

## Nedbrydning af halm

### II. Vægttab af byghalm placeret på jordoverfladen og ændringer i halmens indhold af plantenæringsstoffer

#### *Decomposition of straw*

#### *II. Weight loss and plant nutrient content of surface applied barley straw*

**Bent Tolstrup Christensen**

#### **Resumé**

Nedbrydningsforløbet af byghalm (*Hordeum vulgare* L.) anbragt på jordoverfladen undersøgte under markforhold ved anvendelse af snittet halm indesluttet i netposer. Halmens vægttab og ændringer i halmens indhold af plantenæringsstoffer i perioden 15. september 1981 til 5. maj 1982 bestemtes ved i alt 10 indsamlinger af halmprøver.

Halmens vægttab i hele forsøgsperioden (230 dage) udgjorde 25%. Tabet i efterårsperiodens første 30 dage var 17%, mens vægttabet i vinterperioden var ubetydeligt. Halmens vægttab som funktion af nedbrydningens varighed kunne beskrives tilfredsstillende ved et dobbelt eksponentielt udtryk.

Efter et indledende tab på 16% steg halmens N-indhold i forsøgsperioden med 77%. Halmen viste intet indledende tab af P og Mg, hvorimod halmens K-indhold reduceredes med mere end 90% i løbet af efterårsperiodens første 30 dage. I hele forsøgsperioden akkumuleredes 3,46 mg N, 1,16 mg P og 0,64 mg Mg pr. g halmtørstof, mens halmens Ca-indhold forblev uændret. Halmens samlede tab af K udgjorde mere end 12 mg pr. g halmtørstof. En betydelig del af akkumuleringen af N, P, Mg kan skyldes tilførsel med nedbøren og med indtrængende jord.

**Nøgleord:** Byghalm, nedbrydning, ændringer i næringssaltindhold, vægttab.

#### **Summary**

The decomposition of surface-applied barley straw (*Hordeum vulgare* L.) was examined using chopped straw enclosed in mesh bags (mesh size 1 × 1 mm). The weight loss and changes in the nutrient content of the straw during the period 15 September 1981 to 5 May 1982 were followed by collecting straw samples on 10 sampling dates.

The accumulated weight loss of the straw after 230 days averaged 25%. About 17% was lost during the first 30 days of the autumn period, while the weight loss was negligible in the winter period.

The relation between the weight of the remaining straw and the number of days showing weight loss could be adequately described by a double exponential model.

Following an initial loss of 16% the total N-content of the straw increased during the experimental period by 77%. No initial losses of P and Mg were observed, whereas the K-content of the straw decreased by more than 90% during the initial 30 days of the autumn period. During the experimental pe-

riod the straw accumulated 3.46 mg N, 1.16 mg P and 0.64 mg Mg per g straw dry matter, while the Ca-content of the straw remained unchanged. The total loss of K was 12 mg per g straw dry matter

A considerable part of the N, P and Mg accumulation might result from nutrients contained in precipitation and in soil entering the mesh bags.

**Key words:** Barley straw, decomposition, changes in nutrient content, weight loss.

## Indledning

Nedmuldning af halm rejser spørgsmålet om en mulig styring af halmens nedbrydningsforløb og den hermed forbundne fastlæggelse og frigørelse af plantenæringsstoffer (Parr & Papendick, 1978; Ellis, 1979; Lynch, 1979). I forhold til nedmuldet halm viser halm efterladt oven på jorden et noget afvigende forløb både med hensyn til vægttab og ændringer i indhold af kvælstof, fosfor og svovl (Parker et al., 1957; Parker, 1962; Brown & Dickey, 1970; Dormaar & Pittman, 1980; Douglas et al., 1980; Elliott et al., 1981; Harper & Lynch, 1981).

Halm placeret på jordoverfladen nedbrydes således betydeligt langsommere end nedmuldet halm, og halmens akkumulering af ovennævnte plantenæringsstoffer er væsentlig mindre end for nedmuldet halm.

Tidspunktet for halmens nedmuldning kan således udgøre et muligt styringsinstrument for halmens omsætning.

Første beretning vedrørende nedbrydning af halm belyste byghalms udvaskbare fraktion, dens størrelse og indhold af næringssalte samt dens betydning for halmens begyndende nedbrydning (Christensen, 1983). I nærværende beretning omtales nedbrydningsforløbet af byghalm placeret på jordoverfladen, mens senere beretninger vil omtale nedbrydningsforløbet af nedmuldet halm. Forsøgene udførtes under markforhold, og der anvendtes snittet byghalm indesluttet i netposer.

