriktningarna till stor del är desamma. Såväl tillförsel som bortförsel av växtnäring har förändrats. Arbetskraftsbehovet har minskat mycket kraftigt genom att en långtgående mekanisering genomförts. Kemiska bekämpningsmedel användes på 1990-talet i betydligt större utsträckning än på 1930/40-talet. Djurtätheten har ökat på Julita gård.

Båda gårdarna var under den första tidsperioden, 1930/40-talet, mycket stora i förhållande till en genomsnittlig gård. Under den andra tidsperioden, 1992-1996, var de i samma storleksklass som många andra gårdar i sina respektive regioner. Gårdarnas storlek under den första perioden kan ha påverkat hur driften fungerade. Det är troligt att de var relativt tidiga i utveckling när det gällde att ta till sig nya metoder. Brukarna var sannolikt mer teoretiskt intresserade än många andra lantbrukare under samma tidsperiod, annars hade nog knappast jordbruksdriften blivit så detaljerat dokumenterad. Det dokumenterade materialet var betydligt mer omfattande än vad som motiverades av myndighetskrav. Det är uppenbart att om så mycket uppgifter nedtecknades fanns också ett genuint intresse för att driva företagen på ett så bra sätt som möjligt.

Utifrån ovanstående resonemang kan man kanske tro att gårdarna skulle ligga betydligt över riksgenomsnittet när det gäller insatser av växtnäring. Det gör också växtodlingsgården Forkarbyholm där insatsen av kväve låg på ca 18 kg per hektar och år. Fosforinsatsen låg på ca 14 kg per hektar och år. Under den aktuella perioden gödslade man i genomsnitt på nationell nivå med 9-10 kg konstkväve per hektar (Palmquist m.fl., 1959). Det innebär att insatsen av kväve var klart över genomsnittet. Däremot var gödslingsinsatsen av kväve väl i linje med de rådande rekommendationerna för kvävegödsling. För stråsäd rekommenderades t.ex. 15-30 kg kväve per hektar (Ernest m.fl.,

1939). Användningen av konstgödsel fosfor låg, på nationell nivå, under perioden på i genomsnitt 4-5 kg fosfor per hektar (Palmquist m.fl., 1959). Det innebär att fosforgödslingen på Forkarbyholm var tre gånger så stor som genomsnittet. Den var också nästan dubbelt så hög som den rekommenderade gödslingsnivån för stråsäd.

På mjölkgården Julita var insatserna av både kväve och fosfor betydligt lägre. Kväveinsatsen uppgick inte ens till 6 kg per hektar och fosforinsatsen låg på knappt 5 kg per hektar. Det innebär att fosforgödslingen låg på en ganska vanlig nivå under perioden medan kvävegödslingen var jämförelsevis låg.

Frågan är om produktionssystemen mellan de två tidsperioderna har utvecklats i mer eller mindre hållbar riktning. På Forkarbyholm kan man konstatera en drastisk förändring i kvävehushållningen. Den levererade mängden kväve i produkterna har mer än fördubblats, men samtidigt har insatsen av kväve mer än femfaldigats. En positiv nettoliverans av kväve per hektar, nästan 21 kg per hektar, har förändrats till en nettoförlust på 14 kg per hektar. Att utbytet av kväveinsatsen minskat visar dock inte med självklarhet att förlusterna av kväve genom utlakning och denitrifikation var större på 1990-talet än på 1930/40-talet. Exempelvis saknas tillgång till mätningar av dräneringsvattnets kvävekoncentration och naturligt bundet kväve kan givetvis också utlakas. Däremot är det höga kväveutbytet en indikation på att förlusterna av kväve från systemet inte är något stort problem. Dessutom består gårdens mark av lerjordar vilket brukar innebära ett lågt läckage av kväve.

Gården består inte heller av organogena jordar. Om så hade varit fallet hade man kunnat misstänka att mineralisering hade stått för en stor del av kväveförsörjningen. I så fall hade kväveförsörjningen inte varit långsiktigt hållbar eftersom mullhalten sjunker snabbt i en organogen jord vid öppen växtodling. Det förefaller som om produktionssystemet under den första perioden, utan ett stort beroende av konstgödselkväve, kunde åstadkomma både en hög leverans av produkter och en god kvävehushållning.

Under den andra tidsperioden, som uppvisar ett sämre kväveutnyttjande, är ändå inte förlusterna särskilt höga. En stor del av det tillförda kvävet återfinns i skördeprodukterna. De relativt små förlusterna av kväve kan förklaras av gårdens lerjordar och av att kvävegödslingsnivåerna, eftersom gården producerar malkorn, inte är väldigt höga. Gården drivs utan djur vilket ofta innebär lägre kväveförluster per hektar eftersom koncentrationen av växtnäring inte är lika stor som på djurgårdar.

Kvävebalansen på Julita gård har förändrats i samma riktning som på Forkarbyholm. En positiv nettoliverans av kväve på 1930/40-talet kan

jämföras med kväveförluster på 1990-talet. Intressant att notera är att den positiva nettoliveransen av kväve på Julita under den första tidsperioden låg på nästan 22 kg kväve per hektar, d.v.s. mycket nära växtodlingsgården Forkarbyholms leverans. Eftersom djurhållning i allmänhet medför kväveförluster vid stallgödselhantering och spridning kan det tolkas som ett väl fungerande system vad gäller kvävehushållning. Givetvis uppstod förluster vid hanteringen av stallgödsel, och dessa är inte dokumenterade, men trots detta pekar resultatet i riktning mot ett väl fungerande system. Insatserna av kväve gav också ett utbyte som var fem gånger så stort. Förklaringen kan finnas i en växtföljd med ett högt inslag av kvävefixerande klöver som både stod för en stor del av försörjningen med foder samt större delen av kväveförsörjningen till gårdens spannmålsgrödor för avsalu. Om djurandelen hade varit högre och det därmed inte funnits plats för avsalugrödorna hade kvävebalansen troligen varit sämre. En annan förklaring till den goda kvävebalansen kan vara att betydliga halmmängder användes till strö. Halmen kan ha bidragit till att binda kväve vilket minskat förlusterna i form av ammoniak.

