



Sveriges  
lantbruksuniversitet

---

Kvävetillgång i odlade mulljordar i  
Kvismardalen i Närke

*Nitrogen supply to crops in organic soils in the  
Kvismar Valley in central Sweden*

Börje Lindén



---

Institutionen för mark och miljö  
*Department of Soil and Environment*

Rapport 16  
*Report 16*  
Uppsala 2015  
ISBN 978-91-576-9277-1

---

Omslagsbilden visar Kvismare Kanal vid Öby Kulle nordost om Sköllersta. Det var genom grävningen av kanalen som mulljordarna i Kvismardalen kunde torrläggas och uppodlas. I bildens bakgrund syns den restaurerade och invallade sjön Västra Kvismaren.



<b>Innehåll</b>	
<b>Förord</b>	5
<b>Sammanfattning</b>	6
<b>Summary</b>	8
<b>Inledning</b>	14
<b>Bakgrund: uppodlingen av mulljordarna i Kvismardalen</b>	15
<b>Material och metoder</b>	18
Fältförsök	18
Grödor och förfrukter	20
Provtagning av marken	20
Provtagning av grödor samt skördebestämning	25
<b>Resultat och diskussion</b>	27
Beskrivning av jordarna	27
Växtnäringsstillstånd	34
Väder- och växtodlingsförhållanden i Kvismardalen 1986-1988	36
Utnyttjbart jordkväve	38
Årstidsvisa förändringar av mineralkväveförråden i marken	41
Ammonium- och nitratkvävet djupfördelning i marken	46
Betydelsen av det övervintrande mineralkvävet och av kvävemineraliseringen under växtsäsongerna för grödornas kväveförsörjning	50
Kvävegödslingens inverkan på kärnskördarna samt ekonomiskt optimal gödsling	53
Inverkan av kvävegödslingen på de utnyttjade mängderna mineralkväve vid avslutad kväveupptagning och risken för ökad kväveutlakning	58
<b>Övergripande diskussion och slutsatser ur rådgivningssynpunkt</b>	61
Inverkan på kornskördarna av stigande mängder gödselkväve	61
Faktorer som påverkade den ekonomiskt optimala kvävegödslingen på mulljordarna	62
Metoder för bestämning av utnyttjbart jordkväve för styrning av den ekonomiskt optimala kvävegödslingen	63
Kvävegödslingsprognoser baserade på markens mineralkväveförråd på våren	64
Bestämning av tillskott av mineraliserat kväve under växtsäsongen	66
Styrning av kvävegödsling på basis av grödans kvävestatus under pågående växtsäsong	66
Risker för kväveutlakning på mulljordar – möjliga motåtgärder	67
Konsekvenser av klimatförändringar med mildare vintrar	69
<b>Referenser</b>	70
<b>Personliga meddelanden</b>	74

## **Förord**

I rapporten redovisas kväveförhållandena i odlade mulljordar i Kvismardalen, Närke. Resultaten utgår från fältförsök 1986-88 genomförda i samarbete mellan Länsstyrelsen, Hushållningssällskapet och dåvarande Lantbruksnämnden i Örebro län samt den tidigare Institutionen för markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet. Fältförsöken anlades och sköttes växtodlingsmässigt av Hushållningssällskapet. Jord- och grödprovtagningar i försöken utfördes huvudsakligen av Anders Persson vid Lantbruksnämnden. Provtagnings- och utvärderingsarbetet 1986 gjordes av Gunnar Sjögren som ett examensarbete i växtnäringslära.

I rapporten används uttrycket ”jordkväve” med samma innebörd som ”markkväve”. Begreppet ”utnyttjbart jordkväve” under växtsäsongen avser kväve som grödorna kunnat ta upp under växtperioden och som härstammar från markens organiska kväveförråd. Uttrycket ”jordkväve” ha valts framför ”markkväve” för att underlätta den nordiska språkförståelsen, eftersom ”mark” har andra betydelser i danska och norska.

Skara i december 2014

Författaren

### Sammanfattning

År 1878-88 sänktes sjöarna Kvismaren och Hjälmaran i Närke. Härigenom kunde betydligt mer än 10 000 ha åkermark nyodlas. I föreliggande rapport redovisas fältförsök 1986-88 på kärrtorvmulljordar i området:

- 1) nio ettåriga försök med stigande mängder mineralgödselkväve (0, 30, 60, 90 och 120 kg N/ha) till vårkorn
- 2) sju ettåriga observationsförsök ("0N-rutor") med vårkorn utan tillförsel av mineralgödselkväve.

Mängderna mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) i jorden bestämdes skiktvis (0-30, 30-60 och 60- 90 cm) under olika årstider. För att beskriva den mängd kväve från marken som grödorna kunde utnyttja under växtsäsongen (utnyttjbart jordkväve) bestämdes växternas kväveinnehåll vid kväveupptagningens avslutning på sensommaren i behandlingarna utan kvävegödsling.

I medeltal fastställdes 166 kg utnyttjbart jordkväve per ha (variationsbredd: 78-274 kg/ha, ). I fastmarksjordar brukar det finnas i storleken 60-80 kg N/ha. Det fanns inget tydligt samband mellan utnyttjbart jordkväve och mulljordsdjup ( $R^2 = 0,30$ ) eller mullhalt inom 30 cm djup ( $R^2 = 0,11$ ). Tillgången på utnyttjbart jordkväve varierade betydligt mellan åren: 195, 230 och 113 kg N/ha 1986, 1987 respektive 1988. Mineralkvävet i marken uppvisade ett cykliskt årsförlopp, med 1) de minsta mängderna när grödornas kväveupptagning avslutades, 2) vanligen mycket stora anhopningar av mineraliserat kväve på hösten och även under vintern och 3) de största förråden på våren efter en kall vinter med långvarig tjäle (1986-87). Under den milda vintern 1987-88 minskade däremot mineralkvävet påtagligt fram till våren, vilket bidrog till att öka kvävegödslingsbehovet under den efterföljande växtsäsongen.

Med prisnivåer för 2013 uppgick den ekonomiskt optimala kvävegödslingen till 33 kg N/ha (variationsbredd: 0-120 kg). Det fastställdes ett starkt samband mellan ekonomiskt optimal kvävegödsling till kornet och mineralkväve på våren eller utnyttjbart jordkväve. För mineralkväve erhöles  $R^2 = 0,84$  och utnyttjbart jord-

kväve  $R^2 = 0,70$ . Den faktiska mängden utnyttjbart jordkväve kan dock bara fastställas i efterhand i praktiken. För gödslingsprognoser måste kvävetillgången kunna förutsägas. De stora förråden av mineralkväve tidigt på våren (i medeltal 144 kg N/ha) tyder på att bestämning av detta kväve skulle kunna användas för att förbättra precisionen vid kvävegödsling på mulljordar under det aktuella året. Problem med sådana gödslingsråd uppstår emellertid, om förluster av kväve sker genom nederbörd efter jordprovtagningen. För att styra kvävegödslingen, oavsett jordslag, har det istället föreslagits icke kvävegödslade smårutor (0N-rutor) inom fältet ifråga med årliga provtagningar av grödan för bestämning av dess kväveupptag och utnyttja medeltal eller trend för detta som grund för efterföljande års gödsling. I försöken blev dock variationerna i utnyttjbart jordkväve mellan åren alltför stora för säkra gödslingsråd baserade på medeltal för tidigare år. För tillförlitligare bedömningar av gödslingsbehovet bör det vara säkrare med metoder som belyser grödornas kvävestatus under den pågående växtsäsongen, såsom reflektansmätning i växande gröda.

Vid optimal gödsling översteg i allmänhet inte det outnyttjade mineralkvävet vid avslutad kväveupptagning mängderna i icke kvävegödslade led med mer än några få kg N/ha. De stora kväve-mineralieringstillskotten under hösten måste ha ökat risken för kväveförluster under vinterhalvåret betydligt mer. Detta bör motverkas genom odling av fånggrödor och genom att skjuta upp jordbearbetningen till våren.

## Summary

During the 19<sup>th</sup> and the early 20<sup>th</sup> centuries, huge areas of organic soils were reclaimed in Sweden through drainage of peatlands and lowering of lakes and streams. The acreage of reclaimed peat- and wetlands reached about 700 000 ha in the mid-1940s. Later, however, the agricultural use of organic soils has declined. The largest lowering of lakes for reclamation concerned the lakes Mosjön, Kvismaren and Hjälmarén in the province of Närke in central Sweden. Through the lowering of Kvismaren and Hjälmarén (1878-88), more than 10 000 ha of cultivated soils were gained in the Kvismar Valley. During the period 1886-1939, the reclamation of organic soils in Sweden gave rise to extensive research on the soil fertility status of these soils and, e.g., the need for nitrogen fertilisation. Later, the interest in investigating plant nutrient conditions in organic soils, such as crop demand for fertiliser nitrogen, generally declined. Starting in the 1970s, attention was increasingly paid in Sweden to the risk of enhanced nitrogen leaching in cultivated soils due to nitrogen fertilisation. The County Administrative Board in Örebro observed increased eutrophication of lakes and streams in the province of Närke, including Lake Hjälmarén. During the 1980s, the extent to which this eutrophication could be attributed to the cultivated organic soils and the occurrence of nitrogen fertilisation on these soils was discussed.

In the present report, nitrogen fertilisation trials in 1986-88 on organic soils in the Kvismar Valley are described. The investigations were performed in order to study nitrogen release, crop use of this nitrogen and the demand for nitrogen fertilisation, as well as to describe the risks of nitrogen leaching and the reason for such losses. According to the farmers involved, nitrogen fertilisers were used rather frequently on these soils, about 60 kg N/ha as regards spring cereals, although nitrogen mineralisation generally should have been very large.

Two types of field experiments were carried out in 1986-88: 1) nine annual trials with increasing rates of fertiliser nitrogen to spring barley (series L3-2166) and 2) seven annual observation plots ("0N plots") with spring barley without application of ferti-



liser nitrogen (series L3-2161), Table 1 and Figure 1. The experiments were performed on cultivated fen peat soils with varying depths of the organic soil layer (25-90 cm, Table 1) and varying soil organic matter (SOM) contents (Tables 2, 3 and 6). In the nitrogen fertilisation experiments, having three blocks, nitro chalk (containing ammonium nitrate) was placed at sowing in amounts corresponding to 0, 30, 60, 90 and 120 kg N/ha. The 0N plots consisted of one single area, 10\*20 m in size. Soil mineral nitrogen (ammonium and nitrate nitrogen) was determined in different seasons. For this, soil samples were taken from the 0-30, 30-60 and 60-90 cm soil layers in all experiments. The nitrogen contents of the crops were investigated by sampling the above-ground plant material at dough or yellow ripeness, i.e. when nitrogen uptake was ceasing, within the 0N plots and in the treatment without fertiliser nitrogen (A) in the nitrogen fertilisation trials. The nitrogen uptake, including the estimated nitrogen content of the roots, in these treatments was used to quantify the supply of plant-available soil nitrogen during the growing season. The 0N plots and the treatment without nitrogen application in the fertilisation trials were also used for calculations of nitrogen mineralisation during the growing season using the following formula: *(crop uptake of nitrogen at dough or yellow ripeness) + (soil mineral nitrogen at the same time) – (soil mineral nitrogen in early spring)*, Lindén et al. (1992a). Five annual 0N plots were laid out during the first year (1986). At one of these sites, a new 0N plot was established in 1987 and 1988. Thus the number of 0N plots was seven. The nitrogen fertilisation trials were performed annually on three fields (totally 9 trials), but they were moved somewhat within the site in each year.

In all experiments (n = 16) the supply of plant-available soil nitrogen during the growing season averaged 166 kg N/ha (range: 78-274 kg), Table 9. In mineral soils with normal SOM contents, i.e. about 2-5% SOM (Lindén et al. 1992b and 1993a; Delin, 2005; Engström, 2010), generally about 60-80 kg N/ha is found under Swedish conditions (Lindén, 1987; Lindén et al., 1992a-b). The amounts of plant-available soil nitrogen varied considerably between years (Table 9), obviously due to differences in the weather conditions. Thus, the barley crops in the four 3-year trials in 1986,

1987 and 1988 took up, on average, 195, 230 and 113 kg/ha of plant-available soil nitrogen, respectively.

The amounts of plant-available soil nitrogen could only to some extent ( $R^2 = 0.30$ ) be related to the depth of the organic soil layer (within 0-90 cm), and the effect of varying SOM contents within 0-30 cm on the supply of plant-available nitrogen was quite insignificant ( $R^2 = 0.11$ ). These results could partly be explained by the great variations between years in plant-available nitrogen. Thus it does not seem to be feasible to use determinations of SOM in the topsoil or the depth of the organic soil layer for predicting the demand for fertiliser nitrogen in this type of soils in a certain year.

Soil mineral nitrogen (0-90 cm) annually showed a cyclic time course with 1) the smallest amounts when crop uptake of nitrogen ceased in late summer, 2) large accumulations of mineralised nitrogen in the soil in the autumn, and even in the winter, and 3) the largest storages in spring (April) after a cold winter (1986-87) with a long period of ground frost (Tables 10 and 13, Figure 3). The winter in 1987-88, following an autumn with large precipitation, was mild. The ground was just frozen shortly and superficially in the winter. In this case, soil mineral nitrogen largely decreased from early autumn until early spring.

Despite these variations, considerably more mineral nitrogen was found in the investigated organic soils during all seasons than in mineral soils with normal SOM contents (about 2-5%, see above), obviously due to larger mineralisation capacity. In the organic soils, the residual amount of soil mineral nitrogen averages 53 kg N/ha in late summer in 1986, compared with normally 15-35 kg in mineral soils without nitrogen fertilisation. Until late autumn, the average amount increased to 136 kg, and to 217 kg in April 1987. Following the mild winter in 1987-88, however, only 73 kg N/ha remained in early spring. In Swedish mineral soils with normal SOM contents, however, soil mineral nitrogen (within 0-90 cm) in early spring generally does not exceed 30-50 kg N/ha after cereal crops (Mattsson & Anderson, 1984; Lindén, 1987; Lindén et al., 1992b).

The calculations of nitrogen mineralisation during the growing season seemed to unreliable, frequently showing values of the same size as in mineral soils (Lindén, 1987; Delin 2005; Engström, 2010). Moreover, no relationship between nitrogen mineralisation and plant-available soil nitrogen was found ( $R^2 = 0.01$ ). The reason may be nitrogen losses from the investigated soil profiles in spring and/or during the subsequent growing season, affecting the calculations.

Economically optimum nitrogen fertilisation in the annual trials with increasing rates of fertiliser nitrogen ( $n = 9$ ) was calculated according to prices of fertiliser nitrogen and barley kernel in 1988 and 2013, corresponding to price quotients for fertiliser/kernel = 5.50 and 9.00, respectively (Figure 6). With the price levels of 2013, optimum nitrogen fertilisation averaged 33 kg N/ha (range: 0-120 kg). Very close relationships were obtained between optimum fertilisation and plant-available soil nitrogen during the growing season or soil mineral nitrogen (0-90 cm) in early spring. With the two price levels used (for 1988 and 2013),  $R^2$  values as high as 0.86 and 0.70, respectively, were obtained for plant-available soil nitrogen and  $R^2 = 0.89$  and 0.84, respectively, for soil mineral nitrogen in spring (Figure 7).

As an average of all sites studied in the Kvismar Valley and all years ( $n = 16$ ) as much as 144 kg/ha of soil mineral nitrogen (0-90 cm soil depth) was found in spring (range: 35-300 kg). This generally large supply, the large variation and the close relationship with optimum nitrogen fertilisation indicate that determinations of mineral nitrogen in organic soils in early spring could be used to improve the accuracy of nitrogen fertilisation. However, evaluation in practical agriculture showed that the recommendations were not reliable enough, probably due to nitrogen losses after soil sampling in spring (Figure 3).

For more precise nitrogen recommendations, the use of 0N plots has been proposed in practical agriculture in Sweden. Through crop sampling within 0N plots in the field in question shortly before

maturity and determinations of crop uptake of nitrogen in such plots, average data would be gained after some years that could be used for adjusting nitrogen application in a subsequent year. In the four organic soils studied in 1986-88 in the Kvismar Valley, however, the variation in plant-available soil nitrogen between the years was too large (Tables 9 and 12) for a reliable use of 0N plots as a basis of nitrogen recommendations.

None of the discussed methods of describing soil nitrogen supply to crops seems to be possible to use for fertilisation recommendations on organic soils, as the variations in soil nitrogen conditions and plant growth during the growing season cannot be foreseen. For more reliable estimations of the demand for fertiliser nitrogen, other methods have been proposed that can describe crop nitrogen status during the current growing season. For instance, nitrogen fertilisation rates may be regulated by means of reflectance measurements at the time of fertilisation in annual 0N plots or in already nitrogen-fertilised crop, using e.g. the Yara N sensor. The use of this sensor seems to be rather advantageous under Swedish conditions (Gruvaeus, 2008, Frostgård, 2013). Therefore, the possibility of using this method should also be investigated on organic soils.

The unused amounts of soil mineral nitrogen at dough or yellow ripeness following optimum nitrogen fertilisation generally did not exceed the residual amounts in treatment A (without nitrogen fertilisation) with more than a few kg N/ha. The largest amounts of unused mineral nitrogen were mainly found following clearly over-optimum nitrogen rates on soils with large supplies of plant-available soil nitrogen (Figure 8). The optimum rates of fertiliser nitrogen were somewhat lower at the price level for 2013 than for 1988 (Figures 6 and 8), but with the prices for 2013 the amounts of unused mineral nitrogen decreased only by 1 or 2 kg N/ha, thus with insignificant effects on the risks for increased nitrogen leaching in this respect. On the other hand, the large accumulation of mineralised nitrogen in the organic soils in autumn should have enhanced the risk of nitrogen losses considerably during the winter period. Therefore it should be especially important to counteract this accumulation. For this, catch crops ought to be cultivated.

Moreover, nitrogen mineralisation should not be stimulated through soil tillage during autumn (Stenberg et al., 1999). Instead, tillage should be postponed until spring.

The winters in 1985-86 and 1986-87 were cold (Table 8), with a long period of ground frost in the Kvismar Valley. After these winters very large amounts of overwintering soil mineral nitrogen were found in spring (see above). During the wet autumn of 1987 and the mild winter in 1987-88, mainly with unfrozen soil, large nitrogen losses obviously occurred, as comparatively small amounts of soil mineral nitrogen remained in the following spring. This reduced the supply of plant-available soil nitrogen. Consequently, the optimum demand for fertiliser nitrogen became larger than during both previous years. Thus, more precipitation during cold seasons and milder winters due to climate change may enhance the demand for fertiliser nitrogen on cultivated organic soils in Sweden.

## **Inledning**

I odlade kärrtorvjordar borde kvävemineraliseringen åtminstone under flera årtionden efter uppodlingen ha varit så stor, att tillförsel av gödselkväve inte varit behövlig. Detta kan dock ha förändrats med årtiondena, bl.a. genom bortodling och mullhaltsminskning. Trots dessa omständigheter har enligt förfrågningar i olika län mycket få kvävegödslingsförsök utförts på organogena jordar under senare årtionden. Exempelvis redovisar Mattsson (2006) i en större översikt av fältförsök 1967-2004, med stigande kvävegivor till vårkorn, bara tre sådana på mulljordar. I dessa fall fastställdes ekonomiskt optimala gödselkvävegivor på i medeltal 46 kg N/ha jämfört med i storleksordningen 80 kg N/ha på fastmarksjordar.

I två andra undersökningar av mulljordar (Anderson, 1981; Lindén, 2013) studerades visserligen tillgången på utnyttjbart markkväve för grödorna under växtsäsongen, men detta relaterades inte till det optimala kvävegödslingsbehovet. Anderson (1981) fastställde i en mulljord i södra Uppland så mycket som 300 kg mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) per ha inom 0-120 cm markdjup tidigt på våren, jämfört med 45 kg N/ha i en lerjord i närheten. Grödan (vårkorn) utnyttjade ca 150 kg N/ha som härstammade från jorden. Lindén (2013) fann likaså närmare 300 kg mineralkväve inom 90 cm djup under vårarna 1987 och 1988 i en odlad kärrtorvjord i nordvästra Uppland. En korngröda 1987 utnyttjade där 195 kg jordkväve per ha. En potatisgröda 1988 tog dock bara upp 100 kg jordkväve per ha under växtperioden.

De sistnämnda undersökningarna visar att tillgången på utnyttjbart jordkväve för grödorna på odlade organogena jordar givetvis kan vara betydande men antyder också att mängderna kan variera påtagligt från fält till fält och från år till år. Detta påverkar ju kvävegödslingsbehovet. I föreliggande rapport redovisas kvävegödslingsförsök på mulljordar i Kvismardalen 1986-88, som bl.a. belyste hur den optimala kvävegödslingen växlade med hänsyn till årliga variationer i tillgången på utnyttjbart jordkväve under växtsäsongen och mineralkväve i marken på våren. Utnyttjbart jordkväve och mineralkväve i jorden undersöktes även inom observationsförsök utan kvävegödsling (s.k. 0N-rutor).