En række undersøgelser af plantematerialers nedbrydning har benyttet sig af plantemateriale indesluttet i netposer. Denne teknik tillader, at den udlagte prøves identitet bevares og muliggør derved kvantitative studier af plantematerialers nedbrydningsforløb. Metodens anvendelsesområder og dens fordele og ulemper, er diskuteret i

en række publikationer (se f.eks. Witkamp & Olson, 1963; Unger, 1966; Smidt & Douglas, 1971; Malkomes, 1980; St. John, 1980; Wieder & Lang, 1982).

Nedbrydningsforløbet af halm efterladt oven på jorden har også interesse i forbindelse med reduceret jordbehandling og direkte såning (Ellis, 1979). Såfremt afgrøderesterne ikke fjernes vil størstedelen af halmproduktionen blive efterladt på jordoverfladen og i de allerøverste jordlag.

Jorddækning med halmtæppe anvendes i et vist omfang inden for gartneri. Blandt andet ved dyrkning af hindbær kan opnås en positiv effekt af halmdækning (A. Thuesen, pers. medd.). Jorddækning med halm kan også tænkes anvendt i forbindelse med brug af efterafgrøder samt ved risiko for jorderosion. I øvrigt kan en række arbejdsmæssige forhold betinge en sen nedmuldning af halm, f.eks. ved kemisk bekæmpelse af kvikgræs.

## Materialer og metoder

Til forsøget anvendtes byghalm (*Hordeum vulgare* L., cv. »Welam«). Halmen blev høstet med mejetærsker ved modenhed, og udsattes ikke for nedbør inden indsamlingen. Halmen blev snittet til en gennemsnitlig længde af 5 cm, hvorefter halmkomponenter mindre end 0,5 cm frasigtedes for at hindre partikulært tab fra netposerne. En del af den frasigtede fraktion bestod af stakken, mens den øvrige del havde samme sammensætning som den anvendte halmfraktion, der således er repræsentativ for den indsamlede halm.

Halmen tørredes i ventileret ovn ved 60°C i 24 timer (delprøver tørredes ved 80°C i 24 timer). Halmens tørstof bestod af 60% internodier, 30% blade (inkl. bladskeder) og 10% nodier (knæ). Den kemiske sammensætning fremgår af tabel 1. Prøver af byghalm (10 g, 60°C) blev anbragt

**Tabel 1.** Den kemiske sammensætning af den anvendte byghalm og værdier for jordbundskemiske analyser af forsøgsarealet  
*Chemical composition of the barley straw and values from soil chemical analyses of the experimental area*

	% i tørstof % in dry matter							
	Træstof <i>Crude Fiber</i>	Aske <i>Ash</i>	C	N	K	P	Ca	Mg
Byghalm <i>Straw</i>	49,3	4,1	42,3	0,45	1,32	0,054	0,245	0,030
Jord <i>Soil</i>	–	95,1	1,7	0,13	0,06	0,118	0,143	0,040

i netposer fremstillet af polyester gardinstof (Gardisette (R)) med en maskevidde på 1 × 1 mm. Denne maskevidde hindrer større jordbundsdværgang til halmen og modvirker partikulært tab fra posen. Samtidig sikres en god vand og luft udveksling mellem halmen og omgivelserne, og netposens dimensioner (30 × 10 cm) tillader, at halmprøven ved udlægningen kan fordeles i et tyndt lag i posen. Det anvendte forhold mellem netposens areal og halmprøvens vægt svarer til 3,3 t halm pr. ha. Før udlægningen forsynedes hver netpose med et nummer (vingemærke til kyllinger), der sikrede prøvens identitet ved indsamling og analyse, og som lettede senere databehandling på edb-anlæg.

Forsøget udførtes på et udyrket areal ved Askov forsøgsstation, og arealet blev holdt fri for vegetation i forsøgsperioden. Resultater fra jordbundskemiske analyser er angivet i tabel 1. Den 15. september 1981 blev i alt 40 netposer udlagt på jordoverfladen. Netposerne anbragtes horisontalt i god kontakt med den underliggende jord og blev forankret ved hjælp af et grovmasket fiskenet (maskevidde: 1,5 × 1,5 cm).