Under 1990-talet förlorade istället Julita drygt 100 kg kväve per hektar. En stor förändring som har genomförts mellan de två tidsperioderna är en ökning av insatsen av kväve från 5-6 kg till över 130 kg per hektar. Men en annan betydelsefull förändring som gjorts är att djurtätheten har ökat från 0,4 till 0,7 mjölkkor per hektar. Denna ökning, som innebär att avsaluproduktionen av spannmål minskat, och att spannmål istället använts till djurfoder innebär i sig större kväveförluster. Om man ser till kvävehushållningen kan man se det som att gårdens hållbarhet har minskat med ett större beroende av kvävegödsel och genom att en positiv nettoliverans av kväve har ersatts av betydande förluster. Trots den ökade insatsen har heller inte den genomsnittligt levererade kvävemängden per hektar ökat särskilt mycket. En nettoliverans av kväve på drygt 27 kg per hektar under 1930/40-talet har ökat till 31 kg på 1990-talet.

Under 1930/40-talet var fosforgödslingen hög, relativt kvävegödslingen, jämfört med under 1990-talet. Fosfor uppträder i odlingssystem annorlunda än kväve, så det är inte givet att fosforhushållningen förändrats på samma sätt som kvävehushållningen. Att utvecklingen varit annorlunda visar sig också i gårdsexemplen.

Forkarbyholms gård använde sig på 1930/40-talet av relativt höga fosforgivor på i genomsnitt drygt 14 kg fosfor per hektar. Men av det tillförda kvävet återfinns endast drygt hälften i levererade produkter. Det innebär att 6-7 kg fosfor per hektar inte utnyttjats i odlingssystemet. En mindre mängd kan ha förlorats från systemet genom ytavrinning och

utlakning. Men gården ligger på slätten och ytavrinningen bör ha varit måttlig. Fosfor utlakas, till skillnad mot kväve, inte heller i någon större omfattning. Den rimliga förklaringen är att markens fosforinnehåll ökade. Det är också möjligt att en del fosfor blev fastlagd i marken i former som är svårtillgängliga för grödorna. De höga fosforgivorna innebar inte, från hållbarhetssynpunkt, någon god hushållning med fosfor. Fosfor är en ändlig resurs och det finns ingen anledning att kraftigt gödsla upp jordar med ett relativt gott växtnäringstillstånd. I ett globalt perspektiv är det viktigt att använda fosfortillgångarna där behoven är som störst. En onödig gruvbrytning orsakar dessutom miljöförstöring och att skadligt kadmium förs in i växtnäringssyret. Riskerna för förluster av fosfor ökar också om tillförseln är betydligt större än vad som förs bort med grödorna.

Under 1990-talet låg fosforgödslingen på samma nivå som under 1930/40-talet men nu har skördarna ökat och betydligt mer fosfor återfinns i de levererade produkterna. Utbytet av fosfor hade, från drygt 0,5, förbättrats till 1,2 och nettoleveransen av fosfor uppgick till 3 kg per hektar. Från fosforhushållningssynpunkt kan Forkarbyholm ha utvecklats mot större hållbarhet eftersom en onödigt stor fosforinsats har åtgärdats.

Fosforhushållningen på Julita gård har, mellan de två tidsperioderna, inte utvecklats i samma riktning som på Forkarbyholm. Julita uppvisar på 1930/40-talet ett nettouttag av fosfor på 1,6 kg per hektar. Fosforinsatsen på 5 kg per hektar ligger på samma nivå som de genomsnittliga givorna av fosforgödsel i landet. Men en god produktionsnivå innebar ändå att mer fosfor levererades än vad som sattes in. Men 1990-talets Julita uppvisar istället en nettotillförsel som är typisk för en mjölkgård. Vi har inte kunskap om när en nettobortförsel av fosfor förändrades till en nettotillförsel. Men det är troligt att man skulle kunna hitta samband mellan ökningen av djurtätheten och en förändrad fosforbalans orsakad av ökade foderinköp. Den förändrade fosforhushållningen mellan de två tidsperioderna kan inte tolkas som en förbättrad hållbarhet eftersom gårdens fosfortillstånd på 1990-talet inte motiverade att tillförseln låg betydligt över bortförseln.

Växtnäringshushållningen uppvisade olika typer av hållbarhetsproblem under de två tidsperioderna. Båda gårdarna gav mycket gott utbyte av insatt kväve och sannolikt var inte heller förlusterna av kväve till omgivningen särskilt höga under den första tidsperioden. Växtföljder med kvävefixerande vallar stod för en stor del av kväveförsörjningen. Frågan är om något högre kvävegivor skulle ha kunnat lyfta avkastningen per hektar utan att utbytet av insatt kväve hade minskat särskilt mycket? Kanske en något högre kvävegiva på våren när marken är kall och mineraliseringen därför inte kommit igång skulle kunna ge stora skördeökningar? Eftersom produktionsperspektivet är

en del av hållbarhetsbegreppet, i enlighet med den diskussion som jag förde inledningsvis, så skulle i så fall resultatet bli system som var mer hållbara från kvävesynpunkt än något av de studerade systemen. Men för att bedöma hållbarheten som helhet är metoderna för framställning av kvävegödsel väsentliga. Produktion av konstkväve med biobränslebaserad råvara skulle innebära att användningen av konstgödsel skulle bli mer hållbar. Det kan vara så att man, givetvis utan att uttrycka det i hållbarhetstermer, strävade efter den högre avkastning som en ökad kvävetillförsel innebar, men att man, parallellt med att avkastningen ökade, istället skapade nya och oförutsedda hållbarhetsproblem som de ökade kväveförlusterna orsakade.