Försöksvärdarna på gårdarna i fråga angav, att de brukade gödsla med i storleksordningen 60 kg N/ha till vårsäd på organogen jord. Länsstyrelsen i Örebro län hade tidigt registrerat eutrofiering av sjöar och vattendrag i området (bl.a. Hjälmarén), där en orsak ansågs kunna vara kväveläckage från de odlade mulljordarna i bl.a. Kvismardalen. Det är dock rimligt att anta, att den stora kvävefrigörelsen och de därigenom stora mineralkväveförråden i jordar som dessa mest bidragit till kväveutlakningen. Mängderna mineralkväve inom 0-90 cm djup undersöktes därför under olika årstider för att belysa utlakningsriskerna, med och utan kvävegödsling.

### **Bakgrund: uppodlingen av mulljordarna i Kvismardalen**

Under 1800-talet och in på 1900-talet nyodlades åkermark i mycket stor omfattning här i landet. Sålunda ökade åkerarealen från 0,8-0,9 miljoner hektar år 1800 (Jansson, 2011; Runefeldt, 2008) till ungefär 3,0 miljoner hektar år 1866 och till närmare 3,8 miljoner hektar omkring 1920, då den brukade åkerarealen nådde sin största omfattning (Jordbruksverket, 2011a; Jordbruksverket, 2011b).

Den uppodling som ägde rum från och med 1870-talet skedde huvudsakligen på sjöbottnar samt på myr- och mossmark (Runefeldt, 2008). Nästan 2500 av Sveriges omkring 100 000 sjöar påverkades härvid av sänkning eller torrläggning (Lennqvist, 2008). Den största sjösänkningen berörde Mosjön, Hjälmarén och Kvismarén i Närke, som för de båda senare sjöarnas del påbörjades 1878 och avslutades 1887-88. Det näst största sjösänkingsprojektet omfattade Tämnaren i nordvästra Uppland (Lennqvist, 2008). Vid 1900-talets början fanns ca 600 000 ha uppodlad myrmark i Sverige (Runefeldt, 2008; Morell, 2011). Hjertstedt (1946) uppskattade den odlade torvmarksarealen till 705 000 ha år 1945, varefter den minskade.

För uppodlingen av de organogena åkerjordarna i Kvismardalen i Närke sänktes Hjälmarén med omkring 1,3 m. Nära 19 000 ha ”förbättrades” härigenom (Lennqvist, 2007 och 2008). Den övervägande delen av denna areal omvandlades från våtmark till åker-

mark. Enligt von Horn (1982) vanns betydligt mer än 10 000 ha åkermark. Följande beskrivning av torrläggningen och uppodlingen i Kvismardalen är hämtad från Lennqvist (2008), där inget annat nämns:

Omkring 1850 framfördes ett första förslag till sänkning av Hjäl-maren och Kvismaren, som dock avslogs av konungen. Hjäl-maren ansågs nämligen viktig ur kommunikationssynpunkt, eftersom järnvägar ännu inte kommit till stånd. År 1864 bildades emellertid Hjälmarens och Kvismarens Sjösänkingsbolag, som fick tillstånd att starta planeringsprocessen. Vid en bolagsstämma 1877 meddelades att konungen godkänt arbetsplanerna och att riksdagen hade bifallit en proposition om statslån på två miljoner kronor. År 1878 påbörjades som antytts sänkingsarbetena. Segelleder och hamnar började byggas om, och grävningar kom igång vid Hjälma-rens utlopp. Genom hela Kvismardalen grävdes en rak, ett par mil lång kanal (se omslagsbilden). Själva sjösänkingsarbetet blev färdigt 1887. Då hade medelvattennivån i Hjäl-maren sänkts med 1,3 m. Kvismaren sänktes med 1,5 m och torrlades närmast i sin helhet. Projektet hade kostat ca 4 miljoner kronor i dåtida penningvärde, vilket var dubbelt så mycket som beräknat. Detta försämrade sänk-ningsföretagets och markägarnas ekonomi.

De torrlagda arealerna togs i bruk närmast omgående. Sålunda näs-tan fördubblades åkerarealen i Kvismardalen på några år, men viss återstående uppodling fortgick även senare och hade ännu inte upphört vid 1930-talets slut. Redan efter sekelskiftet 1900 började emellertid problem uppkomma genom ökade översvämningar på de uppodlade markerna. Detta berodde bl.a. på ökad vattenströmning genom området till följd av omfattande utdikningar uppströms. Härtill uppkom marksänkning på de organogena jordarna, vilken enligt Lennqvist (2008) uppgick till ungefär en centimeter per år.

Omkring 1950 hade det torrlagda området sjunkit med i medeltal en meter. Enligt von Horn (1982) plöjdes till slut täckdik-es-systemen helt upp, varvid tegelrör hamnade på markytan. Vidare ökade behovet av bättre torrläggning även genom mekaniseringen av jordbruket och införandet av tyngre maskiner.



Stora översvämningar på vårarna 1944, 1951 och 1959 visade att problemen var akuta (Lennqvist, 2007). En utredning som för första gången omfattade hela avrinningsområdet sett som ett sammanhängande vattensystem från Mosjön till nedre Kvismardalen presenterades hösten 1959. Lösningen var en breddning av Kvismare Kanal och invallningar av denna, vilket egentligen skulle bekostas lokalt. Utredningens grundhållning var emellertid, att översvämningarna i Kvismardalen var ett samhällsproblem som måste lösas med samhällets hjälp. Frågan omformulerades från ett översvämningssammanhang till en möjlighet till regional utveckling och modernt, rationellt jordbruk. Med kombinationen av dels torrläggning som en möjlighet till omarrondering och rationalisering av jordbruket samt dels översvämningarna som hot mot regional utveckling övertygades Jordbruksdepartementet 1962. Riksdagen beslutade då om statsbidrag till torrläggningen med villkoret att gamla sjöbottenområden i f.d. Kvismaren skulle avsättas för naturvårdsintressen (Lennqvist, 2007).

För att komma tillrätta med översvämningarna blev således lösningen att bredda och fördjupa Kvismare Kanal och att försäkra den med vallar. Under arbetet skapades 13 stora invallningsområden kring kanalen med strategiskt placerade pumphus (von Horn, 1982). Vidare rensades och fördjupades Täljeån, som var det ursprungliga större vattendraget genom området. Arbetena påbörjades under slutet av 1960-talet och var färdiga 1976. Genom de olika åtgärderna återvanns brukbarhet på en hel del av åkerjorden (von Horn, 1982).

De delar av Kvismaren som fanns kvar efter sänkningen hade till slut vuxit igen med vass. Frågan om att restaurera en del av Kvismaren blev som antytts aktuell, bl.a. genom allmänhetens tilltagande intresse för fågellivet i bl.a. våtmarksområden. Restaureringen började 1980 med att en del av Västra Kvismaren invallades och vattendränktes, men de båda rekonstruerade sjöarna Västra och Östra Kvismaren (se omslagsbilden) täcker bara en mindre del av det tidigare dränerade området. Dessutom har stora öppna marker återskapats genom röjning. Bärande tankar i restaurerings-

arbetet har varit att gynna biologisk mångfald och att betrakta våtmarkerna som växtnäringsfällor för minskning av eutrofieringen.

## Material och metoder

### Fältförsök

På mulljordar i Kvismardalen lades två typer av fältförsök ut under åren 1986-88 (figur 1) för att belysa tillgången på dels utnyttjbart markkväve för grödorna under växtsäsongen och dels mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) inom rotzonen under olika årstider samt beskriva hur dessa faktorer påverkade skördenivån, kvävegödslingsbehovet och risken för kväveförluster:

#### *1. Ettåriga försök med stigande mängder mineralgödselkväve till vårkorn (serie L3-2166):*

- Led A. Utan mineralgödselkväve
- B. 30 kg N/ha i kalkammonsalpeter, radgödsling med kombisåmaskin
- C. 60 kg N/ha i kalkammonsalpeter, radgödsling med kombisåmaskin
- D. 90 kg N/ha i kalkammonsalpeter, radgödsling med kombisåmaskin
- E. 120 kg N/ha i kalkammonsalpeter, radgödsling med kombisåmaskin

Försöksleden lades ut i rutor om ca 50 m<sup>2</sup>. Försöken innehöll tre block, med slumpmässig fördelning av leden inom dessa. Varje försök upptog en total yta på ca 15\*45 m. De användes för att belysa årstidsvisa variationer i mängderna mineralkväve (0-90 cm djup) och markens leverans av kväve till grödan (led A) samt för att fastställa den ekonomiskt optimala gödselkvävemängden (A-E), se nedan. Tre sådana fältförsök lades ut årligen (1986-88) på mulljordsfält tillhörande tre olika gårdar (Nynäs, Ytterby och Bärsta) i Kvismardalen (figur 1). Försöksplatsernas koordinater anges nedan i avsnittet "Beskrivning av jordarna på undersökningsplatserna". En och samma fältdel med tydligt ensartad jord användes under alla år för att så säkert som möjligt fastställa årliga variationer i bl.a.



Figur 1. Karta med fältförsökens läge i Kvismardalen i Närke. De röda siffrorna anger de gårdar där försöken lades ut: 1 = Nynäs, 2 = Bärsta, 3 = Ytterby, 4 = Mörby och 5 = Segersjö. De blå områdena vid f.d. Västra och Östra Kvismaren avser invallade och restaurerade delar av dessa sjöar. I samband med sjösänkningen 1878-87 och utdikningen av trakten grävdes Kvismar Kanal, här markerad som en blå heldragen linje väster och öster om Kvismarsjöarna.

*Figure 1. Map showing the positions of the field experiments in the Kvismar Valley. Red figures indicate the farms where the trials were performed: 1 = Nynäs, 2 = Bärsta, 3 = Ytterby, 4 = Mörby and 5 = Segersjö. The blue-coloured areas at the lakes Västra and Östra Kvismaren indicate restored parts of the lakes. The blue lines east and west of these lakes show the Kvismar Canal which was built in 1878-87 in order to improve the drainage of the valley.*

markkvävetillgång och optimalt gödselkvävebehov. För att undgå verkningar av föregående års försöksgödsling flyttades dock varje försök år 2 och 3 till en ny yta alldeles intill tidigare plats, med beaktande av att marken hade så likartade egenskaper som möjligt. Ingen stallgödsel tillfördes under förfruktsåret (1985) eller senare. Försöken grundgödslades med fosfor och kalium m.fl. ämnen i de givor som gården använde på fältdelen ifråga. Kemiska bekämpningar utfördes enligt gårdens rutiner.

## 2. *Ettåriga försök ("0N-rutor") med vårkorn (eller annan vårsäd) men utan tillförsel av mineralgödselkväve till grödan (serie L3-2161)*

0N-rutorna utgjordes av ett enda, icke kvävegödslat led (10\*20 m), som huvudsakligen användes till att bestämma mineralkväve inom 0-90 cm djup och markens leverans av kväve till grödan. Ingen upprepning av behandlingen gjordes, utan platserna betraktades bara som en form av observationsytor för "inventering" av grödornas jordkvävetillgång. Inom 0N-rutor av detta slag kan grödans kväveupptag betraktas som den mängd utnyttjbart kväve som marken levererat genom främst kvävemineralisering och under inverkan av förekommande kväveförluster. Samma gäller kväveupptaget i led A i fältförsöken L3-2166 med stigande kvävegivor. 0N-rutorna grundgödslades med fosfor och kalium m.fl. ämnen i de mängder som gården tillförde inom fältdelen ifråga, och ytorna sköttes även i övrigt enligt gårdens rutiner. Ingen stallgödsel hade tillförts under förfruktsåret (1985) eller senare.

År 1986 anlades fem 0N-rutor, vilka var belägna på egendomarna Nynäs, Ytterby, Bärsta, Mörby och Segersjö (figur 1), men av ekonomiska skäl kunde bara platsen vid Bärsta behållas 1987 och 1988, med samma position alla år. 0N-rutornas koordinater anges i avsnittet "Beskrivning av jordarna" nedan.

### Grödor och förfrukter

Under åren 1986-88 odlades vårkorn inom alla försöksytorna med undantag av 0N-rutan på Segersta, där grödan var vårvete (tabell 1). Förfrukterna utgjordes av vårsäd och potatis.

### Provtagning av marken

För bestämning av mängderna mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) i markprofilen (0-90 cm) togs jordprov ut med uppdelning i skikten 0-30 cm (24 borrhstick), 30-60 cm (10-12 stick) och 60-90 cm (10-12 stick) vid olika tidpunkter från våren till senhösten 1986-88. Borrhkärnorna slogs ihop till skiktvisa samlingsprover.

Tabell 1. Förfrukter (1985) och odlade grödor på försöksplatserna under åren 1986-1988 samt ungefärligt djup på det organogena, mörkfärgade jordlagret, ursprungligen kärrtorv (här benämnt mulljordsdjup) inom försöken. *Table 1. Preceding crops (in 1985) and crops cultivated at the trial sites in 1986-88, and approximate depths of the dark-coloured organic soil layer, originally fen peat, within the experimental sites.* Förfruktsår = *preceding year*. Mulljordsdjup = *depth of the dark organic soil layer*. Vårvete = *spring wheat*. Potatis = *potatoes*. Korn = *spring barley*.

Försök <i>Trial</i>	1985 (förfruktsår)	1986	1987	1988	Mulljords- djup (cm)
<i>Kvävegödslingsförsök: Nitrogen fertilisation experiments:</i>					
L3-2166 Nynäs	Vårvete	Korn	Korn	Korn	60-70
L3-2166 Ytterby	Potatis	Korn	Korn	Korn	50
L3-2166 Bärsta 2	Potatis	Korn	Korn	Korn	30
<i>0N-rutor: 0N plots (Observation plots without nitrogen fertilisation):</i>					
L3-2161 Bärsta 1	Potatis	Korn	Korn	Korn	80
L3-2161 Nynäs*	Korn	Korn			90
L3-2161 Ytterby*	Potatis	Korn			25
L3-2161 Mörby*	Vårvete	Korn			20-30
L3-2161 Seger- sjö*	Vårvete	Vårvete			30

\*) 0N-rutorna på Nynäs, Ytterby, Mörby och Segersjö användes bara 1986. *The 0N plots at Nynäs, Ytterby, Mörby and Segersjö were only used in 1986.*

Inom 0N-rutorna (L3-2161) fördelades borrhsticken slumpmässigt inom hela ytan. I kvävegödslingsförsöken (L3-2166) togs sådana samlingsprover ut skiktvis i marken från hela försöksytan tidigt på våren. Därefter utfördes provtagningen ledvis och med nämnda antal borrhstick i varje led. Jordproverna förvarades svalt under fältarbetet, lagrades sedan i kylskåp och homogeniserades i färskt tillstånd dagen därefter. De extraherades med 2 M KCl i två timmar efter invägning av 80 g fältfuktig jord, som tillsattes 200 mL 2 M KCl, dvs. i jord-vätskeförhållandet 1:2,5 (Bremner & Keeney, 1966). Extrakten förvarades sedan vid ca 0°C i några dagar fram till analys. Därvid bestämdes ammonium- och nitratkväve kolorimetriskt med en Technicon Autoanalyser. Analysvärdena räknades om till kilogram per ha skiktvis i marken med beaktande av fastställda volymvikter och aktuella vattenhalter i proverna, tabell 2, 3, och 4.

Tabell 2. Volymvikter ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) i marken på försöksplatserna i Kvismardalen 1986-88.

Table 2. Volume weights ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) in the soil at the experimental sites in the Kvismar Valley in 1986-88. Markdjup = soil depth.

Mark- djup (cm)	L3-2166 Nynäs			L3-2166 Ytterby		
	30.09.86 n = 3	30.09.87 n = 4	01.09.88 n = 4	02.10.86 n = 3	30.9.87 n = 4	05.09.88 n = 4
0-10	0,36±0,04	0,35±0,03	0,33±0,02	0,41±0,02	0,34±0,02	0,36±0,02
10-20	0,37±0,02	0,40±0,04	0,34±0,03	0,43±0,03	0,39±0,04	0,41±0,02
20-30	0,47±0,13	0,43±0,02	0,37±0,04	0,40±0,03	0,38±0,03	0,39±0,04
30-40	0,78±0,01			0,46±0,04		
40-50	0,77±0,01			0,65±0,06		
50-60	0,66±0,03			1,35±0,09		
60-70	0,32±0,01			1,35±0,03		
70-80	0,25±0,02			1,18±0,03		
80-90	0,31±0,02			1,17±0,04		

Mark- djup (cm)	L3-2161 Bärsta 1 (0N-ruta 0N plot)			L3-2166 Bärsta 2		
	30.09.86 n = 3	30.09.87 n = 4	31.08.88 n = 4	30.09.86 n = 3	30.09.87 n = 4	31.08.88 n = 4
0-10	0,35±0,00	0,35±0,03	0,34±0,02	0,46±0,03	0,55±0,02	0,43±0,03
10-20	0,37±0,01	0,38±0,03	0,39±0,02	0,47±0,02	0,57±0,03	0,48±0,01
20-30	0,34±0,02	0,30±0,05	0,35±0,03	0,44±0,01	0,62±0,12	0,46±0,02
30-40	0,18±0,00			0,72±0,40		
40-50	0,17±0,01			0,57±0,30		
50-60	0,18±0,01			0,93±0,02		
60-70	0,21±0,02			0,87±0,02		
70-80	0,34±0,05			0,81±0,01		
80-90	0,48±0,01			0,82±0,01		

Tabell 3. Volymvikter ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) på försöksplatserna. Medeltal för 30-cm-skikt baserade på data i tabell 2 och använda för beräkning av mimeralkväveinnehållet i markprofilerna.

*Table 3. Volume weights ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) at the field trials. Averages of 30-cm layers based on Table 2 and used for the calculation of soil mineral nitrogen in the soil profiles. Som 1986 = as in 1986, 0N-ruta = 0N plot.*

Djup Soil depth (cm)	1986	1987	1988	1986	1987	1988
	<b>L3-2166 Nynäs</b>			<b>L3-2166 Ytterby</b>		
0-30	0,40	0,39	0,35	0,41	0,37	0,39
30-60	0,73	Som 1986		0,82	Som 1986	
60-90	0,29	Som 1986		1,23	Som 1986	
	<b>L3-2161 Bärsta 1 (0N-ruta)</b>			<b>L3-2166 Bärsta 2</b>		
0-30	0,35	0,34	0,36	0,46	0,58	0,46
30-60	0,18	Som 1986		0,74	Som 1986	
60-90	0,34	Som 1986		0,83	Som 1986	

Tabell 4. Volymvikter ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) skiktvis i marken inom 0N-rutorna (L3-2161) vid Nynäs, Ytterby, Segersjö och Mörby år 1986.

*Table 4. Volume weights ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) layerwise in the soil within the 0N plots (L3-2161) at Nynäs, Ytterby, Segersjö and Mörby in 1986.*

0N-ruta 0N plot	Markdjup Soil depth (cm)		
	0-30	30-60	60-90
L3-2161 Nynäs	0,26 ± 0,03	0,22 ± 0,02	0,22 ± 0,02
L3-2161 Ytterby	0,58 ± 0,15	1,31 ± 0,03	1,40 ± 0,39
L3-2161 Segersjö	0,66 ± 0,22	1,41 ± 0,11	1,28 ± 0,02
L3-2161 Mörby	0,52 ± 0,07	1,51 ± 0,02	1,22 ± 0,07

Dessa bestämningar av ammonium- och nitratkväve i jorden utfördes vid olika tidpunkter under året för att belysa mineralkvävet variationer mellan årstider och mellan år, med beaktande av skeenden såsom grödornas kväveupptag, kvävemineralisering under olika årstider och under påverkan av förekommande kväveförluster. Följande generella tidpunkter valdes:

- **Tidigt på våren** (medeldatum för provtagningarna: 20 april), då jorden börjat torka upp och det mesta av vårens överskottsvatten avdränerats. Provtagning vid denna tidpunkt beskriver den andel av

mineralkvävet i marken som övervintrat inom rotzonen och som sedan kan bidra till grödornas kväveförsörjning.

- **Vid stråsädens uppkomst** i försöken (medeldatum för provtagningarna: 29 maj), dock före begynnande kväveupptagning. Provtagning vid uppkomsten beskriver förekommande kvävetillskott och -förluster beroende på vädret under tiden efter den första provtagningen.
- **Vid avslutad kväveupptagning**, i deg- eller gulmognadsstadierna hos försöksgrödorna (medeldatum för provtagningarna: 23 aug.). Analyserna beskriver den återstående, outnyttjade mängden mineralkväve i markprofilen när kväveupptagningen upphör och under inverkan av förekommande kvävegödsling.
- **I månadsskiftet september-oktober** (medeldatum för provtagningarna: 2 okt.). Provtagningarna belyser tillskott av mineraliserat kväve efter det att grödornas kväveupptagning upphört. På hösten 1987 gjordes i detta syfte en extra jordprovtagning den 27-28 oktober, innan höstens utlakningsperiod förväntades börja på allvar.
- **I månadsskiftet november-december** (medeldatum för provtagningarna: 4 dec.). Vid denna tidpunkt torde höstmineraliseringen ha börjat avklinga och vinterhalvårets kväveförluster ha börjat göra sig gällande. Mineralkväveförrådets tillväxt och storlek under hösten kan anses belysa höstmineraliseringens inverkan på kväveutlakningsrisken.