Halmen blev ved udlægningen fugtet med demineraliseret vand.

På hvert af følgende tidspunkter indsamledes fire tilfældigt udvalgte netposer: 1981 – 1. okt., 15. okt., 29. okt., 16. nov., 1. dec.; 1982 – 11. feb., 15. marts, 1. april, 15. april, 5. maj. De indsamlede prøver blev straks vejede og derefter tørret ved 80°C i 24 timer. Efter tørring fjernedes større jordpartikler fra halmen og prøvens tørvægt bestemtes, hvorefter den formalede på en kuglemølle (Retsch Fliehkraftkugelmühle S 1). På den formalede prøve bestemtes indhold af

aske, P, K, Ca og Mg som tidligere beskrevet (Christensen, 1983). Prøvens N-indhold bestemtes på en Kjelfoss Automatic med en Kjeldahl metode.

Fig. 1 viser nedbørsforhold og lufttemperatur i forsøgsperioden. Nedbør er angivet som nedbørssum over 10 døgnperioder, og lufttemperaturen fremstår ved middel døgn temperatur beregnet som gennemsnit af 10 døgnperioder.

## Resultater og diskussion

### Tab af askefrit tørstof

Fig. 2 viser byghalmens vægttab i perioden 15. september 1981 til 5. maj 1982. Vægttabet er angivet som procent askefrit tørstof tilbage, idet indtrængen af jord i netposerne nødvendigvis kræver en korrektion af halmens tørvægt ved indsamlingen. Som følge af jordindtrængen steg halmprøvens askeindhold fra 4% ved udlægningen til nær 60% ved sidste indsamling. Beregninger på grundlag af tørstof (Brown & Dickey, 1970; Douglas et al., 1980) kan således medføre en undervurdering af halmens vægttab.

Byghalmens nedbrydningsforløb kan opdeles i 3 perioder (fig. 2). Begyndelsen af efterårsperioden (15. september – 15. oktober) karakteriseres af et vægttab på 17%. Lignende indledende tab er fundet for majshalm (Parker et al., 1957; Parker, 1962) og havrehalm (Harper & Lynch, 1981). Tabet, der udgør mere end halvdelen af det samlede tab i hele forsøgsperioden, hidrører fra udvaskning og omsætning af umiddelbart nedbrydelige organiske forbindelser i halmen, idet denne periode havde rigelig med nedbør og temperaturer på over 10°C (fig. 1). Udvasning af byghalm un-

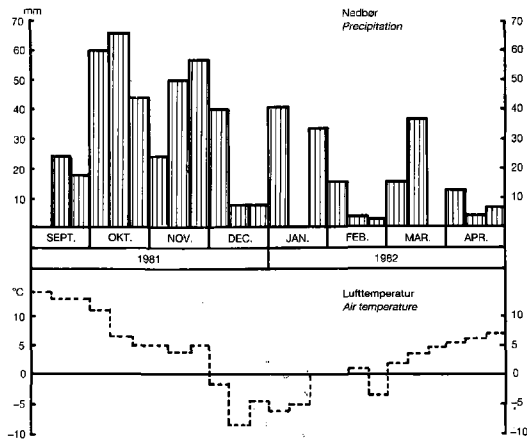


Fig. 1. Nedbør (sum af 10 døgns perioder) og middel døgns lufttemperatur (gns. over 10 døgns perioder) ved Askov forsøgsstation.  
*Precipitation (sum of 10 day periods) and daily average air temperature (mean of 10 day periods) at Askov.*

der laboratorieforhold kan medføre et vægttab på 6% (3 udvaskninger), og tabet øges, såfremt halmen inkuberes mellem udvaskningerne (Christensen, 1983). Det samlede vægttab udgør ved efterårsperiodens slutning 21%.

I vinterperioden (1. december – 15. marts) udviser halmen intet vægttab af betydning, hvilket må tilskrives den lave temperatur i denne periode (fig. 1).