Det är enklare att föra resonemang om hållbarheten i fosforhushållningen än kvävehushållningen eftersom fosfor inte uppträder på ett lika komplext sätt som kväve i jordbrukets produktionssystem. Här borde en grundprincip att sträva efter vara att tillföra produktionssystemen så mycket fosfor att avkastningen bibehålls men att undvika onödig uppbyggnad av markens fosforförråd. För att uppnå ett system med en hög grad av hållbarhet skulle den fosfor som lämnar produktionssystemen i form av mat och andra produkter behöva återföras för att sluta kretsloppen i så hög grad som möjligt. I de jordbrukssystem som studeras i den här rapporten hade båda gårdarna, under båda tidsperioderna, brutna kretslopp. Även i 1930/40-talets jordbrukssystem var stora kommersiella gårdar långt ifrån självhushållningssystem och någon återförsel av den växtnäring som lämnade gårdarna fanns varken under 1930/40-talet eller under 1990-talet.

Under 1900-talet skedde en kraftig ökning av jordbruksmarkens fosforinnehåll i Sverige (Pettersson, 2005). Naturvårdsverket har bedömt att det handlade om en höjning av markens fosforinnehåll med i genomsnitt 35-40% (Andersson m.fl., 1998). Men så småningom blev man medveten om problemet och från början av 1970-talet började fosforgivorna minska. Under en så kort period som 1995-2000 minskade jordbrukets fosforöverskott med hela 60% och effektiviteten i utbytet ökade med 15-20% (SCB m.fl., 2007). Men SCB m.fl. påpekar också att överskottet av fosfor framför allt finns på marker som får både konstgödsel och stallgödsel. En högre koncentration av djur ökar sannolikheten för att mer fosfor tillförs än vad som motiveras av bortförsel av fosfor och av markens näringsstatus. Medan djurtäta regioner som Halland och Blekinge uppvisade en nettotillförsel av fosfor på 10 kg per hektar 1997 så var nettotillförseln endast ett kg per hektar i regioner med låg djurtäthet (Pettersson, 2005).

Forkarbyholm uppvisar en tydlig utveckling mot en mer hållbar hushållning med fosfor mellan de studerade tidsperioderna. Alltför höga givor av fosfor tidigare under 1900-talet komparerades under 90-talet med

en något högre bortförsel än tillförsel, vilket är ganska vanligt på en växtodlingsgård. Julita uppvisade inte alls samma hushållningsproblem med fosfor som Forkarbyholm under 1930/40-talet. Förändringen har gått i motsatt riktning, förmodligen som en följd av ökade foderinköp.

Det är inte enkelt att göra en självklar bedömning av hur Forkarbyholm utvecklats ur ett hållbarhetsperspektiv när man fokuserar på energiutnyttjadet. 1930/40-talets Forkarbyholm uppvisar en bättre energikvot. Men skillnaden är inte dramatisk, även om den antagligen är större om man räknar med indirekt energitillförsel p.g.a. maskintillverkning, beroende på att man hade en större maskinpark på 1990-talet. Istället har nettoutbytet av energi per hektar nästan trefaldigats mellan de studerade tidsperioderna. Vilket system som var mest hållbart blir en fråga om vilket slags effektivitet i energiutnyttjandet som man prioriterar.

Julita gård uppvisar en hög energikvot på 1930/40-talet på över 9. Den sjönk kraftigt och låg på 1990-talet på bara 0,85. Från att ha varit en nettolieferantör av energi på ca 26 GJ hade man blivit en förbrukare av ca 4 GJ per hektar. Den ökade djurtätheten från ca 0,4 mjölkkor per hektar till 0,7 har stor betydelse för resultatet. Om man konstruerar ett räkneexempel, med bibehållen djurtäthet, hamnar man istället på energikvoten 2,5 och en nettolieferans på ca 39 GJ per hektar. Detta illustrerar ett känt faktum, nämligen att animalieproduktion är mindre effektiv än vegetabilieproduktion. Även här blir det en bedömnings- och värderingsfråga vilken tidsperiod som man ska anse hade den bästa hållbarheten från energisynpunkt. Men i det här fallet vann man inte så mycket ökad nettolieferans trots en kraftigt försämrade energikvot.

De studerade odlingssystemen på 1930/40-talet uppvisade en hög grad av kväveutnyttjande men lägre avkastningsnivåer än 1990-talets system. Tillförseln av kväve var under den första tidsperioden relativt låg och kanske en något högre tillförsel skulle ha kunnat innebära en högre produktion utan att kväveutnyttjandet skulle ha sjunkit kraftigt. Det växte fram en medvetenhet om att högre kvävetillförsel innebar högre skördar och kvävegödslingen kom att öka. Men framför allt på 1980-talet började man få kunskap om nya hållbarhetsproblem förknippade med kväveanvändningen och dess förluster till både mark och luft. Under 1990-talet började också kvävegödslingen att sjunka. Det svenska jordbruket inträdde i en period då både fosforgödslingen, som hade börjat minska redan på 70-talet och kvävegödslingen sjönk. Gödselåret 2005/2006 hade försäljningen av kvävegödsel minskat till en nivå som inte förekommit sedan 1960-talet (Statens jordbruksverk, 2007). Sannolikt har utvecklingen varit en konsekvens av ökad kunskap om problem förknippade med höga

gödslingsnivåer som i sin tur har utvecklat kunskap om hur man höjer effektiviteten i användningen. Politiskt har man också arbetat för att åtgärda problemen med informationsinsatser och miljöskatter.