Volymvikterna i jorden bestämdes genom provtagning i 10-cm-skikt till 90 cm djup med uttagning av tre 10 cm höga jordproppar i ostörd lagring per skikt med nedslagningscylindrar av stål (Andersson, 1955). År 1986 ägde sådan provtagning rum i månadsskiftet september-oktober, då det uppskattades att jorden hade satt sig efter vårens bearbetning. Provtagningen inom 0-10, 10-20 och 20-30 cm djup upprepades i oktober 1987 och i månadsskiftet september-oktober 1988. Härvid togs fyra jordproppar ut inom varje 10-cm-skikt. Synliga körspår undveks vid alla dessa provtagningar.



De skiktvisa jordprover som tagits ut för mineralkvävebestämning på vårarna, med uppdelning på skikten 0-30, 30-60 och 60-90 cm djup, användes även för bestämning av pH(H<sub>2</sub>O) ned till 90 cm samt inom 0-30 cm djup även P-AL, K-AL och Mg-AL. Jordartsbestämning utfördes också med sådana jordprover genom mekanisk analys vid dåvarande Provcentralen vid SLU i Uppsala, med bestämning av fraktionerna ler, mjäla+finmo och grovmo+sand. Mullhalterna fastställdes dels genom bestämning av glödningsförlust och dels genom analys av totalkol i jorden, med det traditionella antagandet att kolhalten utgjorde 58 % av markens organiska substans (mullhalt = C \*1,724). I samband med de skiktvisa jordprovtagningarna gjordes visuella bedömningar av markprofilernas egenskaper (se nedan). Vidare bestämdes de organogena jordarnas humifieringsgrad enligt von Post (von Post, 1922; Osvald, 1937). Dessa analyser utfördes vid dåvarande Statens Lantbrukskemiska Laboratorium i Umeå.

#### Provtagning av grödorna samt skördebestämning

Korngrödan på försöksplatserna (vid Segersjö dock vårvete) provtogs vid degmognad-gulmognad på sensommaren i icke kvävegödslade led, dvs. dels i 0N-rutorna (L3-2161) och dels i led A i kvävegödslingsförsöken (L3-2166). Detta skedde samtidigt med motsvarande kväveprofilprovtagningar i marken. Medeldatum för grödprovtagningarna var 24 augusti 1986, 6 september 1987 och 9 augusti 1988. Beroende på grödornas utveckling under de olika somrarna kom därför den uppskattade genomsnittstiden för kväveupptagningens avslutning att variera med omkring en månad. I 0N-rutorna gjordes provtagningen inom tre mindre slumpmässigt valda delområden. Inom vart och ett av dessa klipptes plantorna av vid markytan inom åtta såradssträckor med 0,50 m längd. Växtmaterialet därifrån slogs ihop till ett prov för delområdet ifråga (= totalt tre samlingsprover per 0N-ruta). I led A i kvävegödslingsförsöken klipptes på motsvarande sätt åtta såradssträckor med 0,50 m längd inom var och en av de tre rutorna i ledet. Detta skedde i de båda ytterändarna av varje ruta med beaktande av att den centrala delen förblev opåverkad för senare skördebestämning med skördetröska. Med hjälp av såradsavståndet beräknades den totalt provtagna ytans

storlek. Med gröda från sammanlagt  $8 \cdot 3 = 24$  såradssträckor (0,50 m) och ett radavstånd på 12,5 cm i de flesta försök provtogs i dessa fall en total yta om  $1,50 \text{ m}^2$  per 0N-ruta eller försöksled. Efter torkning skildes halmen (inkl. agnar) från kärnan i vart och ett av de tre delproverna, varefter delarna vägdes och innehållet av totalkväve bestämdes genom reguljär Kjeldahl-analys vid Avdelningen för växtnäringslära. För beräkning av kornets samlade kväveinnehåll vid degmognad-gulmognad antogs, att totalkvävemängden i rötterna utgjorde 20 % av innehållet i hela grödan (Hansson et al., 1987). I de fall då kväveinnehållet i de ovanjordiska växtdelarna understeg  $100 \text{ kg N/ha}$  antogs däremot, att kvävet i rötterna motsvarade 25 % av mängden i hela grödan (Hansson et al., 1987). Det beräknade kväveinnehållet i hela grödan kan sägas motsvara den mängd jordkväve som kunnat utnyttjas av växtligheten under växtsäsongen, eftersom inget gödselkväve tillförts (Lindén et al., 1992a).

Kväveprofilprovtagningarna på våren samt vid deg- eller gulmognad utnyttjades tillsammans med grödprovtagningarna för beräkning av kvävemineringsstillskottet från marken (synbarlig nettomineralisering av kväve) under växtsäsongen enligt följande formel (Lindén et al., 1992a; Delin, 2005):

$$N_{\text{net}} = N_{\text{växt}} + N_{\text{md}} - N_{\text{mv}}$$

där  $N_{\text{net}}$  = Beräknad nettomineralisering av kväve under växtperioden (från vår till deg- eller gulmognad)

$N_{\text{växt}}$  = Kväve i grödan vid deg- eller gulmognad (= utnyttjbart jordkväve under växtsäsongen)

$N_{\text{md}}$  = Mineralkväve i marken (0-90 cm) vid deg- eller gulmognad

$N_{\text{mv}}$  = Mineralkväve i marken (0-90 cm) på våren

Den beräknade kvävefrigörelsen kan anses utgöra ett netto med avseende på kvävemineringsstillskott minus förekommande kväveförluster (utlakning, denitrifikation och förluster av kväve från grödan). Kvävetillskott genom atmosfäriskt nedfall har inte beaktats. Vid fullmognad bestämdes kärnskörden inom 0N-rutorna genom skördetröskning med vanligen tre tröskdrag per ruta. Kvävegödslingsförsöken skördetröskades rutvis. Inom 0N-rutorna och i kvävegödslingsförsöken omfattade varje tröskdrag  $25 \text{ m}^2$

1986, ca 17 m<sup>2</sup> 1987 och omkring 22 m<sup>2</sup> 1988. Försöksskörden ägde under dessa år i medeltal rum den 20 september, 23 september respektive den 21 augusti. Kärnprover om 1000 g togs ut ledvis för spannmålsanalys med bestämning av bl.a. vattenhalt, renvikt och totalkvävehalt (kjeldahl-N).

## **Resultat och diskussion**

### Beskrivning av jordarna

Försöksplatsernas läge anges nedan med koordinater enligt systemet WGS 84. Jordartssammansättningen på platserna med försöken L3-2166 Nynäs, Ytterby och Bärsta 2 samt inom 0N-rutan Bärsta 1 (L3-2161) framgår av tabell 5a och b. De markkemiska egenskaperna redovisas i tabell 6. Inom de ettåriga 0N-rutorna (L3-2161) vid Nynäs, Ytterby, Mörby och Segersjö, vilka bara utnyttjades 1986, gjordes inga detaljerade undersökningar av markförhållandena på 30-90 cm djup, förutom bestämningar av mineralkväve och volymvikt. För dessa platser anges jordartssammansättningen och de markkemiska egenskaperna inom 0-30 cm djup i tabell 7.

De organogena jordarnas förmultningsgrad har angetts enligt von Posts (1922) humifieringsskala (H1-10). De förmultningsgrader som registrerats på undersökningsplatserna inskränker sig till H8 och H9 (tabell 5a-b och 7). Beteckningen H8 avser enligt von Post ”väl humifierad eller starkt dyhaltig torv med mycket otydligt synbar växtstruktur”. H9 står för ”så gott som fullständigt humifierad eller nästan helt dyartad torv, i vilken nästan ingen växtstruktur framträder”. Matjorden på samtliga nio försöksplatser utgjordes av väl förmultnad kärrtorv (kärrtorvmulljord), med en humifieringsgrad i allmänhet motsvarande H9. Det organogena jordlagrets djup varierade betydligt (tabell 5a-b, 6 och 7).

Tabell 5a. Jordartssammansättning och humifieringsgrad (von Post, 1922) i jorden i kvävegödslingsförsöken (L3-2166) vid Nynäs och Ytterby. Jordarterna uttrycks här både som mekanisk sammansättning (% av jordens torrsbstans) och som textuell sammansättning (inom parentes, procent av mineralsubstansen). Beräkningen av mullhalt baseras på glödgningsförlust.

*Table 5a. Soil composition and degree of decomposition (humification, von Post, 1922) in the soil in the fertilisation trials (L3-2166) at Nynäs and Ytterby. Soil composition is expressed as percentage of total soil DM and as textural composition (within brackets, % of the mineral soil material. Soil organic matter (SOM) data refer to determinations of loss on ignition. Ler = clay, Mjåla+finmo = silt+fine sand, Grovmo+sand = sand, glödgningsförlust = loss on ignition, Kornstorleksfördelning = particle size distribution.*

Markskikt <i>Soil layer</i> (cm)	Jordartssammansättning (% av torrsbstansen) <i>Soil composition (% of DM)</i>					Jordartsbeteckning <i>Swedish designation of soil types</i>	Humifieringsgrad <i>Degree of decomposition</i>
	Ler	Mjåla + finmo	Grovmo + sand	Glödgningsförlust	Mull <i>SOM</i>		
	<i>Kornstorleksfördelning, mm</i>						
	<0,002	0,002- 0,06	0,06-2				
<b><i>L3-2166 Nynäs</i></b>							
0-30	6,7 (19,3)	15,0 (43,1)	13,0 (37,6)	65,3	56,1	kt M	H9
30-60	10,1 (16,5)	38,5 (62,7)	12,8 (20,8)	38,6	33,3	l mj kt M	H8
60-90	5,3 (10,2)	11,8 (22,6)	35,0 (67,2)	47,9	41,3	kt M (l G)	H8
<b><i>L3-2166 Ytterby</i></b>							
0-30	10,7 (44,6)	9,6 (40,0)	3,7 (15,4)	76,1	73,9	kt M	H9
30-60	13,4 (15,6)	62,0 (71,9)	10,8 (12,5)	13,8	11,4	l G (mr LL)	
60-90	18,4 (19,0)	75,2 (77,7)	3,2 (3,3)	3,2	1,8	g L (mf LL)	

Tabell 5b. Jordartssammansättning och humifieringsgrad (von Post, 1922) i jorden inom 0N-rutan Bärsta 1 (L3-2161) och i kvävegödslingsförsöket Bärsta 2 (L3-2166). Jordarterna uttrycks här både som mekanisk sammansättning (% av jordens torrs substans) och som textuell sammansättning (inom parentes, procent av mineralsubstansen). Beräkningen av mullhalt baseras på glödgningsförlust.

*Table 5b. Soil composition and degree of decomposition (humification, von Post, 1922) in the soil in the 0N plot at Bärsta 1 (L3-2161) and in the fertilisation trial at Bärsta 2 (L3-2166). Soil composition is expressed as percentage of total soil DM and as textural composition (within brackets, % of the mineral soil material). Soil organic matter (SOM) data refer to determinations of loss on ignition. Ler = clay, Mjåla+finmo = silt+fine sand, Grovmo+sand = sand, glödgningsförlust = loss on ignition, Kornstorleksfördelning = particle size distribution.*

Markskikt <i>Soil layer</i> (cm)	Jordartssammansättning (% av torrs substansen) <i>Soil composition (% of DM)</i>					Jordartsbeteckning <i>Swedish designation of soil types</i>	Humifieringsgrad <i>Degree of decomposition</i>
	Ler	Mjåla + finmo	Grovmo + sand	Glödgningsförlust	Mull <i>SOM</i>		
	<i>Kornstorleksfördelning, mm</i>						
	<0,002	0,002- 0,06	0,06-2				
<b><i>L3-2161 Bärsta 1 (0N-ruta, 0N plot)</i></b>							
0-30	9,0 (45,4)	8,1 (40,9)	2,7 (13,6)	80,1	78,0	kt M	H9
30-60	13,5 (49,6)	11,8 (43,4)	1,9 (7,0)	72,8	70,6	kt M	H8
60-90	17,7 (22,1)	49,4 (61,6)	13,2 (16,4)	19,8	16,7	1 G (mmr LL)	H9
<b><i>L3-2166 Bärsta 2</i></b>							
0-30	20,0 (56,7)	10,5 (20,8)	4,8 (13,6)	64,6	61,7	kt M	H9
30-60	24,1 (30,6)	47,8 (60,8)	6,8 (8,7)	21,4	17,9	1 G (mmr ML)	
60-90	23,9 (25,3)	53,1 (56,3)	17,4 (18,4)	5,6	3,8	1 G (mmh ML)	

Tabell 6. Markkemiska egenskaper på platserna med kvävegödslingsförsök (L3-1666) vid Nynäs, Ytterby och Bärsta 2 samt inom 0N-rutan (L3-2161) vid Bärsta 1. Mullhalt har här beräknats på basis av halten totalkol (mullhalt = C\*1,724). P-AL- och K-AL-värdena inom parentes avser omräkning med hänsyn till faktisk volymvikt (se texten).

*Table 6. Soil chemical properties within the sites with the nitrogen fertilisation experiments (L3-2166) at Nynäs, Ytterby and Bärsta 2 and within the 0N plot (L3-2161) at Bärsta 1. Soil organic matter (SOM) is here calculated from determinations of total carbon (SOM = C\*1.724). The P-AL and K-AL values within brackets refer to recalculation with consideration of the actual volume weight. Markskikt = soil layer, mg per 100 g lufttorr jord = mg per 100 g of air-dry soil, % av ts = % of DM, ton/ha = tonnes/ha.*

Markskikt, cm	pH (H <sub>2</sub> O)	mg per 100 g lufttorr jord			Total-C % av ts	Total-N % av ts	Total-N ton/ha	C/N-kvot C/N ratio	Mullhalt SOM, %
		P-AL	K-AL	Mg-AL					
<b>L3-2166 Nynäs</b>									
0-30	5,6	10,3 (3,2)	17,9 (5,6)	44	43,6	2,69	31,5	16,2	75,2
30-60	5,7				22,4	1,44	31,4	15,6	38,6
60-90	5,3				27,2	1,53	13,3	17,8	46,9
<b>L3-2166 Ytterby</b>									
0-30	5,0	9,9 (3,1)	24,9 (7,8)	39	46,2	2,61	30,5	17,7	79,7
30-60	4,8				6,4	0,40	9,9	15,8	10,9
60-90	4,7				0,8	0,05	1,9	15,0	1,3
<b>L3-2161 Bärsta 1 (0N-ruta)</b>									
0-30	5,6	17,3 (4,8)	12,1 (3,4)	70	47,6	2,76	28,9	17,3	82,0
30-60	5,5				47,8	2,62	14,1	18,3	82,4
60-90	4,9				10,7	0,76	7,8	14,1	18,5
<b>L3-2166 Bärsta 2</b>									
0-30	5,8	8,8 (3,2)	20,1 (7,4)	47	38,7	2,42	33,5	16,0	66,8
30-60	4,8				11,2	0,74	16,4	15,1	19,3
60-90	3,9				1,9	0,17	4,2	11,4	3,3

Tabell 7. Markegenskaper inom 30 cm djup i 0N-rutorna (L3-2161) vid Nynäs, Ytterby, Mörby och Segersjö. Lerhalten uttrycks här både som mekanisk sammansättning (% av jordens torrs substans) och som textuell sammansättning (inom parentes, i procent av mineralsubstansen). Beräkningarna av mullhalt baseras här på glödgningsförlust. P-AL- och K-AL-värdena inom parentes avser omräkning med hänsyn till faktisk volymvikt (se texten).

*Table 7. Soil characteristics within 30 cm soil depth in the 0N plots (L3-2161) at Nynäs, Ytterby, Mörby and Segersjö. Clay content is given as percentage of total soil DM and as textural composition (within brackets, % of the mineral soil material. Soil organic matter (SOM) data refer to determinations of loss on ignition. The P-AL and K-AL values within brackets refer to recalculation with consideration of the actual volume weight. Glödgningsförlust = loss on ignition, % av ts = % of DM, Lerhalt = clay content, Jordartsbeteckning = Swedish designation of soil types, Humifieringsgrad = degree of decomposition (humification) according to the von Post method.*

pH (H <sub>2</sub> O)	mg/100 g luft torr jord (mg/100, air-dry soil)			Glödgnings- förlust, % av ts	Mull, SOM, % av ts	Ler- halt, %	Jord- artsbe- teck- ning	Humi- fie- rings- grad
	P-AL	K- AL	Mg- AL					
<b>L3-2161 Nynäs</b>								
5,4	16,4 (3,4)	20,0 (4,2)	51	72,5	62,1	8,1 (29,6)	kt M	H8-9
<b>L3-2161 Ytterby</b>								
5,6	9,3 (4,3)	25,4 (11,8)	45	52,1	44,9	3,5 (7,4)	kt M	H9
<b>L3-2161 Mörby</b>								
5,2	8,1 (3,4)	14,6 (6,1)	37	52,7	45,3	8,9 (18,8)	kt M	H9
<b>L3-2161 Segersjö</b>								
5,8	8,0 (3,4)	39,2 (20,7)	46	38,7	33,3	11,3 (18,4)	sa l kt M	H9

**L3-2166 Nynäs** (N 59° 10.34<sup>1</sup> - N 59° 10.23, E 15° 20.81<sup>1</sup> - E 15° 20.58<sup>1</sup>)  
Försöket flyttades 1988 omkring 100 m mot SV, varför två olika lägen anges. De senare koordinaterna avser försöksytan efter flyttningen. Platsen var belägen drygt 3 km norr om Sköllersta kyrka (figur 1). I matjorden och i den översta alven (0-30 cm djup) utgjordes jorden av kärrtorvmull (kt M), som var starkt humifierad (humifieringsgrad H9), tabell 5a. På 30-60 cm djup innehöll marken också kt M (H8) men med inslag av lergyttja på ca 30-45 cm djup. I skiktet 60-90 cm fanns likaså kt M (H8) med inslag av ler-

gyttja. Innehållet av mineraljord i skiktet 30-60 cm medförde att mullhalten i medeltal blev lägre (1 mj mulljord med ca 33 % organiskt material, tabell 5a) och volymvikten högre (i medeltal 0,73 kg/dm<sup>3</sup>) än i de över- och underliggande lagren (tabell 2 och 3). Orsaken till det större innehållet av mineraljord och därmed lägre mullhalt i detta skikt kan möjligen förklaras av avlagringar av jord i vatten som svämmat ut från en bäck e.d. i ett tidigare utvecklingskede. Den troliga förekomsten av ett sådant slingrande, mindre vattendrag en gång i tiden framgår av kartor sammansatta av flygbilder, som återfinns på [www.eniro.se](http://www.eniro.se).

**L3-2166 Ytterby** (N 59° 11.07<sup>1</sup>, E 15° 28.89<sup>1</sup>)

Platsen var belägen drygt 3 km SSV Mellösa kyrka (figur 1). Inom 0-30 cm djup utgjordes marken av kt M (H9), tabell 5a. Mullhalten uppgick till 74 % enligt bestämning baserad på glödgningsförlust. Även på 30-60 cm djup innehöll jorden överst kt M (H8) (ej beaktat i tabell 5a). På närmare 50 cm djup övergick dock kärrtorvjorden i lergyttja med sand- och moinslag. Skiktet 60-90 cm bestod av mullfattig gyttjelera. Övergången till lergyttja och gyttjelera avspeglas av stigande volymvikter med tilltagande markdjup (tabell 2 och 3). I skikten 30-60 och 60-90 cm var pH-värdena låga (pH = 4,8 resp. 4,7, tabell 6), vilket kan ha att göra med gyttjeinslaget i jorden (Berglund, 1996a och b).

**L3-2161 Bärsta 1, 0N-ruta** (N 59° 12.19<sup>1</sup>, E 15° 25.01<sup>1</sup>)

Denna 0N-ruta var belägen omkring 2 km NO Norrbyås. Inom 0-30 cm djup utgjordes jorden även på denna plats av kt M (övervägande H9, tabell 5b), som under ca 20 cm dock var något mindre förmultnad. Mullhalten uppgick till 78 % enligt bestämning baserad på glödgningsförlust. På 30-60 cm djup fanns likaså kt M, som delvis var något mindre förmultnad (H8). Därunder fortsatte det organogena jordlagret (kt M, delvis H9 men även mindre förmultnad torv) nedåt i marken till ett djup av ca 70 cm, där lergyttja (mmr LL) tog vid. På grund av de höga halterna av organiskt material blev volymvikterna mycket låga ned till ca 70 cm djup (omkring 0,20 kg/dm<sup>3</sup>), varunder en mindre ökning kunde märkas (tabell 2). På 60-90 cm djup var pH-värdet lågt (pH 4,9, tabell 6).



**L3-2166 Bärsta 2** (N 59° 12.35<sup>1</sup>, E 15° 25.02<sup>1</sup>)

Försöksplatsen var belägen ca 2 km NO Norrbyås. Inom 0-30 cm djup fanns kt M (H9) med en mullhalt på 62 % (tabell 5b). De underliggande jordlagren (30-90 cm djup) innehöll lergyttja med avtagande mullhalter nedåt i markprofilen (ca 4 % på 60-90 cm djup). Inom 30-50 cm djup fanns lodräta sprickor i lergyttjan, vilka innehöll mulljord. Detta torde bero att organogen jord från ovanliggande jordlager rasat ned i sprickorna (jmf. egenskaperna i alven på en lergyttja vid Finnsholmen i Uppland, Lindén, 2013). Mullhalterna var lägre än inom den närbelägna 0N-rutan Bärsta 1, vilket avspeglade sig som högre volymvikter (i medeltal 0,50, 0,74 och 0,83 kg/dm<sup>3</sup> inom 0-30, 30-60 och 60-90 cm djup, tabell 2 och 3. På 60-90 cm djup var pH-värdet så lågt som 3,9 (tabell 6), vilket torde sammanhånga med förekomsten av lergyttja på denna nivå.