I forårsperioden (15. marts – 5. maj) tabes yderligere 4% af halmens askefri tørstof, således at halmen ved forsøgets afslutning udviser et vægttab på i alt 25%. Dette vægttab er mindre end det af Harper og Lynch (1981) fundne tab fra havrehalm. Denne forskel kan tilskrives dels forskel i halmtypen, dels at halmen i deres undersøgelse placeredes på et areal tilsæet med hvede. Nedbrydningen af halmen har således for en stor del vedkommende fundet sted under et plantedække, hvilket kan forårsage en højere nedbrydningsaktivitet på grund af et for mikroorganismerne mere favorabelt mikroklima.

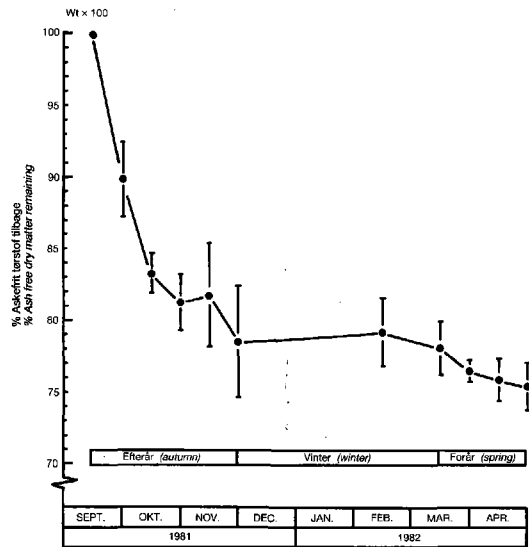


Fig. 2. Vægttab fra byghalm anbragt på jordoverfladen udtrykt som % askefri tørstof tilbage. Lodrette bjælker angiver  $\pm 1$  standard afvigelse.  
*Weight loss from barley straw placed on the soil surface in terms of % ash-free dry matter remaining. Bars indicate  $\pm 1$  standard deviation.*

### Model for halmens vægttab

Nedbrydningen af halm er blevet beskrevet ved et første ordens eksponentielt udtryk af formen  $W_t = W_0 e^{-kt}$ , hvor nedbrydningshastigheden kan udtrykkes som  $\frac{dW}{dt} = kW$  (W er mængden af halm, t er tiden, og k er nedbrydningens hastighedskonstant) (Douglas et al., 1980; Grossbard & Harris, 1981; Harper & Lynch, 1981). Da plantemateriale imidlertid består af en række forbindelser med forskellig nedbrydningshastighed har blandt andet Minderman (1968) konkluderet, at en bedre beskrivelse af nedbrydningsforløbet opnås ved summen af flere eksponentielle funktioner. Anvendelsen af et sådant udtryk på halmens kemiske fraktioner (f.eks. cellulose, hemicellulose og lignin) forudsætter imidlertid, at hele den enkelte fraktion er umiddelbart tilgængelig for nedbrydningsorganismene. Dette er næppe tilfældet for plantemateriale, hvor de enkelte kemiske frakti-

oner er indbygget i en fælles kompleks cellevægsstruktur (Hall et al., 1974).

En mere formålstjenlig beskrivelse af halmens vægttab kan fås ved at betragte halmen som bestående af to fraktioner ( $W_1$  og  $W_2$ ), hvis nedbrydningshastighed er forskellig, og hvis afgrænsning kan begrundes ud fra kendskab til halmens sammensætning (Bunnell & Tait, 1974).  $W_1$  består her af halmens udvaskbare, askefri tørstoffraktion samt den umiddelbart nedbrydelige fraktion af organiske forbindelser.  $W_2$  indbefatter den øv-

rige del af halmen, hvis nedbrydningshastighed er langsommere, men hvis nedbrydning også antages at kunne beskrives ved et eksponentielt udtryk. På baggrund af disse antagelser fås følgende udtryk for den til tiden ( $t$ ) tilbageværende halm-mængde ( $W_t$ ):

$$(I) \quad W_t = W_1 e^{-k_1 t} + W_2 e^{-k_2 t}$$

Hastighedskonstanterne for nedbrydningen af  $W_1$  og  $W_2$  er henholdsvis  $k_1$  og  $k_2$ . De i ligning (I) indgående konstanter kan beregnes ved at afbilde  $\ln W_t/W_0$  mod antallet af dage med vægttab ( $t$ ), hvor  $W_0$  er mængden af halm ved forsøgets begyndelse ( $t = 0$ ) (Bunnell & Tait, 1974).