Höga energikvoter, särskilt om man inte räknar med mänskligt arbete, kan uppnås i jordbrukssystem med mycket små insatser av energi som t.ex. jordbruk för självförsörjning som bygger helt på manuellt arbete. I princip skulle oändliga energikvoter bli resultatet om insatsenergin närmade sig noll även om avkastningen per hektar var mycket låg. Detta skulle indikera en mycket hög effektivitet. Men det skulle vara en effektivitet utan mening eftersom avkastningen skulle kunna vara obefintlig trots en hög energikvot. Därför kan man naturligtvis inte bortse från nettoavkastningen per hektar. Energikvot som ensamt mått är ingen bra indikation på ett jordbrukssystemets hållbarhet. Mänskligheten har inte tillgång till hur mycket användbar mark för jordbruksproduktion som helst.

En hög nettoleverans av energi per hektar innebär ett mer effektivt utnyttjande av den solenergi som träffar marken än om nettoleveransen är låg. Men inte heller nettoleveransen av energi fungerar som ensamt mått eftersom en hög nettoleverans kan vara beroende av andra insatser som inte är hållbara, t.ex. en omfattande användning av kemiska bekämpningsmedel eller stora fossila insatser. I diskussionen om jordbrukets energieffektivitet leder olika synsätt och värderingar till skilda slutsatser beträffande vikten av en god energikvot och en god energileverans. Enligt min mening måste målsättningen vara att uppnå såväl en hög energikvot som en hög nettoleverans per hektar. Den dubbla utmaningen att både klara miljökraven och nödvändigheten att försörja en stor och växande befolkning med både mat, energi och andra råvaror måste mötas.

Om man ser på jordbruket som en potentiell producent av energi, och inte bara av livsmedel, kan det kanske verka som att en hög nettoleverans skulle vara den viktigaste målsättningen även om det skulle innebära stora fossila insatser. Om nettot är positivt så borde väl fossila bränslen kunna ersättas på annat håll med biobränslen? Problemet med det resonemanget är att det är långt ifrån säkert att de producerade biobränslena verkligen minskar förbrukningen av fossila bränslen. De fossila bränslena dominerar världens energiförsörjning och så länge utvecklingen av energikonsumtionen inte har vänt är det inte alls säkert att den ytterligare tillförseln av energi ersätter fossila bränslen. Eftersom förbrukningen av fossila bränslen fortfarande ökar måste det vara en viktig prioritering att minska tillförseln av kol från fossila källor. Om man endast ökar produktionen av biobränslen kan det innebära en högre tillgång på energi på marknaden och därmed en högre förbrukning av energi. En annan möjlig konsekvens av ökade

nettopleveranser är sjunkande priser på djurfoder vilket kan leda till andra konsumtionsmönster. En högre andel animalier i kosten är sämre ur hållbarhetssynpunkt.

Julita gård på 1930/40-talet kanske, från hållbarhetssynpunkt, uppvisar det intressantaste jordbrukssystemet av de system som redovisas i den här rapporten. Nettopleveransen av energi är hög trots en relativt stor animalieproduktion. Samtidigt är användningen av insatt energi låg och därmed energikvoten hög. Förlusterna av både kväve och fosfor förefaller låga. Det handlar om en mjölkgård som, med dagens mått, hade en låg djurkoncentration. Specialiseringen var inte så långt driven och därför kunde man leverera både mjölk, kött och vegetabiliska produkter. Kanske är det inte självklart att det för svenska förhållanden är mest hållbart med helt vegetabilieproducerande jordbrukssystem trots att det egentligen är effektivast att äta vegetabilier direkt istället för att använda dem som djurfoder?

Vallodling fungerar bra i det svenska klimatet och ger goda växtföljder med bra möjligheter att utnyttja biologisk kvävefixering. Gårdar med en djurkoncentration som inte är så hög ger också bra möjligheter att utnyttja stallgödseln på ett effektivt sätt. Intressant att fundera på är om gårdar med liknande system som Julita på 1930/40-talet med något högre kvävegödsling, skulle kunna bli ännu mer hållbara genom ökad avkastning utan att kväveförlusterna ökade särskilt mycket. Kanske jordbrukssystem med låga givror av kvävegödsel baserad på bioråvara istället för fossilgas skulle kunna uppvisa en hög nivå av hållbarhet? Om man dessutom kunde sluta kretsloppen bättre mellan stad och land skulle systemen ytterligare förbättras.

En övergång till mindre specialiserade gårdar med en lägre djurkoncentration kan tyckas enkelt jordbrukstekniskt. Men ur ett samhällsperspektiv är det inte lika enkelt. Under ett antal decennier har utvecklingen gått mot, och går fortfarande mot, allt högre specialisering. Mycket har investerats på gårdar, inte minst i form av ekonomibyggnader, inriktade på en högt specialiserad drift.