**L3-2161 Nynäs, 0N-ruta** (N 59° 10.12<sup>1</sup>, E 15° 20.61<sup>1</sup>)

0N-rutan var belägen ca 3 km N Sköllersta kyrka. Jordegenskaperna på 0-30 cm djup inom denna och efterföljande 0N-rutor visas i tabell 7. Motsvarande uppgifter i skikten 30-60 och 60-90 cm redovisas däremot inte i tabellform, med undantag av volymvikterna (tabell 4). Inom 0-30 cm djup fanns kt M (62 % mull, H8-9, tabell 7), inom 30-60 cm kt M (H8-9) och på 60-90 cm djup också kt M (H8-9). Det djupa lagret av organogen jord avspeglade sig i form av mycket låga volymvikter i jorden (0,26, 0,22 och 0,22 kg/dm<sup>3</sup> inom 0-30, 30-60 och 60-90 cm djup), tabell 4.

**L3-2161 Ytterby, 0N-ruta** (N 59° 10.54<sup>1</sup>, E 15° 28.48<sup>1</sup>)

Platsen var belägen alldeles öster om Täljeån och ca 4 km SV Mellösa kyrka. Inom 0-25 cm djup fanns kt M, varunder en övergång till mineraljord ägde rum. Skiktet 0-30 cm innehöll dock i genomsnitt 45 % mull (H8-9, tabell 7). Inom 30-60 cm fanns sandig, moig lerjord och på 60-90 cm lerjord utan tydliga sand- och moinslag. Lerjordslagren i alven medförde höga volymvikter i jämförelse med matjorden (i medeltal 0,58, 1,31 och 1,40 kg/dm<sup>3</sup> inom 0-30, 30-60 respektive 60-90 cm djup, tabell 4). De förhållandevis höga volymvikterna i alvskikten motsvarar dem i alven på ”vanliga” mineraljordar.

**L3-2161 Mörby, 0N-ruta** (N 59° 10.13<sup>1</sup>, E 15° 35.37<sup>1</sup>)

Rutan lades ut på en plats alldeles söder om Kvismare Kanal och drygt 1 km nordväst om samhället Odensbacken. Inom 0-30 cm djup bestod jorden av kt M (45 % mull, H9, tabell 7) samt inom 30-60 och 60-90 cm djup av lerjord.

**L3-2161 Segersjö, 0N-ruta** (N 59° 9.07<sup>1</sup>, E 15° 35.18<sup>1</sup>)

Ytan var belägen knappt 1 km NNO Lännäs kyrka. Inom 0-30 cm djup fanns sa I kt M (33 % mull, H9, tabell 7), som från ca 25 cm djup övergick i sandig, moig lerjord. Skikten på 30-60 och 60-90 cm djup innehöll lerjord.

#### Växtnäringstillstånd

Fosfortillgången på försöksplatserna (tabell 6 och 7) kan vid första anblicken synas ha varit god eller mycket god, med P-AL-värden motsvarande klass IV A, IV B och V (Albertsson, 2013). Klass IV A, IV B och V avser P-AL-värden inom intervallen 8,1-12, 12,1-16 respektive >16 mg per 100 g lufttorr jord. På mulljordar med sina normalt låga volymvikter blir med samma AL-tal emellertid *mängden växtnäringsämnen per volymsenhet* mindre än i fastmarksjordar. För matjord i fastmarksjordar används generellt en volymvikt på 1,25 kg/dm<sup>3</sup> i rådgivningssammanhang. För tolkning av fosfortillgången har därför en omräkning gjorts med beaktande av fastställda volymvikter i jordarna på försöksplatserna. Motsvarande omräkning har gjorts av K-AL-värdena, som enligt de ursprungliga analysvärdena varierade från som lägst K-AL = 12 (L3-2161 Bärsta 1) till som högst 39 (L3-2161 Mörby). Dessa värden motsvarar K-AL-klass III (K-AL = 8,1-16 mg per 100 g lufttorr jord), IV (16,1-32 mg) och V (>32 mg).

Omräkningarna med hänsyn till de fastställda volymvikterna redovisas i tabell 6 och 7 som P-AL- och K-AL-värden inom parentes. De omräknade P-AL-talen motsvarar klass II (P-AL-intervall = 2,0-4,0 mg) och låga värden inom klass III (intervall = 4,1-8,0 mg). Ett fosfortillstånd i klass II måste betecknas som ganska otillfredsstillande. För kaliumtillståndet gav omräkningarna i flertalet fall K-AL-värden i klass II (intervall = 4,0-8,0 mg), vilket måste ses som otillräcklig kaliumtillgång. Däremot erhöles K-AL-klass III och IV

inom 0N-rutorna (L3-2161) på Ytterby respektive Segersjö, således med bättre kaliumtillstånd. De större kaliumtillgångarna inom de sistnämnda 0N-rutorna kan sammanhänga med grundare mulljordslager (ca 30 cm). Därunder tog mineraljord vid. Enligt Nilsson (1982) innehåller rena myrjordar endast obetydliga mängder kalium, men så snart som det föreligger inblandning av mineraljord gynnas markens kaliumsituation avsevärt.

I skiktet 0-30 cm varierade pH-värdena på de olika försöksplatserna från 5,0 till 5,8 (tabell 6 och 7). Inom kvävegödslingsförsöken (L3-2166) vid Nynäs, Ytterby och Bärsta 2 samt inom 0N-rutan (L3-2161) Bärsta 1, där alven också undersöktes, avtog pH-värdena med djupet i marken. Inom försöksplatsen Bärsta 2 var pH så lågt som 3,9 inom 60-90 cm djup, vilket som ovan nämnts torde sammanhänga med förekomsten av gyttjematerial i alven (tabell 5b).

I tabell 5a och b redovisas mullhalterna i markprofilerna inom platserna för kvävegödslingsförsöken (L3-2166) vid Nynäs, Ytterby och Bärsta 2 samt inom 0N-rutan (L3-2161) Bärsta 1. Värdena baseras på bestämningar av glödgningsförlust. När mullhalterna beräknades på basis av totalkolhalten ( $C \cdot 1,724$ ), erhöles högre värden (tabell 6). Berglund (1996a) redovisade också skillnader i erhållen mullhalt med dessa båda metoder och tillägger, att korrektion måste göras för strukturellt bundet vatten hos lermineral vid användning av glödgningsförlust.

I tabell 6 visas förekomsten av totalkväve i markprofilerna uträknat i ton/ha. Naturligt nog avtog totalkvävemängderna liksom mullhalterna med tilltagande markdjup och ökat inslag av mineraljord. I försöket L3-2166 Nynäs fanns sammanlagt 76 ton totalkväve per ha inom 90 cm markdjup, inom L3-2166 Bärsta 2 totalt 54 ton/ha. Inom 0N-rutan L3-2161 Bärsta 1 fastställdes 51 ton/ha och i L3-2166 Ytterby 42 ton totalkväve per ha inom 90 cm djup.

Det torde emellertid i första hand vara totalkvävet i matjorden och kanske även överst i alven som bidrar till kvävemineraliseringen i marken på de organogena jordarna. Avtagande koldioxidavgång med djupet i mulljordsprofiler redovisas av Berglund (2011), vilket

måste tolkas som minskande biologisk aktivitet med tilltagande markdjup. Kol-kvävekvoten i markprofilerna (variationsbredd: ca 11-18) var i allmänhet inte högre i alven än i matjorden, snarare tvärtom (tabell 6), vilket även Berglund (1996b) funnit i organogena jordar med gyttejinhåll i alven. Om kol- och kvävemineralsningens omfattning i mark huvudsakligen sker i förhållande till C/N-kvoten i jorden, måste avtagande koldioxidavgång med djupet likaledes åtföljas av minskande kvävemineralsning. Det är också en vanlig iakttagelse, att torv djupare ned i en odlad organogen jord är mindre nedbruten än i ytligare jordlager. Men allteftersom mulljorden överst i marken bryts ned och markytan sjunker, bör med tiden även totalkvävet i alven komma att mineraliseras alltmer.

#### Väder- och växtodlingsförhållanden i Kvismardalen 1986-88

Uppgifter om väderförhållandena och deras inverkan på grödorna i Kvismardalen 1986-88 erhöles från växtodlingsrådgivaren Anders Persson vid dåvarande Lantbruksnämnden i Örebro län (Persson, pers. medd.). Enligt hans noteringar och data från SMHI:s meteorologiska station Örebro (tabell 8) var vintern i början av 1986 förhållandevis kall, med ett snötäcke på 10-30 cm. Tjäle i marken fanns från december till april. Genom kyla i januari-februari nådde tjälen ned till ca 30 cm djup och fanns kvar i alven in i april. Snö låg kvar i början av april. Denna månad blev nederbördsrik (tabell 8). Sommaren var dock ganska torr, utom i augusti. Växtodlingssäsongen 1986 blev enligt Anders Persson normal på Kvismarjordarna och egentligen utan negativ inverkan på grödorna.

Under vintern 1986-87 fanns det snö från november-december till mars, med 10-30 cm snö-täcke och som mest i slutet av januari. Två mycket kalla perioder inträffade: under den första hälften av januari och i slutet av februari-början av mars. Däremellan (i början av februari) inföll en tövädersperiod. Det fanns tjäle i marken från december till april. Marken frös ned till omkring 50 cm djup, och tjäle fanns kvar i alven ännu i april. Under tiden maj-augusti 1987 uppkom större nederbördsöverskott, och temperaturerna höll sig under det normala (tabell 8). Detta inverkade menligt på de

organogena jordarna i Kvismardalen och på grödorna. Nederbördsförhållandena medförde strukturskador och försämrade tillväxtförhållanden inom 0N-rutan L3-2161 Bärsta 1. I försöken L3-2166 Nynäs och Ytterby blev det besvärade liggsäd, men bara i mindre utsträckning inom L3-2166 Bärsta 2.

Tabell 8. Månadsnederbörd (mm) och månadsmedeltemperaturer (°C) vid SMHI:s meteorologiska station Örebro 1986-88. "Normalt" avser normalnederbörd eller normaltemperaturer för perioden 1961-90.

*Table 8. Monthly precipitation (mm) and average monthly temperatures (°C) in Örebro in 1986-88. "Normalt" refers to normal values for the period 1961-90. Hela året = annually.*

Månad <i>Month</i>	Månadsnederbörd <i>Monthly precipitation</i>				Månadsmedeltemperatur <i>Average monthly temperature</i>			
	1986	1987	1988	Normalt	1986	1987	1988	Normalt
Jan.	57	12	85	44	-5,9	-12,8	0,3	-4,1
Feb.	11	42	76	34	-9,1	-4,1	-1,2	-4,1
Mars	59	33	28	32	0,6	-4,5	-2,4	-0,6
Apr.	90	13	33	37	1,9	4,5	3,7	4,1
Maj	29	94	41	43	11,9	8,8	12,5	10,7
Jun.	35	100	73	51	15,8	12,1	17,3	15,3
Jul.	52	99	115	77	16,3	15,4	17,2	16,5
Aug.	128	130	73	69	12,7	12,5	15,2	15,3
Sep.	47	79	48	73	8,0	9,5	12,5	10,9
Okt.	30	32	53	57	6,1	6,8	5,0	6,6
Nov.	47	55	25	60	4,6	1,2	-1,4	1,3
Dec.	65	43	54	46	-1,7	-2,0	-2,5	-2,5
Hela året	649	730	704	625	5,1	4,0	6,4	5,8

Vintern 1987-88 blev mildare än normalt, utom i mars. Det kom något snö i slutet av december men det rådde sedan barmark i januari. Under februari-mars kom det åter snö, som till slut gav ett 40-50 cm djupt snötäcke. I april var det barmark. Det fanns tjäle bara under några perioder med ingen eller endast lite snö, bl.a. i januari och april, men marken frös då bara ytligt. Ur växtodlingssynpunkt blev år 1988 besvärade för jordarna i Kvismardalen. Det var enligt Anders Persson vid Lantbruksnämnden (pers. medd.) troligen en kombination av markstrukturskador, temperaturförhållanden och torka (under den tidigare delen av växtsäsongen) som gjorde att

spannmålsgrödorna utvecklades sämre och mognade tidigt. Enligt Persson (pers. medd.) torkade marken på försöksplatserna ut kraftigt långt ned i alven trots riklig nederbörd bl.a. i juli. Uppgifterna om torka i jordarna på försöksplatserna under den tidigare delen av odlingssäsongen 1988 tycks inte stämma med nederbördsdata i tabell 8. Variationer i regnmängderna till följd av lokala skurar kan vara en förklaring.

#### Utnyttjbart jordkväve

Kväveinnehållet i grödorna bestämdes ju vid degmognad-gulmognad genom avklippning av grödorna vid markytan dels inom 0N-rutorna (L3-2161) och dels i led A (0 kg N/ha) i kvävegödslingsförsöken (L3-2166). I försöksled utan kvävegödsling utgör som nämnts grödornas kväveupptag ett mått på tillgången på utnyttjbart jordkväve. Av tabell 9 framgår att det i medeltal för alla försök 1986-88 fanns utnyttjbart jordkväve i en mängd motsvarande 166 kg N/ha (n = 16), med variationer från 78 kg till 274 kg N/ha. Resultaten från de organogena jordarna i Kvismardalen tillsammans med ovan nämnda mulljordsundersökningar av Anderson (1981) och Lindén (2013) i Uppland visar, att tillgången på utnyttjbart jordkväve i organogena jordar normalt är betydligt större än i fastmarksjordar (Lindén, 1987; Lindén et al., 1992a; Delin, 2005; Engström, 2010). Exempelvis anger Lindén (1987), att jordkvävetillgången i genomsnitt uppgick till 80 kg N/ha (variationsbredd: 37-152 kg, n = 38) efter förfrukt stråsäd på undersökta djurgårdar och till 59 kg N/ha (17-110 kg, n = 59) på gårdar utan djurhållning.

Tillgången på utnyttjbart jordkväve i mulljordsförsöken i Kvismardalen varierade betydligt mellan åren (tabell 9). I de fyra treåriga försöken visade det sig under åren 1986, 1987 och 1988, att korngrödorna i medeltal tagit upp 195, 230 och 113 kg jordkväve per ha. Detta kan ha att göra med skillnader i väderleken under dessa år (se nedan).

Variationerna i mängden utnyttjbart jordkväve motsvarades av skillnader i kärnskördarna mellan försöksplatserna i leden utan kvävegödsling (0N-rutorna och led A i kvävegödslingsförsöken), tabell 9. I likhet med att mängden utnyttjbart jordkväve var minst

1988, blev kärnskördarna i allmänhet också låga utan kvävegödsling detta år. Högre kärnskörd motsvarades naturligt nog av större mängd utnyttjbart jordkväve och omvänt, dock ej helt konsekvent.

Tabell 9. Kärnskördar (15 % vattenhalt) av försöksgrödorna 1986-88, utan tillförsel av gödselkväve under året ifråga, och utnyttjbart jordkväve, som avser beräknat kväveupptag i hela grödan (inkl. rötterna) vid grödprovtagning i samband med kväveupptagningens avslutning, likaledes utan kvävegödsling.

*Table 9. Grain yields (15 % moisture) of the crops in the experiments in 1986-88 without application of fertiliser nitrogen in the year in question, and plant-available soil nitrogen corresponding to calculated nitrogen uptake in the entire crop (incl. roots) at the end of nitrogen uptake, also without nitrogen fertilisation. Medeltal = average. Mulljordsdjup = depth of the dark-coloured organic soil layer.*

Fält- försök <i>Field trial</i>	Mull- jords- djup, cm	Kärnskörd utan kvävegöds- ling, kg/ha <i>Grain yield with- out nitrogen fertilisation, kg/ha</i>				Utnyttjbart jordkväve, kg/ha <i>Plant-available soil nitrogen, kg/ha</i>			
		1986	1987	1988	Medeltal	1986	1987	1988	Medeltal
<b>L3-2166:</b>									
Nynäs	60-70	4870	4200	3040	4040	223	272	113	203
Ytterby	50	4960	3300	2190	3480	206	274	133	204
Bärsta 2	30	3930	3390	1620	2980	125	128	78	110
<b>L3-2161:</b>									
Bärsta 1	80	5140	2300	3560	3670	226	247	128	200
Ytterby	25	3920				85			
Mörby	20-30	3980				130			
Segersjö	30	5690				169			
Nynäs*	90					121			
<b>Medeltal</b> , alla försök 1986 <i>All trials in 1986</i>		4640				161			
<b>Medeltal</b> alla treåriga försök <i>All three-year trials</i>		4730	3300	2600	3540	195	230	113	179
<b>Medeltal</b> , alla försök <i>All trials</i>									166

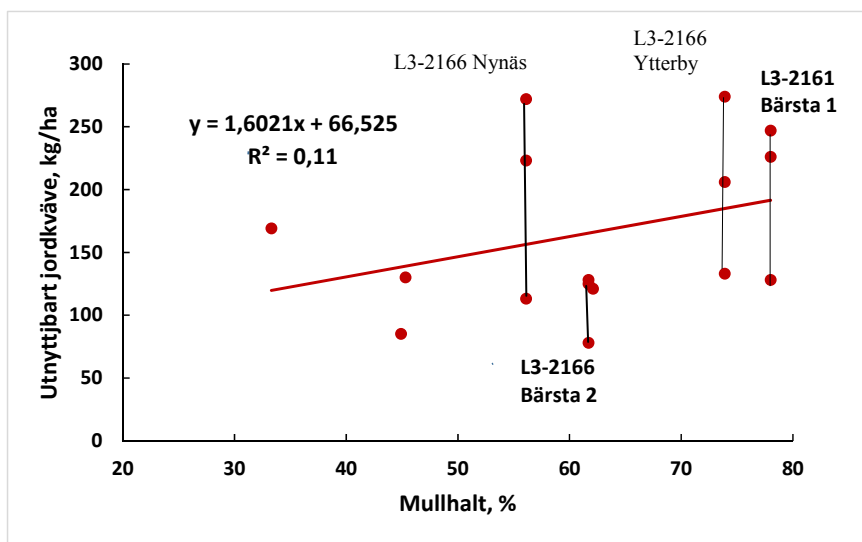
\*) ON-rutan vid Nynäs kunde inte skördas p.g.a. alltför kraftig ogräsförekomst.  
*The ON plot at Nynäs could not be harvested due to heavy weed infestation.*

Vid praktisk tillämpning av 0N-rutor i rådgivningssyfte är det därför säkrare att bedöma gödselkvävebehovet på bestämningar av kväveinnehållet i grödans alla ovanjordiska delar än att förenklat bara bestämma kärnskörden i icke kvävegödslad gröda. En annan möjlighet är bestämning av kvävemängden i kärnan (kväveskörden) i 0N-rutor, vilket enligt Gruvaeus (2008) kan ge värdefull information om grödans kvävebehov.

Förfrukten till grödorna utgjordes av stråsäd (korn och i två fall vårvete) utom i försöken L3-2166 Ytterby och Bärsta 2 samt L3-2161 Ytterby och Bärsta 1 år 1988, där potatis odlades året innan (tabell 1). Det kan förmodas att potatis skulle ha gett bättre efterverkan än stråsädesförfrukterna med avseende på försöksgrödorna 1986 och då ha inverkat på kvävetillgången. Studier av förfruktseffekter av potatis tyder emellertid på att detta växtslag visserligen generellt sett förbättrar en efterföljande stråsädesgrödans avkastning (uppenbarligen genom minskning av förekomsten av sjukdomsangrepp), men potatis ger ungefär samma, renodlade kväveefterverkan som vårsäd (Lindén, 2008).

Mulljordsdjupet varierade mellan ca 25 och 90 cm (tabell 1). Det fanns en tendens ( $R^2 = 0,30$ ) till att mängderna utnyttjbart jordkväve påverkades av mulljordsdjupet, med mindre kvävetillgång på försöksplatser med grundare mulljordsskikt. Exempelvis var mulljordsdjupet på försöksplatsen L3-2166 Bärsta 2 omkring 30 cm, och i genomsnitt för åren 1986-88 levererade denna jord 110 kg N/ha (tabell 9). Grödorna på platserna för L3-2166 Nynäs, L3-2166 Ytterby och L3-2161 Bärsta 1, där mulljordslagren var djupare (50, 65 respektive 80 cm), kunde årligen utnyttja i medeltal ca 200 kg jordkväve per ha. Inverkan av mullhalten inom 0-30 cm djup på mängden utnyttjbart jordkväve belyses i figur 2. Sambandet mellan dessa båda storheter visade sig dock vara mycket svagt ( $R^2 = 0,11$ ) bl.a. beroende på de stora variationerna mellan åren i mängderna utnyttjbart jordkväve (jmf. tabell 9). Till följd av dessa årliga variationer tycks det inte vara möjligt att basera eventuellt gödselkvävebehov på bestämningar av vare sig mullhalt i matjorden eller mulljordsdjup.





Figur 2. Samband mellan utnyttjbart jordkväve och mullhalt inom 0-30 cm djup på samtliga försöksplatser och under alla försöksår (n = 16). De datapunkter som är förbundna med varandra med en lodrät linje avser utnyttjbart jordkväve på en och samma försöksplats under vart och ett av de tre åren 1986-88 (jmf. tabell 9).