Fig. 3 viser en sådan afbildning af de målte værdier for halmens vægttab. I denne sammenhæng er vinterperioden udeladt, idet der ikke forekommer vægttab fra halmen i denne periode (fig. 2). Perioden 1. december til 15. februar karakteriseres af lufttemperaturen på under  $0^\circ\text{C}$  (fig. 1), og da værdierne for vægttabet den 1. december og

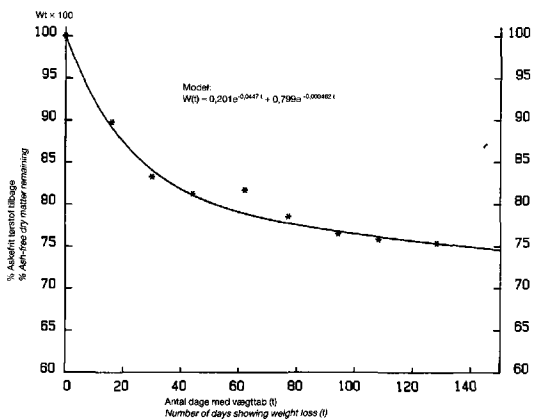


Fig. 4. Vægttab fra byghalm anbragt på jordoverfladen som funktion af dage med vægttab (vinterperiode 1. december–15. marts uden vægttab udeladt). Kurve angiver resultat af modelberegning, \* angiver målte værdier. Weight loss from barley placed on the soil surface as a function of days showing weight loss (winter period 1 December–15 March without weight loss deleted). Graph indicates values generated by the model, \* indicate measured values.

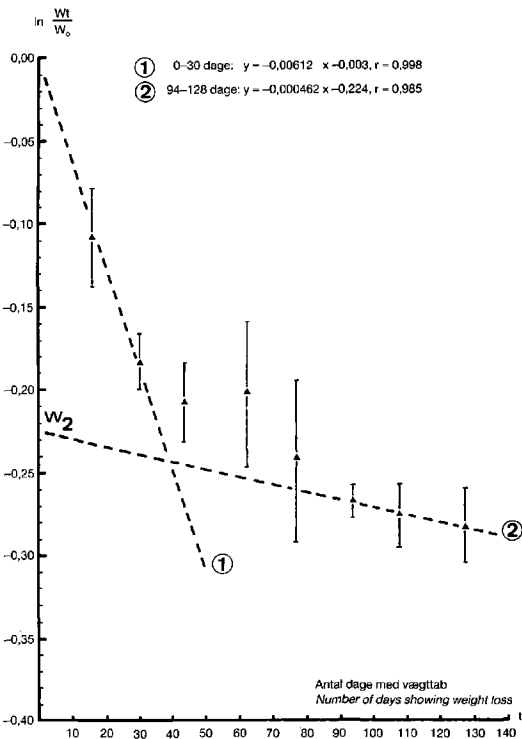


Fig. 3. Vægttab (ln skala) fra byghalm anbragt på jordoverfladen som funktion af antal dage med vægttab (vinterperiode 1. december–15. marts uden vægttab udeladt). Lodrette bjælker angiver  $\pm 1$  standard afvigelse. Stiplede linier angiver regressionsligninger af formen  $y = a + bx$ . Weight loss (log scale) from barley straw placed on the soil surface as a function of days showing weight loss (winter period 1 December–15 March without weight loss deleted). Bars indicate  $\pm 1$  standard deviation. Dashed lines indicate regression equations of the type  $y = a + bx$ .

den 15. marts er sammenfaldende, er værdien for den sidstnævnte dato udeladt.

Idet det antages, at hovedparten af  $W_1$  er tabt efter 3 måneders nedbrydning, kan  $W_2$  bestemmes som skæringspunktet mellem y-aksen og regressionslinien beregnet for perioden mellem dag 94 og dag 128 (linie (2) i fig. 3). Da  $W_0$  er kendt fås  $W_1 = W_0 - W_2$ . Hastighedskonstanten  $k_2$  er lig regressionskoefficienten for linie (2). Et estimat for  $k_1$  fås ved at subtrahere linie (2) fra linie (1), som beskriver nedbrydningsforløbet de første 30 dage, hvor det samlede vægttab fra halmen antages at være domineret af tab fra  $W_1$ .