Om man lyfter blicken från systemen för primärproduktion, inser man snart att en hållbar försörjning av livsmedel handlar om så mycket mer än själva produktionssystemen på gårdarna. Valfriheten på livsmedel har ökat enormt. Vi är idag vana vid att kunna köpa mat, som tidigare var säsongsbetonad, året runt. Livsmedel transporteras långa sträckor och mycket resurser läggs ned på långtgående förädling. Jordbrukets primärproduktion sysselsätter inte längre så många, medan hela livsmedelssektorn däremot är en av de större sektorerna inom näringslivet. En intressant tanke är att kanske jordbrukets minskande arbetskraftsbehov under 1900-talet är väl så viktigt

för samhällets miljöpåverkan som dess ökade användning av insatsmedel? Alla de människor som lämnade jordbruket som en följd av mekaniseringen hade givetvis betydelse för att förändra samhällets konsumtions- och produktionsmönster. Industrin hade inte kunnat expandera i snabb takt på 50- och 60-talet utan ett stort tillskott av arbetskraft. Industrin bidrog till att möjliggöra en högre materiell konsumtion som fick betydelse för energianvändning och övrigt resursutnyttjande. Så länge en relativt stor del av människans tid gick åt till grundläggande matproduktion var inte en materiell konsumtionsrevolution möjlig. Om en större del av den mänskliga tid som frigjordes, som en följd av jordbrukets mekanisering, hade använts på andra sätt kanske dagens konsumtionsvanor hade legat på en mer hållbar nivå.

Mänskligheten kommer alltid att sträva efter att lösa olika hållbarhetsproblem. Det är idag svårt att säga vilka de största utmaningarna kommer att vara ett antal decennier framåt. Utmaningarna ligger inte bara i att arbeta med de aktuella kända hållbarhetsproblemen. De ligger lika mycket i att försöka vara medveten om att dagens lösningar kan ge upphov till nya okända eller endast anade hållbarhetsproblem. En ambition att försöka förutse tänkbara framtida hållbarhetsproblem kan motverka att dagens lösningar föder morgondagens problem.

Litteratur

- Addiscott, T.M. (2005). *Nitrate, Agriculture and the Environment*. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Allingham, K.D., Cartwright, R., Donaghy, D., Conway, J.S., Goulding, K.W.T. & Jarvis, S.C. (2002). Nitrate leaching losses and their control in a mixed farm system in the Cotswold Hills, England. *Soil Use and Management*. Vol. 18(4): 421-427.
- Altieri, Miguel A. (1989). *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Boulder, Colo.: Westview Press.
- Andersson, A., Eriksson, J., Andersson, R. & Mattsson, L. (1998). *Fosforupplagringen i svensk jordbruksmark*. Naturvårdsverket, rapport 4919. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Andersson, Rune (1986). *Förluster av kväve och fosfor från åkermark i Sverige: omfattning, orsaker och förslag till åtgärder*. Avhandling. Uppsala: SLU.
- Arrhenius, Svante (1896). On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*. Vol. 41: 237-276.
- Bergström, L., Bowman, B.T. & Sims, J.T. (2005). Definition of sustainable and unsustainable issues in nutrient management of modern agriculture. *Soil Use and Management*. Vol. 21: 76-81.
- Birks, Hilary H., Birks, H.J.B., Kaland, Peter Emil & Moe, Dagfinn (red.) (1988). *The Cultural Landscape – Past, Present and Future*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bolin, Bert & Arrhenius, Erik (red.) (1977). Nitrogen – An essential life factor and a growing environmental hazard. Report from Nobel Symposium No. 38. *Ambio*. Vol. 6(2/3): 96-105.
- Bonny, Sylvie (1993). Is agriculture using more and more energy? A French case study. *Agricultural Systems*. Vol. 43(1): 51-66.
- Borgström, Georg (1964). *Gränser för vår tillvaro*. Stockholm: LT:s förlag.
- Brimblecombe, Peter & Pfister, Christian (red.) (1990). *The Silent Countdown: Essays in European Environmental History*. Berlin: Springer.
- Brklacich, Michael, Bryant, Christopher R. & Smit, Barry (1991). Review and appraisal of concept of sustainable food production systems. *Environmental Management*. Vol. 15(1): 1-14.

- Cao, Shixiong, Chen, Li & Liu, Zhande (2007). Disharmony between society and environmental carrying capacity: A historical review, with an emphasis on China. *Ambio*. Vol. 36(5): 409-415.
- Carroll, C. Ronald, Vandermeer, John H. & Rosset, Peter (red.) (1990). *Agroecology*. New York: McGraw-Hill.
- Carson, Rachel (1962). *Silent Spring*. Boston: Houghton Mifflin.
- Chorley, G.P.H. (1981). The agricultural revolution in Northern Europe, 1750-1880: nitrogen, legumes, and crop productivity. *The Economic History Review*. Vol. 34(1): 71-93.
- Cleveland, Cutler J. (1995). The direct and indirect use of fossil fuels and electricity in USA agriculture, 1910-1990. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 55(2): 111-121.
- Cole, C.V., Duxbury, J., Freney, J., Heinemeyer, O., Minami, K., Mosier, A., Paustian, K., Rosenberg, N., Sampson, N., Sauerbeck, D. & Zhao, Q. (1997). Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Vol. 49(1-3): 221-228.
- Cottrell, Fred (1970[1955]). *Energy and Society: The Relation between Energy, Social Change, and Economic Development*. Westport, Conn.: Greenwood Press.
- Dalgaard, Tommy, Halberg, Niels & Porter, John R. (2001). A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 87(1): 51-65.
- Dalton, Howard & Brand-Hardy, Richard (2003). Nitrogen: the essential public enemy. *Journal of Applied Ecology*. Vol. 40(5): 771-781.
- Diamond, Jared (2005). *Collapse – How Societies Choose to Fail or Succeed*. New York: Viking Penguin.
- van Egmond, Klaas, Bresser, Ton & Bouwman, Lex (2002). The European nitrogen case. *Ambio*. Vol. 31(2): 72-78.
- Emanuelsson, Urban (1988). A model for describing the development of the cultural landscape. I: Birks, Hilary H., Birks, H.J.B., Kaland, Peter Emil & Moe, Dagfinn (red.) (1988). *The Cultural Landscape – Past, Present and Future*, 111-121. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ernest, E. m.fl. (red.) (1939). *Jordbrukslära för ungdomsskolor, jordbrukskurser och självstudium*. Stockholm: LT:s förlag.
- Fluck, Richard C. (red.) (1992). *Energy in Farm Production*. Amsterdam: Elsevier.
- Flygare, Iréne A. & Isacson, Maths (2003). *Jordbruket i välfärdssamhället: 1945–2000*. Det svenska jordbrukets historia, band fem. Stockholm: Natur och kultur/LT:s förlag.
- Galloway, James N., Schlesinger, William H., Levy, Hiram II, Michaels, Anthony & Schnoor, Jerald L. (1995). Nitrogen fixation: anthropogenic enhancement-environmental response. *Global Biogeochemical Cycles*. Vol. 9(2): 235-252.
- Giampietro, Mario, Bukkens, Sandra G.F. & Pimentel, David (1994). Models of energy analysis to assess the performance of food systems. *Agricultural Systems*. Vol. 45(1): 19-41.
- Green, Maurice Berkeley (1978). *Eating Oil – Energy Use in Food Production*. Boulder, Colo.: Westview Press.
- Helmfrid, Hillevi (1992). *Vad menas med uthållig utveckling? Begreppsanalys och ansats till operationalisering*. Rapport. Institutionen för ekonomi. Uppsala: SLU.