Figure 2. Relationship between plant-available soil nitrogen and soil organic matter (SOM) within the 0-30 cm soil layer at all sites and in all experimental years (n = 16). The data points connected to each other by a vertical line refer to plant-available soil nitrogen at one site during each of the three years 1986-88 (cf. Table 9). Utnyttjbart jordkväve = plant-available soil nitrogen, Mullhalt = SOM.

#### Årstidsvisa förändringar av mineralkväveförråden i marken

Det skulle kunna förmodas, att bara smärre eller måttliga mängder mineralkväve skulle återstå i mulljordarna tidigt på våren till följd av kväveförluster under vintern. I medeltal för alla undersökta platser i Kvismardalen och alla år (n = 16) fanns dock så mycket som 144 kg mineralkväve per ha inom 0-90 cm djup under den senare delen av april (tabell 10). Variationerna mellan försöksplatserna var emellertid stora (variationsbredd: 35-300 kg N/ha). Jordprovtagningarna utfördes då marken hade börjat torka upp och den största

Tabell 10. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-90 cm djup inom 0N-rutorna (L3-2161) vid Nynäs, Ytterby, Mörby och Segersjö 1986 samt 1986-88 i den treåriga 0N-rutan vid Bärsta 1 och i led A (utan gödselkväve) i gödslingsförsöken (L3-2166) vid Nynäs, Ytterby och Bärsta 2. Medeltal och standardavvikelser.

*Table 10. Soil mineral nitrogen (kg N/ha) within the 0-90 cm soil layer in the 0N plots (L3-2161) at Nynäs, Ytterby, Mörby and Segersjö in 1986 and in 1986-88 within the 0N plot at Bärsta 1 and in treatment A (without fertiliser nitrogen) in the fertilisation trials (L3-2166) at Nynäs, Ytterby and Bärsta 2. Averages and standard deviations. Medeltal = average, Standardavvikelse = standard deviation, Minsta värde = minimum value, Högsta värde = maximum value.*

Provtagnings-tidpunkt <i>Time of sampling</i>	Medeltal (n = 16)	Standard- avvikelse	Minsta värde	Högsta värde
Tidigt på våren, medeldatum: 20/4 <i>In early spring, average date: 20/4</i>	144	79	35	300
Avslutad kväveupptagning, medeldatum: 23/8 <i>At the end of nitrogen uptake, average date: 23/8</i>	60	39	12	150
Senhöst, medeldatum: 4/12 <i>In late autumn, average date: 4/12</i>	116	43	56	163

delen av vårens överskottsvatten torde ha dränerats bort från de provtagna markskikten.

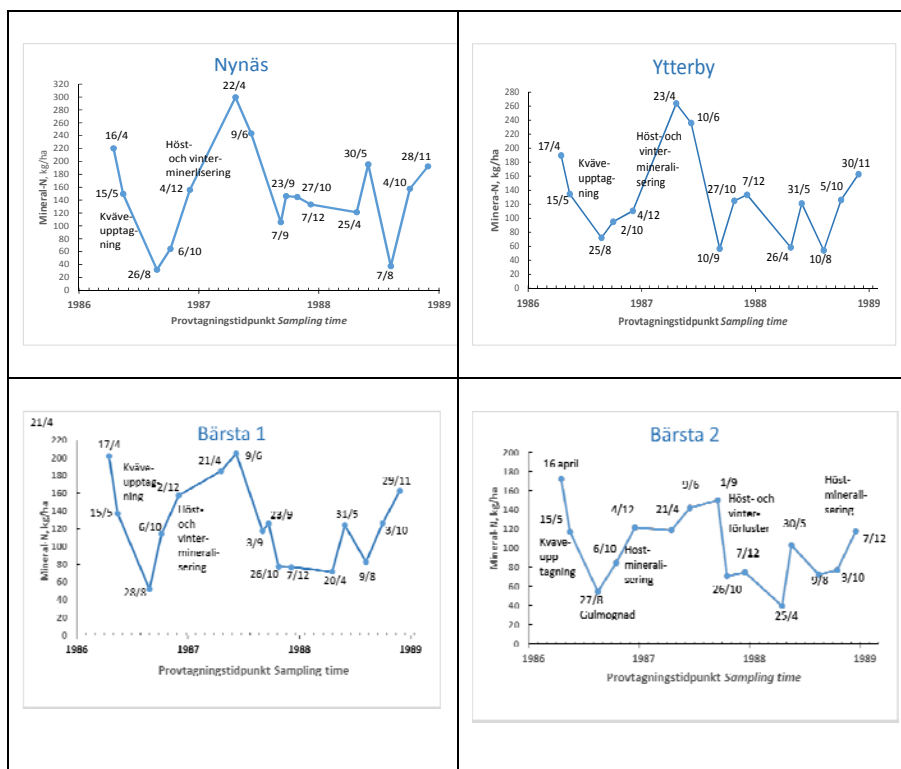
I de treåriga försöken L3-2166 vid Nynäs, Ytterby och Bärsta 2 samt inom den treåriga 0N-rutan L3-2161 vid Bärsta 1 kan mineralkvävet årsstidsvisa förlopp följas under vart och ett av alla tre åren 1986-88 (tabell 11 och figur 3). Mineralkväveförråden uppvisade cykliska förlopp, som avser tillskott av mineralkväve genom mineralisering och minskningar genom grödornas kväveupptag som två dominerande faktorer, i viss mån under påverkan av förekommande kväveförluster. Från en återstod på i genomsnitt 53 kg N/ha vid avslutad kväveupptagning 1986 ökade mängderna till 136 kg N/ha på senhösten detta år (tabell 11, figur 3).

Tabell 11. Mineralkväve (kg N/ha) inom 0-90 cm djup 1986-88 i led A (utan gödselkväve) i kvävegödslingsförsöken (L3-2166) vid Nynäs, Ytterby och Bärsta 2 samt i den treåriga 0N-rutan (L3-2161) vid Bärsta 1 vid olika tidpunkter. Medeltal och standardavvikelser. Inom parentes: medeldatum för provtagning. *Table 11. Soil mineral nitrogen (kg N/ha) within the 0-90 cm soil layer in 1986-88 in treatment A (without fertiliser nitrogen) in the fertilisation trials (L3-2166) at Nynäs, Ytterby and Bärsta 2, and the 0N plot L3-2161 at Bärsta 1 at different times. Averages and standard deviations. In brackets: average sampling date.*

Provtagnings-tidpunkt <i>Time of sampling</i>	1986	1987	1988
Tidigt på våren <i>In early spring</i>	196 ± 20 (17/4)	217 ± 81 (22/4)	73 ± 35 (24/4)
Vid avslutad kväveupptagning <i>At the end of nitrogen uptake</i>	53 ± 16 (27/8)	108 ± 39 (5/9)	62 ± 20 (9/8)
Senhöst <i>In late autumn</i>	136 ± 24 (4/12)	105 ± 33 (7/12)	159 ± 31 (1/12)

Fram till våren 1987 skedde en fortsatt ökning till 217 kg N/ha. Sedan följde en minskning under växtsäsongen fram till avslutad kväveupptagning i början av september 1987. Därefter blev mängderna i genomsnitt uppenbarligen ganska oförändrade under hösten 1987 och fram till vinterns ankomst, då i medeltal 105 kg mineralkväve per ha fastställdes. Under den efterföljande vintern 1987-88 uppkom en påtaglig minskning till 73 kg N/ha i april 1988 (tabell 11). Tillskott genom kvävemineralisering under hösten och vintern kan här ha motverkats av förluster (med början under hösten) till följd av hög nederbörd periodvis (tabell 8). Under resten av 1988 upprepades det årtidsvisa förloppet med minskade mineralkväve-mängder fram till avslutad kväveupptagning och större tillskott av mineralkväve under hösten.

Från jordprovtagningarna tidigt på våren (under den senare delen av april) till provtagningarna vid grödornas uppkomst i slutet av maj-början av juni fastställdes både minskningar av mineralkvävet (särskilt våren 1986) och tillskott (särskilt våren 1988), figur 3. Detta kan ha att göra med nederbördsmängden under våren. I april



Figur 3. Årstidsvisa förändringar av mängdena mineralkväve (kg N/ha) inom 0-90 cm djup på platserna för kvävegödslingsförsöken (L3-2166) vid Nynäs, Ytterby och Bärsta 2 samt inom 0N-rutan L3-2161 Bärsta 1 åren 1986-88.

Figure 3. Seasonal changes of the amounts of mineral nitrogen (kg N/ha) within the 0-90 cm soil layer at the sites of the nitrogen fertilisation experiments (L3-2166) at Nynäs, Ytterby and Bärsta 1, and within the 0N plot (L3-2161) at Bärsta 1 during 1986-88. Kväveupptagning = nitrogen uptake, Gulmognad = yellow ripeness, Höst- och vintermineralisering = nitrogen mineralisation during autumn and winter, Höstmineralisering = nitrogen mineralisation during autumn, Höst- och vinterförluster = nitrogen losses during autumn and winter.

1986 uppgick nederbörden till 90 mm, medan det i april och maj 1988 kom högst måttliga mängder (tabell 8).

Av tabell 11 och figur 3 framgår de stora anhopningarna av mineraliserat kväve i markprofilerna under vinterhalvåret 1986-87. Dessa tyder på att kväve mineraliserats i marken trots en kall vinter (tabell 8) med långvarig tjäle. Under vintern 1987-88, som var mild med barmark under längre tider och föga tjäle, borde egentligen högre

marktemperaturer ha möjliggjort större kvävefrigörelse än under den föregående vintern. Under vintern 1987-88 minskade istället mineralkväveförråden som nämnts, och förhållandevis lite mineralkväve fanns kvar i marken på våren (tabell 11 och figur 3). Detta tyder på att kväveförlusterna, troligen genom både utlakning och denitrifikation, översteg mineraliseringsstillskotten. Som nämnts uppkom dock förluster av mineralkväve redan under hösten särskilt på förförsöksplatserna Bärsta 1 och Bärsta 2 (figur 3), uppenbarligen genom nederbördsöverskott med början under sensommaren-förhösten.

Efter vintrar med långvarig och djup tjäle bör smältvatten i hög grad avbördas från marken genom ytavrinning (Lindén, 1981). Milda vintrar med barmark och utan nämnvärd tjäle och/eller med snö på ofrusen mark bör å andra sidan orsaka större kväveförluster genom att överskottsvattnet i större utsträckning perkolerar ned genom markprofilen. Till detta kommer risk för denitrifikation i ofrusen jord. De små mineralkväveförråden efter den milda vintern 1987-88 (tabell 11, figur 3) förklarar i hög grad de mindre mängderna utnyttjbart jordkväve och de låga kärnskördarna utan kvävegödsling detta år (tabell 9). Således tycks milda vintrar kunna vara till nackdel både miljömässigt och med hänsyn till grödornas kväveförsörjning åtminstone på mulljordar. Detta borde i sin tur medföra ökat behov av kvävegödsling.

De stora mineralkväveförråden vårarna 1986 och 1987 på försöksplatserna i Kvismardalen (i medeltal 196 respektive 217 kg N/ha inom 0-90 cm djup i de treåriga försöken, tabell 11) kan jämföras med mängderna i en mulljord vid Finnsholmen i nordvästra Uppland (Lindén, 2013), där ännu mer (omkring 300 kg mineralkväve per ha, varav en mycket stor andel ammoniumkväve) fastställdes vårarna 1987 och 1988. Anderson (1981) anger 300 kg mineralkväve per ha inom 0-120 cm markdjup tidigt på våren i en mulljord i södra Uppland. I svenska fastmarksjordar fann Lindén (1987) däremot i medeltal ”bara” 49 kg/ha (0-90 cm) tidigt på våren, och i samnordiska undersökningar på fastmarksjordar fastställde Lindén et al. (1992b) i genomsnitt 43 kg N/ha (0-100 cm) vid denna tid. I dessa studier av fastmarksjordar utgjordes förfrukten av stråsåd.

Minskningarna av mineralkväveförråden under växtsäsongerna och ökningarna under höstarna liknar i princip förhållandena på fastmarksjordar med normala mullhalter (Lindén, 1981; Lindén et al. 1992b). De årstidsvisa svängningarna på de senare jordarna brukar dock vara betydligt mindre, uppenbarligen genom svagare kvävemineraliseringsförmåga. Den återstående mineralkvävemängden vid deg-gulmognad i alla de undersökta mulljordarna i Kvismardalen uppgick i medeltal till 60 kg N/ha utan kvävegödsling (tabell 10), men på fastmarksjordar brukar det i allmänhet inte finnas mer än ca 15-35 kg N/ha inom 0-90 cm vid odling av stråsäd utan kvävegödsling (Lindén 1981; Delin, 2005; Engström, 2010). Endast något eller några få kg N/ha mer återfinns vanligen efter normal kvävegödsling till årets gröda på fastmarksjordar (Lindén et al., 1992b; 1993a och 1999).

Mängderna kvarvarande mineralkväve vid avslutad kväveupptagning varierade emellertid mellan åren i de treåriga försöken i Kvismardalen: 53, 108 och 62 kg N/ha år 1986, 1987 respektive 1988 (tabell 11). Den stora mineralkväveresterna 1987 tycks bero på större tillgång på utnyttjbart jordkväve detta år (tabell 9). Skördarna blev måttliga (tabell 9). Grödornas kvävetillgång tycks därför ha överstigit behovet, med större outnyttjade mängder som följd.

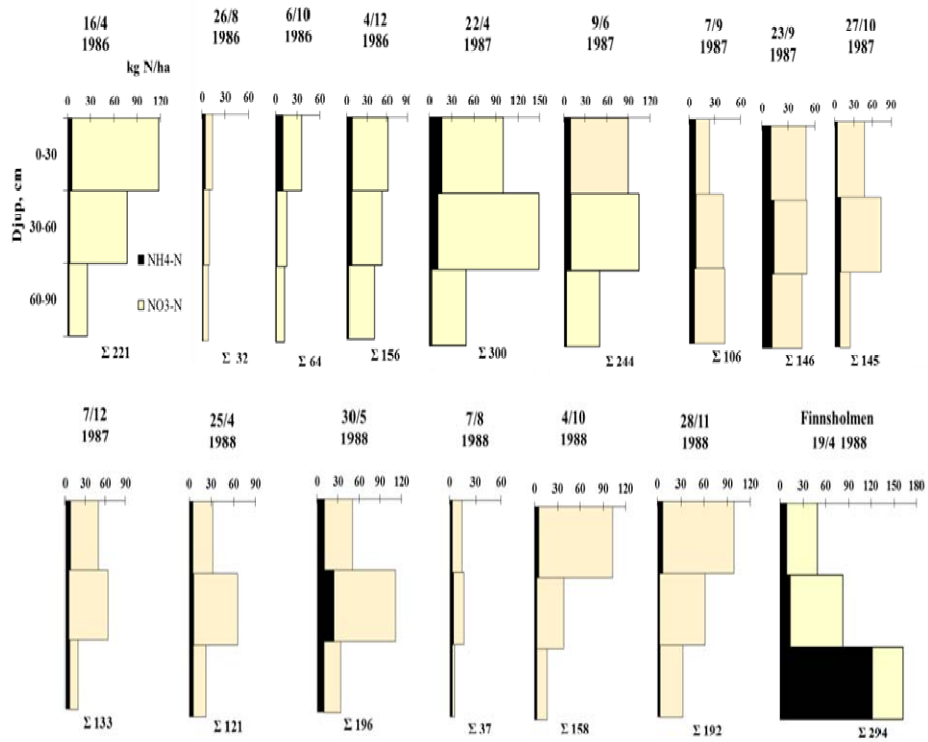
De stora mineralkväveanhopningarna på hösten, 116 kg N/ha som medeltal för alla försöksplatser och år ( $n = 16$ ; variationsbredd: 56-163 kg), kan jämföras med resultaten i den nämnda nordiska studien med fastmarksjordar (Lindén et al., 1992b), där det efter korn i medeltal fanns 42 kg mineralkväve per ha inom 100 cm djup i november ( $n = 12$ ; variationsbredd: 20-96 kg). På senhösten fann Engström (2010) efter havre i försök på skånska moränleror mineralkvävemängder på i genomsnitt 45 kg N/ha ( $n = 8$ ; variationsbredd: 24-70 kg) inom 0-90 cm djup.

#### Ammonium- och nitratkvävet djupfördelning i marken

Ammonium- och nitratkvävet fördelning på de tre provtagna markskikten (0-30, 30-60 och 60-90 cm djup) i de undersökta mull-

jordarna i Kvismardalen exemplifieras i figur 4 med data från kvävegödslingsförsöket L3-2166 Nynäs 1986-88. Jorden i försöket vid Nynäs bestod av kärrtorvmull i alla tre skikten men med inslag av lergyttja djupare ned i alven (tabell 5a). I medeltal för alla provtagningstillfällen 1986-88 ( $n = 15$ ) fanns inom 0-90 cm djup mineralkvävemängder på 150 kg N/ha, varav 20 kg ammonium- och 130 kg nitratkväve. Som mest fanns 300 kg mineralkväve per ha (våren 1987) och som minst vid avslutad kväveupptagning i augusti 1986 och 1988 (32 respektive 37 kg N/ha). Mängderna nitratkväve, som var mycket stora på våren, minskade 1986 och 1988 till obetydliga kvarvarande rester i augusti i alla tre markskikten. De jämförelsevis låga halterna ammoniumkväve påverkades däremot inte i någon större utsträckning. Grödorna tycktes i det närmaste ha "tömt" hela djupet 0-90 cm på nitratkväve, kanske ännu djupare. Detta liknar förhållandena på lerjordar med deras normalt djupa rotsystem (Lindén, 1981). Rotdjupet registrerades inte, men det djupa kväveutnyttjandet tyder på att rötterna kunde ha nått ned i hela den undersökta markprofilen.

Vid avslutad kväveupptagning 1987 blev emellertid de utnyttjade mineralkvävemängderna större i marken vid Nynäs än 1986 och 1988 (figur 4). Detta gäller mer eller mindre också de övriga treåriga försöksplatserna L3-2161 Bärsta 1 samt L3-2166 Ytterby och Bärsta 2 (tabell 11 och figur 3). Orsaken tycks vara större tillgång på utnyttjbart markkväve 1987 än under de båda andra åren (tabell 9), delvis genom mer mineralkväve i marken våren 1987 än de båda andra åren. Samtidigt gav grödorna måttliga skördar. Det tycks därför ha uppkommit ett överskott på växttillgängligt kväve under växtsäsongen 1987, utan kvävegödsling. Därmed kunde grödorna uppenbarligen inte ta tillvara kvävet i marken så bra som annars, med följd att de utnyttjade mineralkväveresterna (särskilt i alven) blev större än 1986 och 1988.



Figur 4. Mineralkvävetts förändringar (kg N/ha) med årstiderna skiktvis i mulljorden vid Nynäs 1986-88. Som jämförelse med en mulljord underlagrad av lergyttja och med mycket låga pH-värden i alven visas mineralkväve i en kärrtorvjord vid Finnsholmen i nordvästra Uppland (Lindén, 2013).  
*Figure 4. Seasonal changes of the amounts of soil mineral nitrogen (kg N/ha) layerwise in the fen peat soil at Nynäs in 1986-88. For comparison with an organic soil with clay gyttja in the subsoil and with very low pH values in the gyttja layers, soil mineral nitrogen is shown in a fen peat soil at Finnsholmen in the province of Uppland (Lindén, 2013).*



I medeltal utgjorde ammoniumkvävet 13 % av summa ammonium- och nitratkväve inom 0-90 cm djup vid Nynäs, med en standardavvikelse på 8 % av summan och med 5 och 29 % som minsta och största procentandelar. Störst andel ammoniumkväve fastställdes naturligt nog vid de tidpunkter då nitratmängderna var minst, vanligen på sensommaren eller förhösten, när grödornas kväveupptagning höll på att avslutas eller hade avslutats. Uträknat i kg N/ha varierade ammoniumkvävemängderna obetydligt i jämförelse med nitratkvävet och uppgick till i storleksordningen 3-10 kg NH<sub>4</sub>-N/ha per 30-cm-skikt, med generellt lägst värden i alven.

De små mängderna ammoniumkväve i markprofilen vid Nynäs skiljer sig markant från dem som fastställdes i den ovan nämnda mulljorden vid Finnsholmen i nordvästra Uppland (Lindén, 2013). Där fanns lergyttja i alven, som hade mycket låga pH-värden: 4,2 och 3,5 på 30-60 respektive 60-90 cm djup. Detta hämmade uppenbarligen nitrifikationen av ammoniumkvävet. För att illustrera detta och som jämförelse med jorden vid Nynäs har en profiltbild från Finnsholmen lagts till i figur 4. Marken vid Nynäs hade pH-värden på 5,6, 5,7 och 5,3 på 0-30, 30-60 respektive 60-90 cm djup. Dessa synes ha varit tillräckligt höga för att tillåta nitrifiering av ammoniumkvävet.