Ud fra ovenstående overvejelser findes følgende konstanter:

$$W_1 = 0,201, W_2 = 0,799, k_1 = 0,0447 \text{ pr. dag,} \\ k_2 = 0,000462 \text{ pr. dag.}$$

Beskrivelsen af byghalms vægttab, beregnet på grundlag af disse konstanter indsat i ligning (I), er vist i fig. 4. Ved sammenligning med aktuelt målte værdier ses, at dette modeludtryk giver en god *beskrivelse* af nedbrydningsforløbet inden for det her undersøgte tidsrum. En evaluering af modeludtrykkets egnethed ved *simulering* af nedbrydningen af byghalm anbragt på jordoverfladen vil kræve et uafhængigt datasæt (*van Keulen, 1976*). Ændrede klimatiske forhold under nedbrydning kan give anledning til ændringer i de her fundne nedbrydningskonstanter, men det kan nævnes, at nedbøren ved Askov i perioden 1. september til 1. december 1981 (344 mm) ikke afviger væsentligt fra gennemsnittet for den tilsvarende periode i årene 1974–1982 (310 mm).

Ved inkubation af byghalm i 55 dage ved 15°C og udvaskning af halmen efter 0, 23 og 55 dage registreredes et samlet vægttab på 16% (*Christensen, 1983*). Til sammenligning findes efter 55 dages laboratorieforhold udgjorde 20% af byghalmens indhold af total-N (*Christensen, 1983*).

#### *Halmens indhold af N*

Halmen viser fra udlægningen til første indsamling et tab af N på 16% (fig. 5A). Tab af N i den

indledende fase af halms nedbrydning er fundet for såvel hvedehalm (*Brown & Dickey, 1970; Douglas et al., 1980*) som for majshalm (*Parker et al., 1957; Parker, 1962*). Det indledende tab af N tilskrives udvaskning af halmens mobile N-indhold, som ved tre gentagne udvaskninger under laboratorieforhold udgjorde 20% af byghalmens indhold af total-N (*Christensen, 1983*).

I den efterfølgende del af efterårsperioden (1. oktober til 1. december) stiger halmens N-indhold, således at halmen ved periodens afslutning viser en stigning på 21% i forhold til indholdet ved udlægning. I vinterperioden fortsætter stigningen, og ved denne periodes afslutning er N-indholdet 163% af halmens indhold ved forsøgets start.

I begyndelsen af forårsperioden falder halmens N-indhold med 9%, hvilket tilskrives udvaskning i forbindelse med snesmeltning og nedbør (fig. 1). I den efterfølgende del af forårsperioden stiger N-indholdet, så halmen ved forsøgets afslutning har et N-indhold svarende til 177% af indholdet ved udlægning. I hele forsøgsperioden øges halmens N-indhold med 3,46 mg pr. g halm svarende til ca. 3,5 kg N pr. t halm. Stigninger i indholdet af N i halm anbragt på jordoverfladen er fundet for majshalm (*Parker, 1962*) og for hvedehalm (*Brown & Dickey, 1970; Dormaar & Pittman, 1980*).

Stigning i halmens N-indhold kan hidrøre fra biologisk N-binding, transport af jord ind i posen via jordfygning og jordstænk som følge af nedbør, nedbørens indhold af N og i perioder med vandfordampning fra halmen, transport af N fra jorden til halmen via den opadgående vandstrøm. Sidstnævnte mekanisme er undersøgt af *Parker et al. (1957)*, som under forhold med en nettovandstrøm fra jorden til halmen (ingen nedbør, lav luftfugtighed og stort vandindhold i jorden) fandt, at betydelige mængder af  $\text{NO}_3^-$  kunne transporteres op i halmen. I forårsperiodens sidste del (1. april–5. maj) kan en del af stigningen i halmens N-indhold tilskrives denne mekanisme, idet denne periode havde et fordampningsoverskud på mere end 30 mm vand (*Gregersen, 1983*).

Samme mekanisme kan være medvirkende til

den observerede stigning i de øvrige næringsalte i denne periode (fig. 5A, 5B, 5C).