- Ingenjörsvetenskapsakademien (1950). *Gengas – svenska erfarenheter från åren 1939-1945*. Stockholm: Generalstabens litografiska anstalt.
- IPCC (2008). *IPCC Reports*. Tillgänglig på: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm> (2008-06-12).
- IUCN (1980). *World Conservation Strategy – Living Resource Conservation for Sustainable Development*. Gland: IUCN.
- Jarrell, Wesley M. (1990). Nitrogen in agroecosystems. I: Carroll, C. Ronald, Vandermeer, John H. & Rosset, Peter (red.) (1990). *Agroecology*, 385-411. New York: McGraw-Hill.
- Jarvis, S.C. (1993). Nitrogen cycling and losses from dairy farms. *Soil Use and Management*. Vol. 9(3): 99-105.
- Johnson, Warren A., Stoltzfus, Victor & Craumer, Peter (1977). Energy conservation in Amish agriculture. *Science*. Vol. 198(4315): 373-378.
- Kelm, M., Wachendorf, M., Trott, H., Volkers, K. & Taube, F. (2004). Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. III. Energy efficiency in forage production from grassland and maize for silage. *Grass and Forage Science*. Vol. 59(1): 69-79.
- Kjærgaard, Thorkild (1994). *The Danish Revolution, 1500-1800: An Ecohistorical Interpretation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kjærgaard, Thorkild (1995). Agricultural development and nitrogen supply from an historical point of view. *Biological Agriculture & Horticulture*. Vol. 11(1-4): 3-14.
- Koivistoinen, P. (1980). Mineral element composition of Finnish foods. *Acta Agricultura Scandinavica*. Vol. 30(S22): 1-171.
- Köllman, Wolfgang (1965). *Raum und Bevölkerung in der Weltgeschichte: Bevölkerungs-Plötz*. Band 4, Bevölkerung und Raum in neuerer und neuester Zeit. Würzburg: Ploetz.
- Leach, Gerald (1976). *Energy and Food Production*. Guildford: IPC Science and Technology Press Ltd.
- Leigh, G.J. (2004). *The World's Greatest Fix: A History of Nitrogen and Agriculture*. New York: Oxford University Press.
- Loomis, R.S. & Connor, D.J. (1992). *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lägnert, Folke (1955-1956). *Syd- och mellansvenska växtföljder*. Avhandling. Meddelanden från Lunds universitets geografiska institution.
- Marten, Gerald G. (1988). Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural Systems*. Vol. 26(4): 291-316.
- Miljömålsrådet (2008). *Miljömål*. Tillgänglig på: <http://www.miljomal.nu> (alternativt: <http://www.miljomal.nu>) (2008-06-23).
- Myrdal, Janken (2008). *Framtiden – om femtio år – global utveckling och Nordens landsbygd*. Köpenhamn: Nordiska ministerrådet.
- Nationalencyklopedin* (1989-1996). Höganäs: Bra böcker.
- Naturvårdsverket (1996). *Biff och bil? – Om hushållens miljöval*. Naturvårdsverket, rapport 4542. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Newman, E.I. (1997). Phosphorus balance of contrasting farming systems, past and present. Can food production be sustainable? *Journal of Applied Ecology*. Vol. 34: 1334-1347.