Inom de övriga undersökta markprofilerna i Kvismardalen fanns också jämförelsevis lite ammoniumkväve i relation till nitratkvävet. Detta liknar förhållandena på fastmarksjordar i Sverige (Lindén, 1981). Scharpf (1977) fann likaså små eller mycket små mängder ammoniumkväve i lössjordar i Tyskland. Vidare rådde det små skillnader i ammoniumkväve mellan försöksplatserna i Kvismardalen. De största mängderna på 60-90 cm djup fanns i försöket L3-2166 Bärsta 2, med i medeltal 8,5 kg ammoniumkväve per ha, n = 14 (dvs. provtagningstillfällena). I detta skikt fastställdes vid Nynäs i genomsnitt 4,8 kg/ha (15 provtagningstillfällena). På detta djup var pH-värdet så lågt som 3,9 vid Bärsta 2 (tabell 6), vilket möjligen bidragit till den något förhöjda ammoniumkvävehalten.

De måttligt låga pH-värdena i marken vid Nynäs styrker förmodandet ovan, att grödornas rötter kunnat tränga ned i alven och utnyttja nitratkväve ända ned till ca 90 cm djup. I den betydligt surare alvjorden vid Finnsholmen fanns rötter huvudsakligen bara ned till den översta decimetern av lergyttjan (på närmare 40 cm djup). Enstaka rötter hittades dock i sprickor ned till ca 80 cm djup vid Finnsholmen (Lindén, 2013).

Betydelsen av det övervintrande mineralkvävet och kvävemineriseringen under växtsäsongerna för grödornas kväveförsörjning Den utnyttjbara mängden jordkväve för en gröda kan som nämnts sägas bestå av dels den upptagbara delen av det mineralkväve som finns i marken vid växtperiodens början och dels nettotillskottet av mineraliserat kväve under perioden fram till avslutad kväveupptagning. Beräkningen av kvävemineriseringstillskottet under växtsäsongen med den modell som angetts i avsnittet *Material och metoder* baseras ju på bestämningar av grödornas kväveupptag fram till deg-gulmognad samt mineralkväve i jorden (0-90 cm) vid periodens början (provtagning under den senare delen av april) och vid dess slut (deg-gulmognad). Den beräknade kvävefrigörelsen utgör dock som antytts ett netto av tillskott (genom mineralisering och luftnedfall) och förluster från markvätskan (utlakning, denitrifikation och immobilisering). Luftnedfallet och de nämnda förlusterna har här inte kunnat beaktas. Modellen har emellertid gett fullt brukbara uppgifter om nettotillskotten av mineraliserat kväve i olika undersökningar (Lindén, 1987; Lindén et al., 1992a-b; Delin, 2005; Engström, 2010). Skulle större kväveförlusterna från markprofilen än normalt uppkomma under perioden, blir de beräknade värdena dock mindre än väntat. Detta tycks delvis vara fallet i de undersökta organogena jordarna i Kvismardalen liksom i Andersons (1981) studier av en mulljord i södra Uppland.

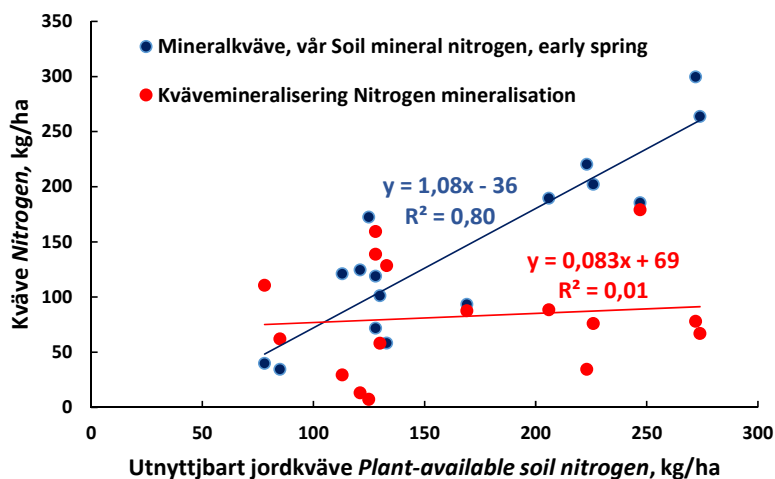
I tabell 12 och figur 5 anges den beräknade nettomineraliseringen av kväve under 1986-88 och mängderna utnyttjbart jordkväve. Det senare har även visats i tabell 9. I medeltal för alla försök erhöles en kvävefrigörelse på 82 kg N/ha, med lägsta och högsta värden på 7 respektive 179 kg N/ha. Då den utnyttjbara mängden jordkväve (dvs. kväve som upptagits av grödorna utan kvävegödsling) i medeltal uppgick till 166 kg/ha (tabell 9 och 12), skulle i genom-

snitt hälften av detta kväve ha härstammat från kväve som nettomineraliserats under växtsäsongen och således återstoden ha utgjorts av övervintrande mineralkväve, som kunnat utnyttjas. I fastmarksjordar är andelen utnyttjbart, övervintrande mineralkväve dock betydligt mindre (Lindén, 1992a-b).

Tabell 12. Utnyttjbart jordkväve motsvarande grödornas kväveupptag utan kvävegödsling och beräknad kväveminalisering under växtsäsongen, från mineralkväveprovtagning på våren till mineralkväve- och grödprovtagning vid degulmognad.

*Table 12. Plant-available soil nitrogen, corresponding to the nitrogen uptake by the crops without nitrogen fertilisation and calculated nitrogen mineralisation during the growing season, from soil sampling for determination of mineral nitrogen in spring until soil and crop sampling at dough or yellow ripeness. Mulljordsdjup = depth of the dark organic soil layers, Medeltal = average, Alla försök = all trials, Treåriga försök = 3-year trials, Standardavvikelse = standard deviation.*

Försöks- Plats <i>Trial site</i>	Mull- jords- djup, cm	Utnyttjbart jordkväve <i>Plant-available soil nitrogen</i>				Kväveminalisering <i>Nitrogen mineralisation</i>			
		1986	1987	1988	Medel- tal	1986	1987	1988	Medel- tal
<b>L3-2166:</b>									
Nynäs	65	223	272	113	203	34	78	29	47
Ytterby	50	206	274	133	204	89	67	129	95
Bärsta 2	30	125	128	78	110	7	159	111	92
<b>L3-2161:</b>									
Bärsta 1	80	226	247	128	200	76	179	139	131
Nynäs	90	121				13			
Ytterby	25	85				62			
Mörby	25	130				58			
Segersjö	30	169				88			
Medeltal, alla försök 1986		161				53			
Medeltal, 3-åriga försök		195	230	113	179	52	121	102	91
Medeltal, alla försök 1986-88					166				82
Standardavvikelse, alla försök 1986		53				30			
Standardavvikelse,		47	69	25		38	57	50	



Figur 5. Samband mellan å ena sidan utnyttjbart jordkväve under växtsäsongen och å den andra mineralkväveförråd på våren (inom 0-90 cm djup) eller beräknad kvävemineralisering under växtsäsongen.

Figure 5. Relationships between plant-available soil nitrogen and soil mineral nitrogen in early spring (0-90 cm soil) or calculated nitrogen mineralisation during the growing season.

Den i genomsnitt minsta kvävefrigörelsen erhöles under växtsäsongen 1986, med omkring hälften av mängderna 1987 och 1988 (tabell 12). Ändå blev mängderna utnyttjbart markkväve stora (i medeltal 195 kg N/ha i de treåriga försöken), beroende på stora mineralkväveförråd på våren (tabell 11). Den genomsnittligt största mängden utnyttjbart markkväve fastställdes 1987 (230 kg N/ha), beroende dels på mycket mineralkväve på våren (tabell 11) och dels större beräknad kvävefrigörelse detta år (i medeltal 121 kg N/ha). År 1988 fanns minst utnyttjbart markkväve, uppenbarligen beroende på mindre övervintrande mineralkväveförråd än tidigare år (tabell 11) till följd av den milda vintern 1987-88. Detta föreföll dock enligt modellberäkningarna delvis ha kompenstrats genom

viss ökad kvävefrigörelse under växtsäsongen 1988, dock mindre än 1987 (tabell 12).

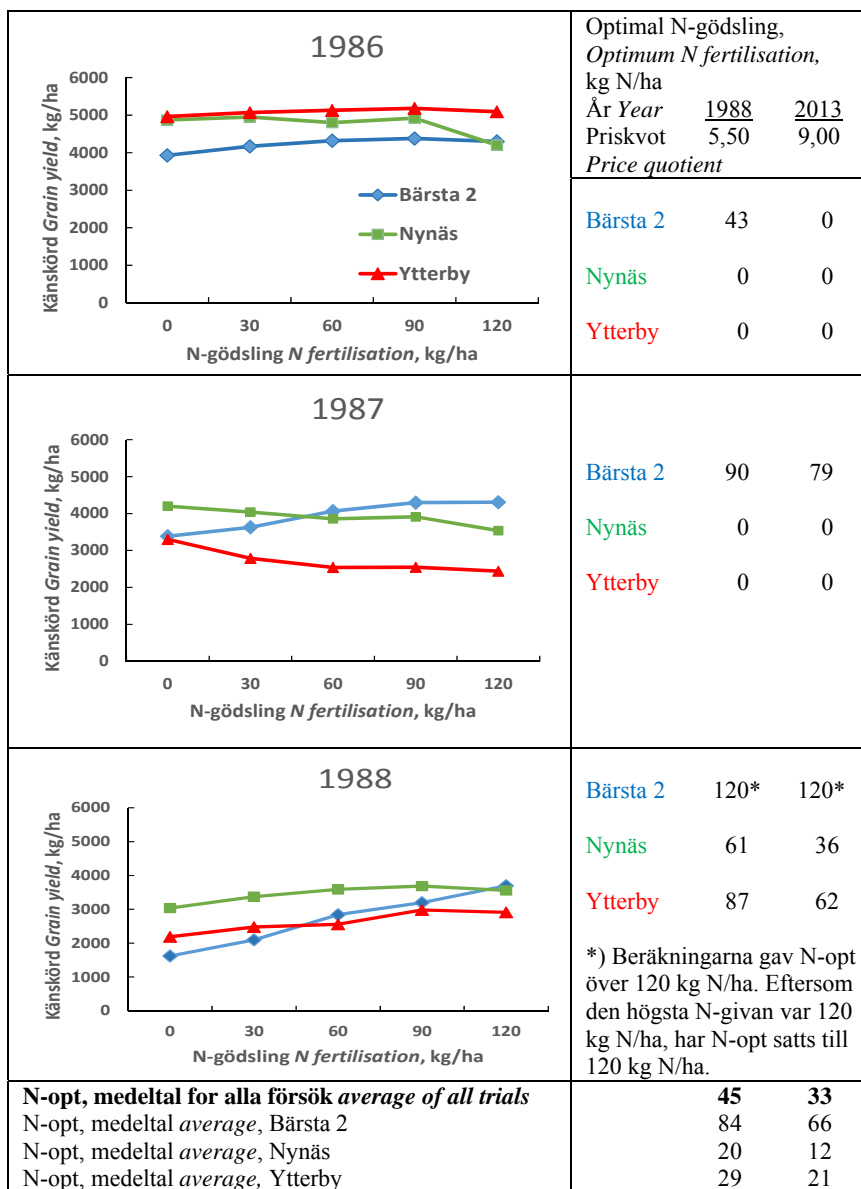
Kväveförluster i marken kan som antytts ha lett till att beräkningarna med den använda modellen gav förhållandevis låga värden på kvävemeneraliseringen under växtsäsongen 1986. Den faktiska mineraliseringen under denna tid kan således ha varit större än den beräknade, och måhända även i andra fall. För alla tre åren fanns det märkligt nog inte något samband mellan kvävemeneraliseringstillskotten under växtsäsongen och mängden utnyttjbart jordkväve ( $R^2 = 0,01$ ,  $n = 16$ ), figur 5. Fel i beräkningarna orsakade av modellens konstruktion kan tänkas bidra till att förklara detta.

Det rådde däremot ett nära förhållande mellan det övervintrande mineralkvävet (0-90 cm djup) och mängden utnyttjbart markkväve ( $R^2 = 0,80$ ;  $n = 16$ ), figur 5. Sambandet visar att ett tillskott på 1 kg utnyttjbart jordkväve motsvarades av en ökning av det övervintrande mineralkvävet med omkring 1 kg/ha (figur 5). Resultaten tyder på att bestämning av övervintrande mineralkväve i markprofilen borde vara till nytta för att bättre bedöma kvävetillgången för grödorna på mulljordar och därmed även gödslingsbehovet. Ett problem kan dock vara förluster av kväve till följd av stor vårnederbörd, såsom i april 1986 (tabell 8). Detta belyses i figur 3, där minskningar av mineralkvävet under våren 1986 framgår.

Kvävegödslingens inverkan på kärnskördarna samt ekonomiskt optimal gödsling

Högst skördenivåer i de tre årliga gödslingsförsöken (L3-2166) vid Nynäs, Ytterby och Bärsta 2 erhöles 1986 (ca 3 900 – 5 200 kg kärna per ha, oberoende av kvävegödslingnivåer), figur 6. År 1987 blev avkastningen lägre (ca 2 500 – 4 300 kg/ha) och lägst 1988 (ca 1 600 – 3 700 kg/ha). Som ovan nämns var växtsäsongen 1986 gynnsam för grödorna i Kvismardalen. Sommaren 1987 blev dessvärre mycket regnrik och kall. Det uppstod problem med ligg-säd i försöken, särskilt vid rikligare kvävegödsling. Vidare uppkom vattenskador i jorden och markstrukturproblem, som påverkade grödorna 1988. Detta år blev det förhållandevis torrt under den

tidigare den av växtsäsongen, även om nederbördsuppgifterna i tabell 8 (från SMHI:s meteorologiska station Örebro) inte bekräftar detta. Efter den milda vintern 1987-88 blev de övervintrande mineralkvävemängder i jorden små (tabell 11), vilket påverkade grödornas kvävetillgång negativt (tabell 12). Även detta bidrog troligen till de lägre skördarna.



Figur 6. Inverkan av stigande gödselkvävemängder på kärnskördarna av korn (15 % vattenhalt), samt ekonomiskt optimal kvävegödsling (N-opt) vid prisnivåer 1988 och 2013.

Figure 6. Effects of increasing amounts of fertiliser nitrogen on the grain yields of spring barley (15 % moisture), and economically optimum nitrogen fertilisation (N-opt) at price levels in 1988 and 2013.

Som nämnts tillfördes kväve i försöken i serien L3-2166 som kalk-ammonsalpeter, vilken radgödlades med kombisåmaskin i givor om 0, 30, 60, 90 och 120 kg N/ha. Kvävegödslingsnivåerna påverkade inte kärnskördarna (figur 6) så påtagligt som i försök med korn på fastmarksjordar (Mattsson, 2006). År 1986 ökade skörden som mest med 450 kg/ha i försöket vid Bärsta 2 (vid gödsling med 90 kg N/ha) och obetydligt på växtplatserna vid Ytterby och Nynäs. År 1987 uppgick avkastningsökningen till 900 kg/ha vid Bärsta 2 efter gödsling med 90 kg N/ha, medan kvävegödsling medförde skördesänkningar vid Ytterby och Nynäs (figur 6) till följd av ligg-säd. Under det sista året 1988 steg avkastningen på Bärsta 2 med drygt 2000 kg/ha efter tillförsel av 120 kg gödselkväve per ha. På Ytterby och Nynäs gav som mest en kvävegiva på 90 kg N/ha skördeökningar med omkring 700 kg/ha.

De ekonomiskt optimala gödselkvävegivorna har beräknats efter prisförhållanden dels 1988 och dels 2013. För det första av dessa år användes följande priser: 7,00 kr per kg gödselkväve och 1,27 kr per kg kornkärna, vilket ger en priskvot på 5,50 kr (figur 6). För mer nutida förhållanden och för att belysa hur prisförändringar påverkar de ekonomiskt optimala kvävegivorna användes följande prisuppgifter från Jordbruksverket för 2013 (Albertsson, pers. medd.): 9,00 kr per kg gödselkväve och 1,00 kr per kg kornkärna (priskvot = 9,00). Ingen hänsyn har tagits till den ekonomiska betydelsen av proteinhalten i kärnan.

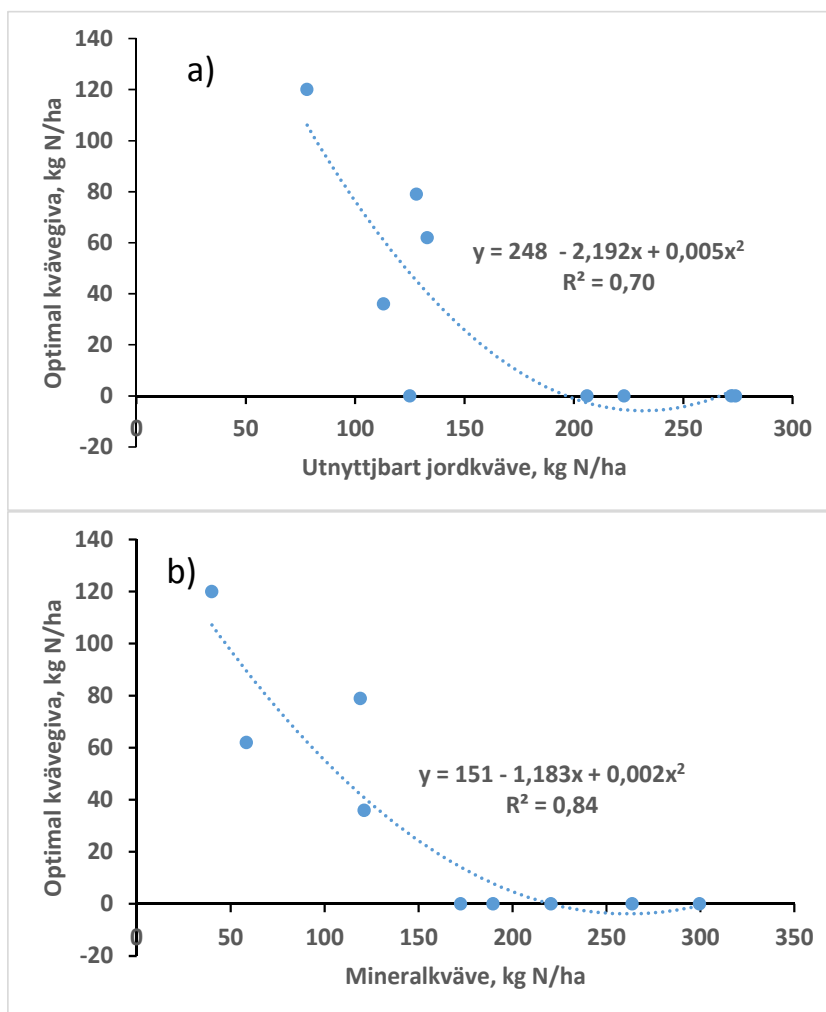
De beräknade optimala kvävegivorna visas i figur 6. Där framgår att med både 1988 och 2013 års priser blev kväveoptimum 1986-88 högst i försöket vid Bärsta 2. Där levererade jorden minst utnyttjbart jordkväve (tabell 9 och 12). I försöken vid Nynäs och Ytterby behövdes ingen kvävegödsling 1986 och 1987, uppenbarligen genom tillfredsställande jordkvävetillgång (tabell 12). År 1988, då försörjningen med utnyttjbart kväve var mindre än de båda föregående åren, behövdes gödselkväve även i dessa båda försök men mindre än vid Bärsta 2. Den högre priskvoten för 2013 medförde att kväveoptimum sjönk med i medeltal drygt 10 kg N/ha (figur 6). Med denna priskvot blev kvävegödsling oekonomisk i alla tre försöken 1986, trots högre skördenivåer detta år. Medeltalet för de



ekonomiskt optimala kvävemängderna för alla försök och år blev 45 och 33 kg N/ha med 1988 respektive 2013 års priser. Detta kan jämföras med Mattssons (2006) resultat avseende optimala kvävegivor i tre fältförsök på mulljordar: 46 kg N/ha.

För att beräkna hur den optimala kvävegödslingen i mulljordsförsöken i serien L3-2166 i Kvismardalen påverkades av mängderna utnyttjbart jordkväve under växtsäsongen och av mineralkvävet på våren utnyttjades regressionsanalys med användning av ett andragradspolynom  $y = a + bx + cx^2$ , där  $y$  = optimal kvävegiva och  $x$  = utnyttjbart jordkväve eller mineralkväve på våren. Avsikten var att till skillnad från ett rätlinjigt samband ( $y = a + bx$ ) åstadkomma en ”mjukare” och flackare kurvövergång till optimala kvävegivor ( $y$ ) lika med 0 kg N/ha vid stora mängder kväve ( $x$ ) i marken. För sambandet med utnyttjbart jordkväve erhöles  $R^2$ -värden lika med 0,86 och 0,70 ( $n = 9$ ) med prisnivåerna för 1988 respektive 2013. För mineralkväve på våren uppgick  $R^2$ -värdena för dessa års priser till 0,89 respektive 0,84 ( $n = 9$ ). De erhållna sambanden med 2013 års priser framgår av figur 7.