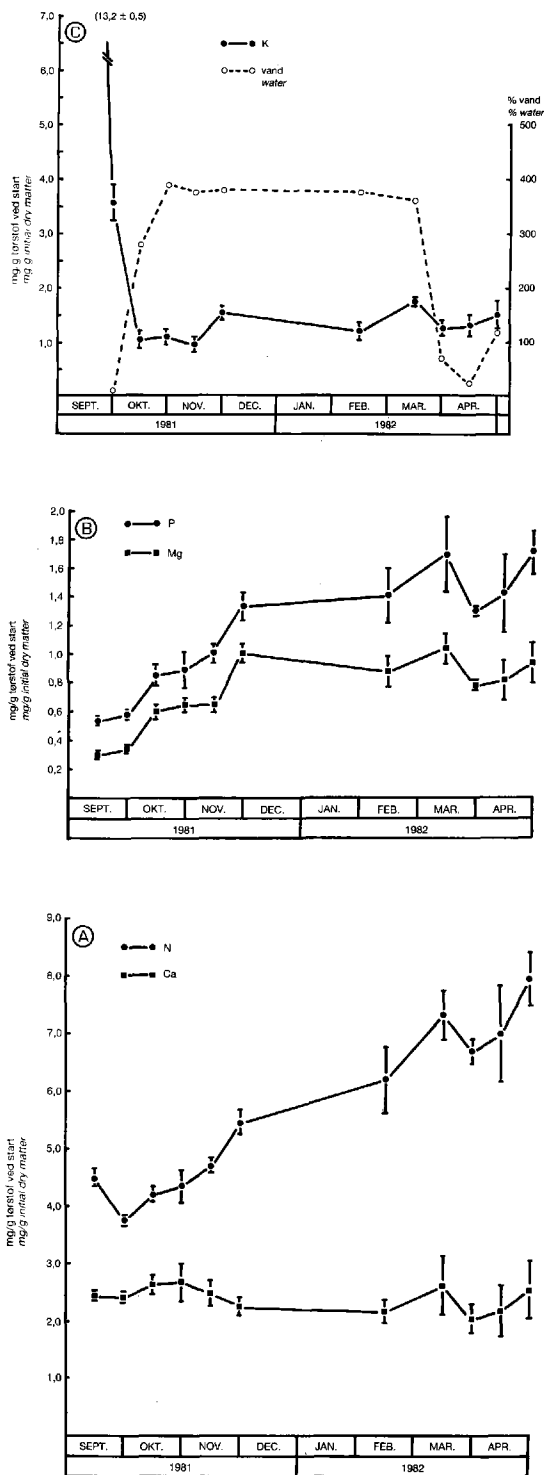
Nedbørens gennemsnitlige indhold af  $\text{NH}_4^+$  og  $\text{NO}_3^-$  udgjorde i perioden 1970–77 henholdsvis 9,3 og 5,8 kg N pr. ha pr. år (Jørgensen, 1979), svarende til 1,51 g N pr. m<sup>2</sup> pr. år. Idet arealet af en netpose er 0,03m<sup>2</sup> og den samlede forsøgsperiode 0,64 år (232 dage) kan hver halmprøve potentielt have modtaget 29 mg N via nedbøren. Hertil skal lægges nedbørens indhold af organisk N, som for fire engelske lokaliteter er fundet at udgøre fra 28 til 50% af nedbørens indhold af  $\text{NH}_4^+$  og  $\text{NO}_3^-$  (Allen et al., 1968). Danske målinger viser værdien fra 2,5% til 30% (Andersen, 1980; Rebsdorf, 1981). Hvor stor en del af den med nedbøren tilførte N, der bindes i halmen, kan ikke afgøres her.

Stigningen i halmens N-indhold i hele forsøgsperioden udgør 34,6 mg pr. netpose. Bruttostigningen må imidlertid have været større, idet der i forsøgsperioden også udvaskes N fra halmen. To perioder viser nettotab af N (15. september–1. oktober og 15. marts–1. april). Tabet i disse to perioder udgjorde tilsammen 9,8 mg N pr. netpose, hvorfor den samlede tilførsel af N til halmprøverne kan have udgjort mere end 44 mg pr. prøve.

Såfremt det antages, at den jord, der er trængt ind i netposerne, har samme sammensætning som den underliggende jord, kan det potentielle bidrag til stigningen i prøvernes N-indhold, hidrørende fra den indtrængende jord, beregnes på grundlag af stigningen i halmprøvernes askeindhold. Halmens indhold af aske var ved forsøgets start 4,1% (tabel 1), mens indholdet ved sidste indsamling

Fig. 5A-C. Indholdet af N og Ca (A), P og Mg (B), K og vand (C) i bygghalm anbragt på jordoverfladen. Næringsalte er angivet som mg/g halmtørstof ved start og vand som % i askefrit førstof ved indsamling. Lodrette bjælker angiver  $\pm 1$  standardafvigelse.