- Newman, E.I. & Harvey, P.D.A. (1997). Did soil fertility decline in medieval English farms? Evidence from Cuxham, Oxfordshire, 1320-1340. *Agricultural History Review*. Vol 45(2): 119-136.
- Odum, Howard T. (1971). *Environment, Power, and Society*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Odum, Howard T. & Odum, Elisabeth, C. (2001). *A Prosperous Way Down: Principles and Policies*. Boulder, Colo.: University Press of Colorado.
- Olsson, Gunilla (1988). Nutrient use and productivity for different cropping systems in south Sweden during the 18th century. I: Birks, Hilary H., Birks, H.J.B., Kaland, Peter Emil & Moe, Dagfinn (red.) (1988). *The Cultural Landscape – Past, Present and Future*, 124-137. Cambridge: Cambridge University Press.
- Osvald, Hugo (1962). *Vallodling och växtföljder – uppkomst och utveckling i Sverige*. Stockholm: Natur och kultur.
- Overton, Mark & Campbell, Bruce M.S. (red.) (1991). *Land, Labour and Livestock: Historical Studies in European Agricultural Productivity*. Manchester: Manchester University Press.
- Overton, Mark & Campbell, Bruce M.S. (1991). Productivity change in European agricultural development. I: Overton, Mark & Campbell, Bruce M.S. (red.) (1991). *Land, Labour and Livestock: Historical Studies in European Agricultural Productivity*, 1-50. Manchester: Manchester University Press.
- Palmquist, Eric, Roth, Erik & Runfeldt, Karl A. (1959). *Jordbrukslära för ungdomsskolor, jordbrukskurser och självstudium*. Del 1. Stockholm: LT:s förlag.
- Panesar, Balwinder S. & Fluck, Richard C. (1993) Energy productivity of a production system: analysis and measurement. *Agricultural Systems*. Vol 43(4): 415-437.
- Parr, James F. & Hornick, Sharon B. (1992). Agricultural use of organic amendments: A historical perspective. *American Journal of Alternative Agriculture*. Vol. 7(4): 181-189.
- Pettersson, Olle (2005). *Strukturella aspekter på jordbrukets miljö- och resursproblem – exemplet fosfor*. Rapport MAT 21. Nr. 2/2005. Uppsala: SLU.
- Pfister, Christian (1990). The early loss of ecological stability in an agrarian region. I: Brimblecombe, Peter & Pfister, Christian (red.) (1990). *The Silent Countdown: Essays in European Environmental History*, 37-55. Berlin: Springer.
- Pimentel, David, Hurd, L.E., Bellotti, A.C., Forster, M.J., Oka, I.N., Sholes, O.D. & Whitman, R.J. (1973). Food production and the energy crisis. *Science*. Vol. 182(4111): 443-449.
- Pimentel, David & Dazhong, Wen (1990). Technological changes in energy use in US agricultural production. I: Carroll, C. Ronald, Vandermeer, John H. & Rosset, Peter (red.) (1990). *Agroecology*, 147-164. New York: McGraw-Hill.
- Pimentel, David & Pimentel, Marcia (red.) (1996). *Food, Energy, and Society*. Niwot, Colo.: University Press of Colorado.
- Pimentel, David, Hepperly, Paul, Hanson, James, Douds, David & Seidel, Rita (2005). Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience*. Vol. 55(7): 573-582.
- van der Ploeg, Rienk R., Schweigert, P. & Bachmann, J. (2001). Use and misuse of nitrogen in agriculture: The German story. Proceedings of the 2nd International Nitrogen Conference on Science and Policy: Optimizing nitrogen management in food and energy

- production and environmental protection, Washington D.C. *The Scientific World Journal*. Vol. 1(S2): 737-744.
- Proposition 1984/85:166 om livsmedelspolitiken.
- Proposition 1998/99:100 – 1999 års ekonomiska vårproposition.
- Risoud, Bernadette (2000). *Energy Efficiency of Various French Farming Systems: Questions to Sustainability*. Paper presenterat på den internationella konferensen "Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use." Wageningen, Nederländerna, 18-20 maj 2000.
- Rydberg, Carl (1933). *Jordbrukslära för skolor och självstudium*. Stockholm: Fritzes bokförlag.
- SCB (1942). *Jordbruk och boskapskötsel år 1941*. Stockholm: SCB.
- SCB, Jordbruksverket, Naturvårdsverket & LRF (2007). *Hållbarhet i svenskt jordbruk*. Örebro: SCB.
- SLU (2001). Miljönyckeltal: Kväve, fosfor, kadmium, energi och markpackning. *Fakta jordbruk*. Nr. 7/2001.
- Smil, Vaclav, Nachman, Paul & Long II, Thomas Veach (1983). *Energy Analysis and Agriculture – An Application to U.S. Corn Production*. Boulder, Colo.: Westview Press.
- SOU 1971:75. *Hushållning med mark och vatten – inventeringar, planöverbäganden om vissa naturresurser, former för fortlöpande fysisk riksplanering, lagstiftning*. Stockholm: Civildepartementet.
- SOU 1998:170. *Gröna nyckeltal för en ekologiskt hållbar utveckling*. Stockholm: Miljövårdsberedningen.
- Statens jordbruksverk (2007). *Försäljning av mineralgödsel 2005/2006*. Statistikrapport 2007:1. Jönköping: Statens jordbruksverk.
- Steineck, S., Gustafson, A., Richert Stintzing, A., Salomon, E., Myrbeck, Å., Albihn, A. & Sundberg, M. (2000). Växtnäring i kretslopp. *SLU Kontakt*. Nr. 11/2000.
- Steinhart, John S. & Steinhart, Carol E. (1974). Energy use in the U.S. food system. *Science*. Vol. 184: 307-316.
- Stern, Nicholas (2008). *Stern Review on the Economics of Climate Change – Executive Summary (full)*. Tillgänglig på: http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm (2008-06-19).
- Stout, B.A. (1990). *Handbook of Energy for World Agriculture*. London: Elsevier Applied Science.
- Sylvester-Bradley, R. (1993). Scope for more efficient use of fertilizer nitrogen. *Soil Use and Management*. Vol. 9(3): 112-117.
- Turner, B.L. II, Clark, W.C., Kates, R.W., Richards, J.F., Mathews, J.T. & Meyer, W.B. (red.) (1990). *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Uhlin, Hans-Erik (1998). Why energy productivity is increasing: An I-O analysis of Swedish agriculture. *Agricultural Systems*. Vol. 56(4): 443-465.
- WCED, Brundtland, Gro Harlem & UNEP (1987). *Our Common Future*. Nairobi: UNEP.
- Wiesler, Franz, Behrens, Torsten & Horst, Walter J. (2001). The role of nitrogen-efficient cultivars in sustainable agriculture. Proceedings of the 2nd International Nitrogen Conference on Science and Policy: Optimizing nitrogen management in food and energy

production and environmental protection, Washington D.C. *The Scientific World Journal*.
Vol. 1(S2): 61-69.