Dessa höga  $R^2$ -värden för sambanden visar, att den ekonomiskt optimala kvävegödslingen till korn på dessa mulljordar starkt påverkades av både det utnyttjbara jordkvävet under växtsäsongen och av mineralkvävetillgången i marken tidigt på våren. Enligt sambanden för 2013 års priser föreligger det inget gödselkvävebehov vid en tillgång på utnyttjbart jordkväve på omkring 200 kg N/ha och däröver (figur 7). Samma gäller med 1988 års prisnivåer (ej redovisat i figuren). Vid 200 kg utnyttjbart jordkväve skulle det med 1988 års priser behövas den i praktiken försumbara mängden 10 kg N/ha, och med priserna för år 2013 behövs inget gödselkväve alls. För mineralkväve på våren (0-90 cm djup) i mängder motsvarande 250 kg N/ha eller mer skulle det med 1988 års priser inte behövas något gödselkväve (ej redovisat i figuren). Med 2013 års priser sjunker gränsen för ekonomiskt optimal gödsling till en mängd mineralkväve på drygt 200 kg/ha (figur 7).



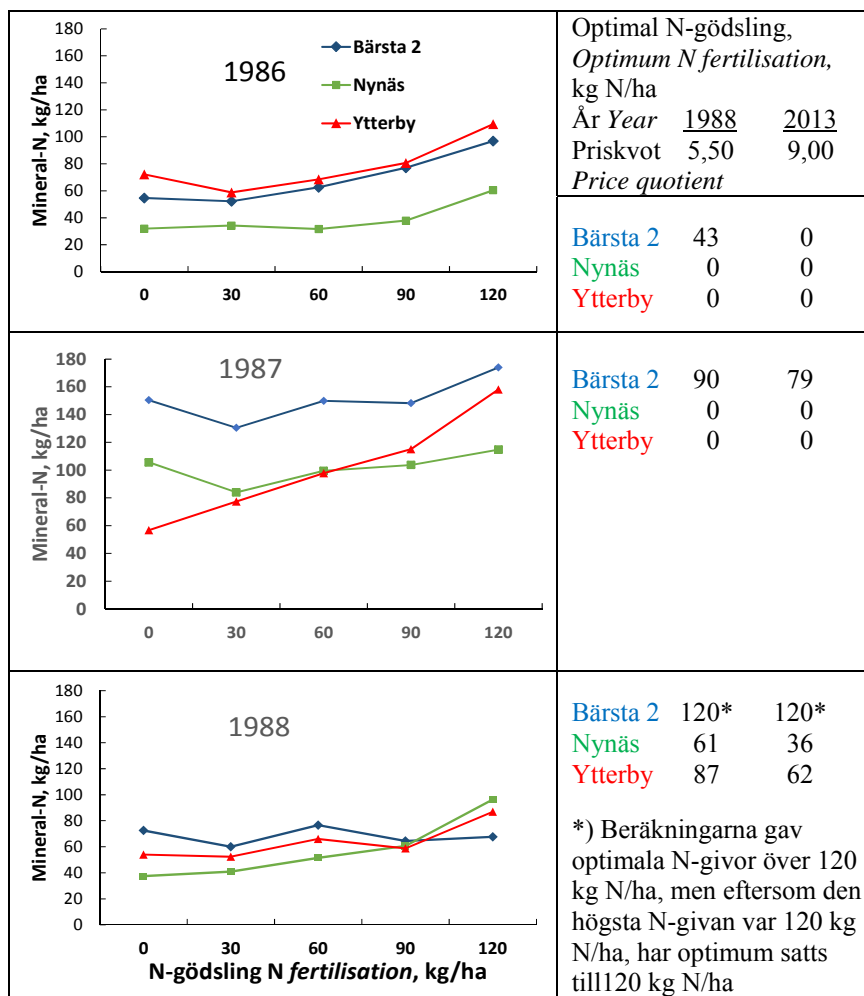
Figur 7. Samband mellan ekonomiskt optimal kvävegödsling och a) utnyttjbart jordkväve under växtsäsongen ( $n = 9$ ) eller b) mineralkväve inom 0-90 cm markdjup tidigt på våren ( $n = 9$ ) i försöken L3-2166, under inverkan av de valda prisnivåerna för gödselkväve och kornkärna 2013.

Figure 7. Relationships between economically optimum nitrogen fertilisation and a) plant-available soil nitrogen during the growing season ( $n = 9$ ) or b) soil mineral nitrogen within the 0-90 cm soil layer in early spring ( $n = 9$ ) in the fertilisation experiments (L3-2166), as influenced by the chosen price levels for fertiliser nitrogen and barley grain in 2013.

Resultatet för utnyttjbart jordkväve, med en gräns för ekonomiskt optimal gödsling vid ca 200 kg N/ha, stämmer överens med iakttagelser på den tidigare nämnda mulljorden vid Finnsholmen i nordvästra Uppland (Lindén 2013). Där fastställdes en jordkvävetillgång på 193 kg N/ha, som avser den kvävemängd som grödan (vårkorn) hade tagit upp fram till degmognad. Inget gödselkvävebehov tycktes finnas, eftersom grödan drabbades av liggsäd och proteinhalten i kärnan blev högre än normalt.

Inverkan av kvävegödslingen på de outnyttjade mängderna mineralkväve vid avslutad kväveupptagning och risken för ökad kväveutlakning

I försöken L3-2166 vid Nynäs, Ytterby och Bärsta 2 bestämdes de kvarvarande, outnyttjade mängderna mineralkväve (0-90 cm djup) i alla led vid avslutad kväveupptagning (medeldatum för jordprovtagningarna: den 24 augusti). Syftet var att på detta sätt belysa kvävegödslingens inverkan på kväveutlakningsrisken. I princip ökade mineralkväveresterna i allt högre grad med stigande gödselkvävegivor (figur 8). Efter tillförsel av 0, 30, 60, 90 och 120 kg N/ha till kornet (radgödsling i samband med sådden) fastställdes sålunda restmängder på i medeltal 71, 66, 78, 83 respektive 107 kg N/ha. Märkligt nog uppkom dock mindre minskningar av mineralkvävet efter en ökning av kvävegivan från 0 till 30 kg/ha. Denna förändring var särskilt tydlig vid Ytterby 1986, Nynäs och Bärsta 2 år 1987 samt vid Bärsta 2 år 1988 (figur 8). Förklaringen kan vara att det ganska ringa kvävetillskottet på 30 kg N/ha, utöver jordkvävetillgången, gav grödan bättre utveckling, vilket gjorde det möjligt att utnyttja allt befintligt kväve effektivare än med enbart jordkväve. Med ytterligare stigande kvävegivor, motsvarande 60 kg, 90 och 120 kg N/ha, tycks grödorna som framgått i allmänhet ha utnyttjat den samlade kvävetillgången allt sämre.



Figur 8. Inverkan av stigande gödselkvävemängder och ekonomiskt optimal kvävegödsling (N-opt) på de outnyttjade mängderna mineralkväve (0-90 cm djup) vid avslutad kväveupptagning hos kornet. N-opt har beräknats för prisnivåer år 1988 och 2013.

Figure 8. Effects of increasing amounts of fertiliser nitrogen and economically optimum nitrogen fertilisation (N-opt) on the residual amounts of soil mineral nitrogen (0-90 cm) at the end of nitrogen uptake by the spring barley. Optimum nitrogen fertilisation has been calculated for price levels in 1988 and 2013.

\*) For the trial at Bärsta 2 in 1988, the calculated N-opt at both price quotients exceeded 120 kg N/ha, which was the largest amount applied. Therefore, N-opt was set to 120 kg N/ha in this case.

I figur 8 anges även de ekonomiskt optimala kvävegivorna i varje försök för att bidra till att åskådliggöra, hur de outnyttjade mineralkväveresterna (0-90 cm djup) vid tiden för avslutad kväveupptagning påverkades av optimal kvävegödsling. De kvarvarande mängderna vid optimum beräknades genom linjär interpolering (ej infört i figur 8). En jämförelse mellan de beräknade kväveresterna vid optimala kvävegivor över 0 kg N/ha och mängderna i led A (utan kvävegödsling) visar, att skillnaderna i allmänhet blev små (-2...+4 kg N/ha). Det var bara i försöken vid Ytterby och Nynäs 1988 som mineralkväveresterna vid optimum blev påtagligt större (+5...+14 kg N/ha) än utan kvävegödsling. Annars tycks det främst vara vid tydligt överoptimala kvävegivor i kombination med stor jordkvävetillgång, och i sådana fall vid givor över 60 eller 90 kg N/ha, som de outnyttjade mängderna mineralkväve blev som störst.

I försöket Bärsta 2 medförde den optimala kvävegivan 1986 (43 kg N/ha enligt beräkning med prisnivån år 1988) en mineralkväverest på 57 kg N/ha (figur 8). Med 2013 års priser blev kväveoptimum 0 kg N/ha, vilket motsvarades av en rest på 55 kg N/ha. År 1987 blev restkvävemängderna mycket stora i detta försök, även i det ogödslade ledet där 150 kg N/ha återstod. Vid optimum blev då restmängden ca 148 kg N/ha med prisnivåerna för både 1988 och 2013 (kväveoptimum = 90 respektive 79 kg N/ha). De stora mineralkväveresterna i detta och de båda andra försöken 1987 tycks som tidigare diskuterats bero på att tillgången på utnyttjbart jordkväve (i medeltal 230 kg N/ha, tabell 9 och 12) översteg grödornas kvävebehov. År 1988 var dock jordkvävetillgången liten i försöket Bärsta 2 (tabell 9 och 12). Mer gödselkväve än annars behövdes, och kväveoptimum sattes till den största givan (120 kg N/ha) vid båda prisnivåerna (figur 6 och 8). Faktiskt kväveoptimum kan dock ha överstigit den högsta kvävegivan i försöket. Den ringa jordkvävemängden kan förklara den i detta fall flacka kurvan för kvävegödslingens inverkan på mineralkväveresterna upp till den största gödselkvävemängden. Vid 120 kg N/ha erhöles en kväverest på 68 kg N/ha, jämfört med 73 kg i ledet utan kvävegödsling.

I försöket vid Nynäs 1988 blev kväveoptimum 61 och 36 kg N/ha med 1988 respektive 2013 års prisnivåer, vilket ändrade rest-

kvävemängden från 52 till 43 kg N/ha. Här liksom vid Ytterby gav optimal kvävegödsling 1988 något större mineralkväverester än ledet utan kvävegödsling (figur 8).

Sammantaget för alla år gav interpoleringarna i fem försök i medeltal en outnyttjad mineralkvävemängd på 76,8 och 75,9 kg N/ha vid optimum beräknat med 1988 respektive 2013 års priser. Fyra av försöken är inte medtagna, då kväveoptimum blev 0 kg N/ha vid båda prisnivåerna. Priskvoterna för kärna och gödselkväve tycks under förhållanden som dessa således ha liten betydelse som miljömässigt styrinstrument för minskning av den kväveutlakningsrisk som outnyttjat mineralkväve vid avslutad kväveupptagning innebär. Ökade gödselkvävemängder kan med åren dock tänkas medföra tilltagande kväveminerisering, bl.a. under vinterhalvåret, och härigenom tilltagande kväveutlakningsrisk.

### **Övergripande diskussion och slutsatser ur rådgivningssynpunkt**

Inverkan på kornskördarna av stigande mängder gödselkväve

Vid stigande kvävegivor till grödorna (t.ex. 0, 30, 60, 90 kg N/ha osv.) fås ju till att börja med i princip större skördeökningar, men med ökande kvävetillgång blir skördeutbytet av ytterligare gödselkväve allt mindre. I mulljordsförsöken i Kvismardalen medförde emellertid redan små kvävegivor i allmänhet bara smärre öknings av kornets kärnskörd (figur 6) i jämförelse med resultat från stråsädesförsök på fastmarksjordar (jmf. Delin 2005; Mattsson, 2006; Engström, 2010). Stigande kvävegivor gav särskilt 1986 och 1987 flacka avkastningskurvor och sänkte i två fall kärnskörderna redan efter tillförsel av 30 kg N/ha. Orsakerna i dessa olika avseenden bör naturligtvis vara den i allmänhet goda försörjningen med kväve från marken, men i vissa fall även måttlig eller låg avkastningspotential. Gödselkvävet gav bäst skördeutbyte 1988, trots låga skördenivåer (figur 6), då tillgången på utnyttjbart jordkväve var mindre än under de båda föregående växtsäsongerna (tabell 9 och 12) till följd av kväveförluster under vinterhalvåret.

### Faktorer som påverkade optimal kvävegödsling

I försöken på mulljordarna i Kvismardalen visade sig mängderna utnyttjbart jordkväve under växtsäsongen i de flesta fall vara mycket stora i jämförelse med fastmarksjordar: i medeltal 166 kg N/ha med variationer från 78 till 274 kg (tabell 9 och 12). Vidare fanns mycket stora mineralkväveförråd inom 0-90 cm djup på våren, i medeltal 144 kg N/ha (variationsbredd: 35-300 kg), tabell 10 och 11. Skillnaderna mellan platserna och åren var ofta betydande för båda slagen av kväve. I gödslingsrådgivningen vore det önskvärt att ta kunna hänsyn till sådana växlingar.

Variationerna i jordkvävetillgång motsvarades av stora skillnader mellan både platser och år i den ekonomiskt optimala kvävegödslingen i de tre fältförsöken L3-2166 vid Nynäs, Ytterby och Bärsta 2 (figur 6 och 7). Det fastställdes ett starkt samband mellan å ena sidan ekonomiskt optimal kvävegödsling till kornet och å den andra utnyttjbart markkväve under växtsäsongen eller mineralkväve inom 0-90 cm djup tidigt på våren (figur 7). Med prisnivåerna 1988 och 2013 erhöles för utnyttjbart jordkväve  $R^2 = 0,86$  respektive 0,70 och för mineralkväve  $R^2 = 0,89$  respektive 0,84. Enligt sambanden förelåg det med 2013 års priser inget gödselkvävebehov vid en kvävetillgång på omkring 200 kg N/ha och däröver vare sig som utnyttjbart jordkväve eller som mineralkväve på våren (figur 7).

De använda priskvoterna för år 1988 och 2013 (5,50 respektive 9,00) medförde bara ganska små skillnader i de optimala kvävegivorna: 45 respektive 33 kg N/ha som medeltal för de tre åren 1986-88 ( $n = 9$ ), figur 6. Med 1988 års priser låg optimum vid 0 kg N/ha i fyra fall och med prisnivån 2013 i fem fall. För år 1988 sattes den optimala kvävegivan till så mycket som 120 kg N/ha vid båda prisnivåerna i försöket vid Bärsta 2. Detta år kom kväveoptima att ligga högre än 1986 och 1987 p.g.a. förhållandevis små övervintrande mineralkvävemängder (tabell 11 samt figur 3 och 4) och därigenom mindre tillgång till utnyttjbart jordkväve (tabell 9 och 12). Sådana årliga variationer i kvävegödslingsbehovet skulle kunna förutsägas genom fältvisa bestämningar av mineralkväve i 1983; Mattsson & Anderson, 1984; Lindén, 1987). Härtill kommer inverkan av kvävemineraliseringen under växtsäsongen ifråga, som

dock knappast kan förutsägas tillfredsställande genom jordundersökningar på förhand (jmf. Köhler, 1983; Lindén et al., 1993b; Delin, 2005). Bestämningar av det för grödorna utnyttjbara jordkvävet under växtsäsongen, genom provtagning och bestämning av stråsådesgrödors kväueupptag i icke kvävegödslad jord, visar emellertid den samlade effekten av övervintrande mineralkväve och kväveminerisering under växtperioden.

Metoder för bestämning av utnyttjbart jordkväve för styrning av den ekonomiskt optimala kvävegödslingen

Redan under 1980-talet framfördes förslaget att åtminstone på fastmarksjordar använda sig av icke kvävegödslade smårutor (0N-rutor) inom fältet ifråga med provtagning av grödan för att bestämma dess tillgång på utnyttjbart jordkväve (jmf. Lindén, 1987). Detta avsåg en praktisk tillämpning av det slag av grödprovtagning som ofta använts under senare årtionden i undersökningar av jordkvävetillgången, såsom i studierna i Kvismardalen. Genom att utföra sådana provtagningar av grödorna under några år borde genomsnittsdata erhållas, som kunde läggas till grund för efterföljande års gödsling. Det visade sig dock senare, att kvävemineriseringen och tillgången på utnyttjbart jordkväve kunde variera mer eller mindre kraftigt mellan åren inom en och samma försöksplats (Lindén et al. 1992b) eller på ett visst fält (Delin, 2005). Dessutom kan inomfältsvariationerna med avseende på mineralisering eller tillgång på utnyttjbart jordkväve vara betydande (Delin, 2005; Wetterlind, 2009). Detta försvårar användningen av 0N-rutor som prognosunderlag. Vidare kan större inomfältsvariationer kräva ett alltför stort antal 0N-rutor ur arbets- och kostnadssynpunkt.

En förenkling vore att kunna skördetröska grödan inom 0N-rutorna på ett fält och använda kärnskördarna som mått på markkvävetillgången, men överensstämmelsen mellan dessa storheter tycks inte vara fullständig (tabell 9). Däremot fann Gruvaeus (2008) i försök med höstvetete på fastmarksjordar, att kväveskörden (kärnskörd\*totalkvävehalt) gav mycket värdefull information för beskrivning av gödselkvävebehovet. Vad gäller de undersökta organogena jordarna i Kvismardalen bekräftar dock de stora varia-



tionerna i utnyttjbart markkväve mellan åren (tabell 9 och 12), att ”historiska” värden från 0N-rutor inte kan ge tillräckligt säkert underlag för kvävegödslingsrekommendationer under ett följande år.

Det har föreslagits att mullhalten skulle kunna fungera som styrinstrument för kvävegödsling på organogena jordar. Sålunda föreslog Albertsson (2013) för mulljordar ett kvävetillskott från marken med 2 kg N/ha för varje procents ökning av mullhalten. De stora, årliga skillnaderna i utnyttjbart jordkväve i de fyra treåriga försöken på organogen jord i Kvismardalen (tabell 9 och 12) tyder dock på mycket osäkra gödslingsråd, om dessa skulle grundas på mullhaltsvariationer. För sambandet mellan mullhalt inom 0-30 cm djup och utnyttjbart jordkväve erhöles som nämnts  $R^2 = 0,11$  (figur 2). Även sambandet mellan mulljordsdjup och utnyttjbart jordkväve var alltför svagt ( $R^2 = 0,30$ ) för praktisk tillämpning. Det tycks av dessa skäl inte vara möjligt att basera bedömningar av gödselkvävebehovet på mulljordar på bestämningar av vare sig mullhalt i matjorden eller mulljordsdjup.

Svårigheter att utnyttja mullhalt vid beräkning av kvävemineraliseringen, till följd av stora variationer mellan åren i mängderna frigjort kväve, framgår även av samnordiska undersökningar på fastmarksjordar redovisade av Lindén et al. (1992b). Delin (2005) erhöles alltför svaga samband för att kunna utnyttja mullhalt (även i kombination med lerhalt) för beskrivning av inomfältvariationer i kvävemineralisering eller tillgång på utnyttjbart jordkväve. På jordar med starkt varierande mullhalter har dock Wetterlind (2009) studerat användning av mullhalt i kombination med NIR-spektroskopi i jord för att förutsäga mängden utnyttjbart jordkväve. Resultaten tydde på möjligheter till framgång.

Kvävegödslingsprognoser baserade på markens mineralkväveförråd på våren

I medeltal för alla undersökta mulljordar i Kvismardalen och alla år ( $n = 16$ ) fanns som nämnts så mycket som 144 kg mineralkväve per ha inom 0-90 cm djup under den senare delen av april (tabell 10). Variationerna mellan försöksplatserna och åren var betydande (va-

riationsbredd: 35-300 kg N/ha). Mineralkvävet påverkade i sin tur tydligt mängderna utnyttjbart jordkväve. De stora skillnaderna mellan platser och år i utnyttjbart jordkväve i försöken L3-2166 förklaras sålunda väl av variationerna i övervintrande mineralkväve inom 0-90 cm djup ( $R^2 = 0,80$ , figur 5).

Under 1970- och 1980-talen utfördes utomlands och i Sverige ett omfattande forskningsarbete för att undersöka möjligheterna att basera kvävegödslingsprognoser på mineralkvävebestämning tidigt på våren (Scharpf, 1977; Østergaard et al., 1983; Neeteson, 1990; Mattsson & Anderson, 1984; Lindén, 1987). I svenska och nordiska undersökningar har det emellertid visat sig, att de övervintrande mängderna mineralkväve normalt är små eller ganska små (ofta högst 30-50 kg N/ha inom 0-90 cm djup under svenska förhållanden), med endast smärre variationer mellan åren. Omkring 15-35 kg N/ha av detta kväve kan dessutom anses vara utnyttjbart (se nedan). Mineralkvävet på våren är därmed oftast av liten betydelse för det optimala behovet av gödselkväve på fastmarksjordar (Mattsson & Anderson, 1984; Lindén, 1992b; Gruvaeus, 2008). Därför används sådana rekommendationer, baserade på jordprovtagningar inom 0-60 cm djup, egentligen inte längre i praktisk rådgivning i Sverige (jmf. Albertsson, 2013).

Som nämnts fanns det däremot mycket stora mineralkväveförråd på våren i mulljordarna i Kvimardalen. Det råde som också redovisats ett starkt samband mellan detta övervintrande mineralkväve och ekonomiskt optimalt gödselkvävebehov på de undersökta mulljordarna (figur 7). Detta tyder på att jordprovtagningar med bestämning av mineralkväve i alla fall skulle kunna förbättra precisionen i kvävegödslingen på mulljordar. Tidigare utförde Hushållningssällskapet i Örebro län därför provtagningar med mineralkväveanalys åt lantbrukarna, men råden visade sig inte alltid vara tillförlitliga (Anderson, pers. medd.). Orsaken var troligen bl.a. förluster av kväve efter vårprovtagningen (jmf. figur 3).