Vitousek, Peter M., Aber, John D., Howarth, Robert W., Likens, Gene E., Matson, Pamela
A., Schindler, David W., Schlesinger, William H. & Tilman, David G. (1997). *Ecological
Applications*. Vol. 7(3): 737-750.

Wägner, Elin (1941). *Väckarklocka*. Stockholm: Bonnier.

Bilaga – Källor till grunddata för beräkningar av energi- och växtnäringsflöden

- Abramson, Ernst (1975). *Kosttabell*. Stockholm: Esselte Studium.
- Arnemo, Marianne (2002). *Livsmedelstabell – energi- och näringsämnen 2002*. Uppsala: Statens livsmedelsverk.
- Bernesson, Sven, SLU. Personlig kommunikation 2007.
- Bertilsson, Göte (1992). *Environmental Consequences of Different Farming Systems Using Good Agricultural Practices*. Proceedings of an international conference of the Fertiliser Society, Cambridge. Peterborough: Fertiliser Society.
- Boustead, I. & Hancock, G.F. (1979). *Handbook of Industrial Energy Analysis*. Chichester: Ellis Horwood.
- Davis, Jennifer & Haglund, Caroline (1999). *Life Cycle Inventory (LCI) of Fertiliser Production – Fertiliser Products Used in Sweden and Western Europe*. SIK-rapport nr. 654. Göteborg: SIK – Institutet för livsmedel och bioteknik.
- Elofson, Anders (red.) (1945–1947). *Lantmannens bok*. Stockholm.
- Eriksson, Sture, Sanne, Sven & Thomke, Sigvard (1976). *Fodermedelstabeller och utfodringsrekommendationer till idisslare, hästar och svin*. Stockholm: LT:s förlag.
- Fluck, Richard C. (red.) (1992). *Energy in Farm Production*. Amsterdam: Elsevier.
- Hellstrand, Stefan (1989). Bakgrund och kommentarer till 1989 års fodermedelstabeller och näringsrekommendationer för idisslare. Rapport 191. Institutionen för husdjurens utfodring och vård. Uppsala: SLU.
- Hoffmann, Ruben & Uhlin, Hans-Erik (1997). *Resursflöden i jordbruket i energi-, fysiska och monetära termer*. Småskriftserien nr. 111. Institutionen för ekonomi. Uppsala: SLU.
- Ingenjörsvetenskapsakademien (1950). *Gengas – svenska erfarenheter från åren 1939-1945*. Stockholm: Generalstabens litografiska anstalt.
- Koivistoinen, P. (1980). Mineral element composition of Finnish foods. *Acta Agriculturae Scandinavica*. Vol. 30(S22): 1-171.
- Lantmännen. *Innehåll och sammansättning av foder*. Personliga meddelanden 1999.
- Lärn-Nilsson, Josefine, Bjäresten, Inger & Ekesbo, Ingvar (1979). *Lantbrukets husdjur*. Stockholm: LT:s förlag.

- Nationalencyklopedin* (1989-1996). Höganäs: Bra böcker.
- Patyk, Andreas (1996). *Balance of Energy Consumption and Emissions of Fertilizer Production and Supply*. Reprints from the International Conference on Application of Life Cycle Assessment in Agriculture, Food and Non-Food Agro-Industry and Forestry: Achievements and Prospects. Bryssel, 4-5 april 1996.
- Pimentel, David (1992). Energy inputs in production agriculture. I: Fluck, Richard C. (red.) (1992). *Energy in Farm Production*. Amsterdam: Elsevier.
- Statens energimyndighet (2006). *Energiläget 2006*. Eskilstuna: Statens energimyndighet.
- Stout, B.A. (1990). *Handbook of Energy for World Agriculture*. London: Elsevier Applied Science.
- Turesson, Magne, SLU. Personlig kommunikation 1997.
- Uhlin, Hans-Erik (1998). Why energy productivity is increasing: An I-O analysis of Swedish agriculture. *Agricultural Systems*. Vol. 56(4): 443-465.
- Uppenberg, Stefan & Lindfors, Lars-Gunnar (1999). *Produktspecifika utgångspunkter för drivmedel* (PSR 1999:6). Stockholm: Miljöstylningsrådet.

Författarens tack

Till sist vill jag tacka professor Janken Myrdal vid avdelningen för agrarhistoria vid SLU för hjälp med uppläggning av studien samt råd och stöd i genomförandet och utformandet av rapporten. Jag vill också tacka gårdarna Forkarbyholm och Julita samt Julita museum för att jag har fått tillgång till unika källmaterial. Dessutom vill jag tacka Jacob von Oelreich för hjälp med slutredigering av texten inför tryckning samt värdefulla synpunkter på texten. Det finns dessutom många personer som har hjälpt till med muntliga uppgifter gällande data eller som lämnat förslag på skriftliga källor till data. Utan deras bistånd hade det inte varit möjligt att utföra de flödesberäkningar som presenteras i rapporten.