Bestämning av tillskott av mineraliserat kväve under växtsäsongen I medeltal för alla försök fastställdes en kvävefrigörelse på 82 kg N/ha under växtsäsongen, med lägsta och högsta värden på 7 respektive 179 kg N/ha (tabell 12). Då den utnyttjbara mängden jordkväve (dvs. kväve som tagits upp av grödorna utan kvävegödsling) i medeltal uppgick till 166 kg/ha (tabell 9 och 12), borde därmed i genomsnitt hälften av detta kväve ha härstammat från kväve som nettomineraliserats under växtsäsongen. Beräkningarna av kvävefrigörelsen i mulljordarna föreföll dock ge osäkra, i vissa fall förvånansvärt låga värden. De visade sig ofta bli av samma storleksordning som i fastmarksjordar (jmf. Lindén, 1987; Delin 2005; Engström, 2010). Som framgår av figur 5 erhöles förvånansvärt inget egentligt samband i mulljordsförsöken mellan kvävemineraliseringens storlek under växtsäsongen och tillgången på utnyttjbart kväve för grödorna ( $R^2 = 0,01$ ). Orsakerna till resultaten i de båda avseendena kan vara kväveförluster genom utlakning och denitrifikation på våren och/eller under den efterföljande växtperioden (jmf. Anderson, 1981). Användning av den tillämpade modellen för beräkning av kvävemineralisering under växtsäsongen bör således undvikas på organogena jordar, även om den synes ha fungerat väl i undersökningar på fastmarksjordar (Lindén et al., 1992a-b; Delin 2005; Engström, 2010).

#### Styrning av kvävegödsling på basis av grödans kvävestatus under pågående växtsäsong

Inget av de ovan diskuterade förfarandena för beskrivning av grödornas kväveförsörjning på mulljord tycks kunna användas invändningsfritt i gödslingsrådgivningen, bl.a. genom att kväveförhållandena under växtperioden inte kan förutsägas. För säkrare bedömningar av kvävegödslingsbehovet bör det därför fungera bättre med metoder för reflektansmätning i grödorna för att beskriva deras kvävestatus under den pågående växtsäsongen. Skanning av grödan med Yaras N-sensor (med mätning av reflektans) används i många fall för kompletteringsgödsling i praktisk odling (Nissen, pers. medd.) och ger enligt Frostgård (2013) möjligheter till exaktare kvävegödsling. Frostgård (2013) anger att malkorns proteinhalt förbättrades med hjälp av kompletteringsgödsling, som styrts med

N-sensor, under ett år (2012) med generellt höga skördar men låga proteinhalter. Wetterlind (2010) rapporterade N-sensor-mätningar i icke kvävegödslade led (0N) i höstveteförsök för att prediktera kväveskörden där. Sambanden blev mycket goda mellan sådana förutsägelser och uppmätt kväveskörd utan kvävegödsling, bäst vid N-sensormätning i flaggbladsstadiet. Undersökningar som dessa borde även utföras i stråsädesgrödor på mulljordar, eftersom de övriga, ovan diskuterade förfarandena inte visat sig vara tillräckligt tillförlitliga.

#### Risker för kväveutlakning på mulljordar – möjliga motåtgärder

Inom 0-90 cm markdjup fanns på platsen för försöket L3-2161 Nynäs mineralkvävemängder på ca 150 kg N/ha, varav 20 kg ammonium- och 130 kg nitratkväve (figur 4) som medeltal för alla provtagningstillfällen under olika årstider 1986-88 (n = 15). På de övriga försöksplatserna rådde en liknande fördelning med jämförelsevis små mängder ammoniumkväve, ungefär lika mycket som i fastmarksjordar (Lindén, 1981). I mulljord med gyttejnehåll och mycket låga pH-värden i alven kan dock mängden ammoniumkväve i sådana markskikt vara mycket stor (Lindén, 2013). Ammoniumkvävehalterna i försöken i Kvismardalen ändrades föga med årstiderna, vilket förhållandena i försöket L3-2166 Nynäs är ett exempel på (figur 4). Det som bekant svårörliga ammoniumkvävet torde inte ha påverkat kväveutlakningsrisken påtagligt. Däremot var nitratkväveförråden i allmänhet betydligt större än i fastmarksjordar (Lindén, 1981; Lindén et al., 1992a)). Detta måste ha ökat riskerna för kväveförluster. Mängderna nitratkväve varierade avsevärt med årstiderna (figur 4), vilket tydligt avspeglades i mineralkvävets årstidsvisa variationer (figur 3). Det uppkom uppenbarligen stora kvävemineraliseringsstillskott under höstarna och även under vintrarna, och därigenom ökade mängderna nitrat- och mineralkväve under vinterhalvåret (figur 3 och 4). Nitratkväve i hela de undersökta markprofilerna (0-90 cm djup) kunde dock vanligen utnyttjas väl av grödorna under växtsäsongen. Växternas kväveupptag medförde sålunda, att minst nitratkväve (eller mineralkväve) återfanns vid avslutad kväveupptagning, dvs. vid deg- eller gulmognad (figur 3 samt tabell 10 och 11). Detta framgick tydligt i

behandlingarna utan kvävegödsling, dvs. i 0N-rutorna och led A i kvävegödslingsförsöken (figur 4).

Utan kvävegödsling under föregående vår visade sig mängderna kvarvarande, outnyttjat mineralkväve inom 0-90 cm markdjup vid avslutad kväveupptagning uppgå till 60 kg N/ha (variationsbredd: 12-150 kg, tabell 10) som medeltal för alla försök på mulljordarna (n = 16). Mineralkväveresterna vid optimal kvävegödsling översteg dock i allmänhet inte mängderna i det icke kvävegödslade ledet (A) mer än med några få kg N/ha (figur 8). I övrigt tycks det främst ha varit vid tydligt överoptimala kvävegivor i kombination med stor jordkvävetillgång som de outnyttjade mängderna mineralkväve blev som störst. Efter växtsäsongen 1987 blev mineralkväveresterna, med och utan kvävegödsling, större än 1986 och 1988 (tabell 11, figur 8). Detta tycks bero på större tillgång på utnyttjbart jordkväve år 1987 (tabell 9). Skördarna blev måttliga detta år (tabell 9, figur 6). Grödornas kvävetillgång tycks därför ha överstigit behovet, med större outnyttjade kvävemängder som följd.

Prisnivåerna för gödselkväve och kornkärna för 1988 och 2013 samt de beräknade priskvoterna (5,50 respektive 9,00) påverkade de optimala gödselkvävemängderna något (figur 6 och 8). De blev ca 10 kg N/ha lägre med 2013 års priser, men detta minskar bara de outnyttjade mängderna mineralkväve med något enda kg N/ha. Prisnivåerna för kärna och gödselkväve tycks under förhållanden som dessa således ha liten betydelse som miljömässigt styrinstrument på mulljordar för minskning av den kväveutlakningsrisk som outnyttjat mineralkväve vid avslutad kväveupptagning innebär. Ökade gödselkvävemängder kan dock tänkas medföra tilltagande kväve mineralisering med åren, bl.a. under vinterhalvåret, och härigenom stegrad risk för kväveförluster.

I allmänhet tilltog mängderna mineralkväve kraftigt under höstarna (tabell 10 och 11 samt figur 3 och 4). Motåtgärder mot kväveförluster på mulljordar borde därför i första hand sättas in mot denna höstmineralisering (se nedan). På de fyra försöksplatserna med treåriga undersökningar ökade mineralkvävet från  $53 \pm 16$  kg N/ha vid deg-gulmognad 1986 till  $136 \pm 24$  (medeltal och standardav-

vikelse) i början av december detta år (tabell 11). Ökningarna på dessa mulljordar under höstarna (utom 1987) var betydligt större än de brukar vara i fastmarksjordar (jmf. Lindén et al., 1992b, 1993a och 1999; Engström, 2010).

De betydande kvävetillskotten under hösten på mulljordar, och delvis även under vintern (tabell 10 och 11 samt figur 3), innebär som antytts påtagliga risker för ökade förluster genom utlakning och denitrifikation under vintern och den efterföljande våren i jämförelse med fastmarksjordar. Utöver bästa möjliga precision i kvävegödslingen för att hålla mineralkväveresterna på låg nivå vid avslutad kväveupptagning är det således minst lika viktigt att motverka anhopningen av mineraliserat kväve i marken under hösten. Detta kan ske dels genom odling av fånggrödor enligt gällande rekommendationer (Jordbruksverket, 2014), och dels genom att undvika att stimulera kvävemineraliseringen på hösten genom jordbearbetning (stubbearbetning och plöjning) under denna årstid (jmf. Stenberg et al., 1999). Istället bör jordbearbetningen skjutas upp till våren. Vårplöjning bör vara fullt möjlig på mulljordar.

#### Konsekvenser av klimatförändringar med mildare vintrar

Vintrarna 1985-86 och 1986-87 var kalla (tabell 8) med långvarig tjäle i jordarna i Kvismardalen. Detta avspeglar vinterförhållanden som rådde under tidigare årtionden och som genom klimatförändringarna har blivit allt mindre vanliga. Det blev däremot en mild vinter 1987-88, med i stort sett ofrusen mark i åkerjordarna i Kvismardalen. Denna vinter kan ses som ett exempel på de milda eller mycket milda vintrar som ofta förekommit alltsedan 1990-talet. Sensommaren och hösten 1987 var nederbördsrika. Mineralkvävestudierna i mulljordarna 1986-88 åskådliggör därför konsekvenser för kvävet i marken av den pågående övergången från ett kallare till ett varmare och även nederbördsrikare klimat här i landet.

De båda vintertyperna påverkade tydligt mineralkväveförhållandena i marken i de undersökta mulljordarna. Under vårarna 1986 och 1987 fanns mycket stora övervintrande mineralkväveförråd kvar i marken. Vintrar med långvarig och djup tjäle bör vanligen med-

föra, att smältvattnet i högre grad än annars avbördas från marken genom ytavrinning (Lindén, 1981). Milda vintrar med barmark och utan nämnvärd tjäle och/eller med snö på ofrusen mark bör å andra sidan orsaka större kväveförluster genom att överskottsvattnet i större utsträckning perkolerar ned genom marken vid tö- eller mildväder. Under mildvintern 1987-88 uppstod förmodligen större kväveförluster på försökspatserna, eftersom förhållandevis små mängder mineralkväve återstod på våren 1988. Även under hösten dessförinnan hade uppenbarligen kväveförluster uppkommit till följd av den nämnda, rikliga nederbörden. Allt detta påverkade mängden utnyttjbart markkväve för grödorna, som blev mindre under växtsäsongen 1988 än under de båda föregående åren. Detta ledde i sin tur till ökat gödselkvävebehov 1988 på de undersökta mulljordarna i Kvismardalen. Klimatförändringar med nederbördsrikare och mildare höstar och vintrar som följd kan således medföra ökat behov av gödselkväve som kompensation för kväveförluster.

### Referenser

- Albertsson, B. 2013. Riktlinjer för gödning och kalkning 2014. *Statens Jordbruksverk, Jordbruksinformation 11-2013*, 90 s.
- Anderson, L. E., 1981. Kvävemineralisering och kväveupptagning på mulljord i jämförelse med lerjord. *Examensarbete i växt-näringslära, december 1981. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avd. för växt-näringslära*, 57 s.
- Andersson, S. 1955. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. VIII. En experimentell metod. *Grundförbättring* 8, specialnummer 2, 7-98.
- Berglund, K. 1996a. Properties of cultivated gytty soils. *International Peat Journal* 6, 5-23.
- Berglund, K. 1996b. Agricultural improvement of cultivated organic soils. II. Effects of liming and deep cultivation on soil properties and root development. *Soil Use and Management* 12, 176-180.
- Berglund, Ö. 2011. Greenhouse gas emissions from cultivated peat soils in Sweden. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Doctoral thesis no. 2011:2*, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, 107 s.

- Bremner, J.M. & Keeney, D.R. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Science Society of America Proceedings* 30, 577-582.
- Delin, S. 2005. Site-specific nitrogen fertilization demand in relation to plant available soil nitrogen and water. Potential for prediction based on soil characteristics. Doctoral thesis no. 2005:6, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 130 s.
- Engström, L. 2010. Nitrogen dynamics in crop sequences with winter oilseed rape and winter wheat. *Doctoral thesis no. 2010:92*, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 109 s.
- Frostgård, G. 2013. Höga skördar gav låga proteinhalter i malkorn. *Växtpressen 1/2013*, Yara, Landskrona, 18-19.
- Gruvaeus, I., 2008. Kvävebehov för höstvetete under olika odlingsförutsättningar. *Försöksrapport 2007 för Mellansvenska försökssamarbetet och Svensk raps*, Hushållningssällskapens Multimedia, 26-32.
- Hansson, A.-C. 1987. Roots of arable crops: production, growth dynamics and nitrogen content. *Doktorsavhandling, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi och miljövärd*, 28, 118 s.
- Hjertstedt, H. 1946. De organogena odlingsjordarnas beskaffenhet i olika län med avseende på torvslag, förmultningsgrad och reaktion samt innehåll av kalk, kväve, kali och fosforsyra, organisk substans, seskvioxider och svavelsyra. *Svenska Vall- och mosskulturföreningens kvartalsskrift* 8, 255-277.
- Jansson, U. 2011. Markanvändning. I: *Sveriges Nationalatlas. Jordbruk och skogsbruk i Sverige sedan 1900 – en kartografisk beskrivning* (temaredaktör: U. Jansson, temvärd: Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien). Norstedts förlagsgrupp AB, 22-35.
- Jordbruksverket 2014. Höst- och vinterbevuxen mark. [www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtnaring/hostochvinter-bevuxenmark](http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtnaring/hostochvinter-bevuxenmark) Avläst 29.08.2015.
- Jordbruksverket och statistiska Centralbyrån, 2011a. *Jordbruket i siffror åren 1866-2007*, 207 s.
- Jordbruksverket och statistiska Centralbyrån, 2011b. *Jordbruket i siffror åren 1866-2007*. tabellbilaga, 471 s.



- Köhler, J. 1983. Eignung von Methoden der Bodenanalyse zur Erfassung der N-Nachlieferung von Lößböden und zur Bemessung der Stickstoffspätgaben zu Winterweizen. *Fachbereich Gartenbau der Universität Hannover, Dissertation*, 146 s.
- Lennqvist, J. 2007. Våtmarkshistoria: Hjälmarens och Kvismarens stränder under 1800- och 1900-talen. *Örebro Studies in History* 7, Örebro, 314 s.
- Lennqvist, J. 2008. Våtmarkens brukare – omskapare av Hjälmarens och Kvismarens våtmarker under ett och ett halvt sekel. I: Svensk mosskultur – odling, torvanvändning och landskapets förändring 1750-2000 (red. L. Runefeldt), *Kungl. Skogs- och lantbruksakademien, Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden, nr 41, Supplement till Kungl. Skogs- och lantbruksakademins Tidskrift*, 469-482.
- Lindén, B. 1981. Sambandet mellan odlingsåtgärderna och markens mineralkväveförråd. *Kungl. Skogs- och lantbruksakademien, rapport nr 5*, 1981, 67-123.
- Lindén, B. 1987. Mineralkväve i markprofilen och kvävemineralisering under växtsäsongen. I: Kvävestyrning till stråsäd - dagsläge och framtidsmöjligheter. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, rapport 24*, 23-46.
- Lindén, B. 2008. Efterverkan av olika förfrukter: inverkan på stråsädesgrödors avkastning och kvävetillgång – en litteraturoversikt. *Avdelningen för precisionsodling, Sveriges lantbruksuniversitet, rapport 14*, 64 s.
- Lindén, B. 2013. Kvävetillgång och växtodling på en kärrtorvjord ovanpå gytjelera i Uppland. En fallstudie. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, rapport nr 12*, 40 s.
- Lindén, B., Lyngstad, I., Sippola, J., Søegaard, K. & Kjellerup, V. 1992a. Nitrogen mineralization during the growing season. I. Contribution to the nitrogen supply of spring barley. *Swedish J. agric. Res.* 22: 3-12.
- Lindén, B., Lyngstad, I., Sippola, J., Søegaard, K. & Kjellerup, V. 1992b. Nitrogen mineralization during the growing season. II. Influence of soil organic matter, and effect on optimum nitrogen fertilization of spring barley. *Swedish J. agric. Res.* 22: 49-60.
- Lindén, B., Aronsson, H., Gustafson, A. & Torstensson, G. 1993a. Fånggrödor, direktsådd och delad kvävegiva - studier av kväve-

- verkan och utlakning i olika odlingssystem i ett lerjordsförsök i Västergötland. *Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Ekohydrologi 33*, 37 s.
- Lindén, B., Lyngstad, I., Sippola, J., Dissing Nielsen, J., Søegaard, K. & Kjellerup, V. 1993b. Evaluation of the ability of three laboratory methods to estimate net nitrogen mineralization during the growing season. *Swedish J. agric. Res.* 23: 161-170.
- Lindén, B., Engström, L., Aronsson, H., Hessel Tjell, K., Gustafsson, A., Stenberg, M. & Rydberg, T. 1999. Kväve mineralisering under olika årstider och utlakning på en mojord i Västergötland. Inverkan av jordbearbetningstidpunkter, flytgödseltillförsel och insådd fånggröda. *Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Ekohydrologi 51*, 57 s.
- Mattsson, L. 2006. Kväveintensitet – avkastning och kväveupptag. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avd. för växtnäringslära, rapport 212*, 43 s.
- Mattsson, L. & Anderson, L.E., 1984. Anpassad gödsling med kväveprognoser – teknik och tillämpning. *Aktuellt från Lantbruksuniversitetet 336*, Mark-växter, Uppsala, 18 s.
- Morell, M. 2011. Jordbruket i industrisamhället. Mark och husdjur, teknik och arbete. Åker och äng. I: *Det svenska jordbrukets historia, band 5* (red. J. Myrdal). Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, Stockholm, s. 191-202.
- Neeteson, J.J. 1990. Development of nitrogen fertilizer recommendations for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching, *Fertilizer Research* 26, 291-298.
- Nilsson, L. G. 1982. De organogena jordarna som odlingsjordar. III. Växtnäringsfrågor på mulljordar. *Skogs- och lantbruksakademins tidskrift 121*, 109-112.
- Osvald, H. 1937. *Myrar och myrodling*. Kooperativa Förbundets Förlag, 407 s.
- Runefeldt, L. 2008. Svenska Mosskulturföreningen 1886-1939. I: Svensk mosskultur – odling, torvanvändning och landskapets förändring 1750-2000 (red. L. Runefeldt), *Kungl. Skogs- och lantbruksakademien, Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden, nr 41*, Supplement till Kungl. Skogs- och lantbruksakademins Tidskrift, 27-52.

- Scharpf, H.-C. 1977. Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf. *Fakultät für Gartenbau und Landeskultur der Universität Hannover. Dissertation*, 174 s.
- Sjögren, G. 1987. Studier av kväveutlakningsrisker och kvävegödslingsbehov på mulljordar i Kvismardalen. *Examensarbete i växtnäringslära. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för växtnäringslära*, 52 s.
- Stenberg, M., Aronsson, H., Lindén, B., Rydberg, T. & Gustafson, A. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil & Tillage Research* 50, 115-125.
- Wetterlind, J. 2009. Improved farm soil mapping using near infrared reflection spectroscopy. *Doctoral thesis no. 2009:68, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 140 s.
- Wetterlind, J. 2010. Mätningar med Yara N-sensor för att skatta markens kvävelevererande förmåga. Sveriges lantbruksuniversitet, *Institutionen för mark och miljö, Precisionsodling och pedometri, rapport 4*, 19 s.
- von Horn, H. 1982. Inlägg vid diskussion under seminariet "De organogena jordarna som odlingsjordar" vid Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens sammankomst den 10 december 1981. *Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 121, 117.
- von Post, L. 1922. Sveriges Geologiska Undersöknings torvinventering och några av dess hittills vunna resultat. *Svenska Mosskulturföreningens Tidskrift*, 36, Jönköping, 1-37.
- Østergaard, H.S., Hvelplund, E. K. & Rasmussen, D. 1983. *Kvælstofprognoser. Bestemmelse af optimalt kvælstofbehov på grundlag af jordanalyser og klimamålinger før vækstsæsonen*. Landskontoret for Planteavl, Viby J, Danmark, 200 s.

#### **Personliga meddelanden**

Albertsson, Bertil, Statens Jordbruksverk, Skaraborgsgatan 30,  
532 30 Skara  
Anderson, Lars Eric, Gräve-Åkerby 230, 705 93 Örebro  
Nissen, Knud, Lantmännen Lantbruk, Östra Hamnen 1A,  
531 40 Lidköping

Distribution:  
SLU  
Institutionen för Mark och miljö  
Box 7014  
750 07 UPPSALA

I denna serie publiceras forsknings- och försöksresultat från Institutionen för mark och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet. Serien spänner över ämnesområdena markkemi, markfysik, markbiologi och vattenvård.

*In this series research results from the department of Soil and Environment at the Swedish University of Agricultural Sciences are reported. The reports are issued within the areas biogeochemistry, biogeophysics, soil biology and water quality.*