The content of N and Ca (A), P and Mg (B), K and water (C) in barley straw placed on the soil surface. Nutrient contents are in mg/g initial straw dry matter and water in % of ash-free dry matter at the time of sampling. Bars indicate  $\pm 1$  standard deviation.



udgjorde 58%. Ved anvendelse af værdier for den underliggende jord (tabel 1) kan det potentielle bidrag, hidrørende fra indtrængen af jord beregnes til 12,9 mg N pr. prøve.

Den biologiske N-bindings bidrag til stigningen i halmens N-indhold er vanskelig at angive størrelsen af. For bølgeblade inkuberet ved høj luftfugtighed og 18–20°C i 8 mdr. fandt *Remacle* og *Vanderhoven* (1973) en biologisk N-binding på gennemsnitlig 0,54 mg N pr. g tørvægt pr. måned, hvilket svarer til 41 mg N pr. 10 g bølgeblade i en periode på 230 dage. *Lynch* og *Harper* (1983) registrerede en N-binding på 1,5–2,7 mg N pr. g tørvægt pr. måned, når hvedehalm inkuberedes ved 25°C i 8 uger (højt vandindhold i halmen). Den højeste værdi fremkom efter tilsætning af *Penicillium corylophilum* og *Clostridium butyricum*. Beregnet for en periode på 230 dage svarer den observerede N-binding til 115–207 mg N pr. 10 g hvedehalm.

Ved de i nærværende forsøg betydeligt lavere temperaturer (fig. 1) må den biologiske N-binding imidlertid have været mindre end i ovennævnte forsøg.

Sammenhængen mellem stigningen i halmens N-indhold og halmens vægttab blev undersøgt ved lineær regression ( $y = a + bx$ ), hvor  $y$  er halmens N-indhold (mg pr. g halmtørstof ved start) og  $x$  er halmens vægttab (tab i % af askefrit tørstof). Perioden 15. september til 1. oktober med nettotab af N blev udeladt. Resultatet af regressionsanalysen er vist i fig. 6, hvoraf det fremgår, at den gennemsnitlige akkumulation af N i halmen i perioden 1. oktober til 5. maj er 0,46 mg N pr. % vægttab svarende til 4,6 kg N pr. t nedbrudt halm.

#### *Halmens indhold af Ca*

Halmens indhold af Ca viser kun mindre ændringer i løbet af forsøgsperioden (fig. 5A). Der kan således ikke konstateres nettotab eller nettostigninger af betydning i den her undersøgte fase af

halmens nedbrydning. Da halmens indhold af Ca kun ændres ubetydeligt i forsøgsperioden må den med nedbøren tilførte Ca passere halmen uden at blive bundet eller have erstattet halmens Ca-indhold. Den i forsøgsperioden med nedbør tilførte mængde Ca svarer mængdemæssigt til halmens Ca-indhold ved forsøgets start (24,5 mg Ca pr. halmprøve).

Bidrag af Ca fra indtrængende jord kan ikke registreres.

#### *Halmens indhold af P og Mg*

I efterårsperioden akkumulerer halmen både P og Mg (fig. 5B), mens vinterperioden viser mindre ændringer i halmens indhold af disse stoffer. Begyndelsen af forårsperioden karakteriseres af et fald i P og Mg indholdet, hvilket må tilskrives udvaskning. Fra 1. april og perioden ud stiger halmens indhold af P og Mg atter. Halmens indhold af Mg aftager i perioden 1. december til 5. maj med 7%, mens P-indholdet i samme periode stiger med 27%.

Den samlede stigning i halmens indhold af P og Mg i forsøgsperioden er henholdsvis 1,16 og 0,64 mg pr. g halmtørstof ved start, svarende til 1,2 kg P og 0,6 kg Mg pr. t halm. Akkumulering af P i hvedehalm anbragt på jordoverfladen er også fundet af *Brown* og *Dickey* (1970).

Ud fra lignende betragtninger som gjort i afsnittet om halmens N-indhold kan nedbørens potentielle bidrag til stigningen i halmens Mg-indhold anslås til 8 mg pr. halmprøve, hvilket ses at overstige den her fundne netto-stigning (6,4 mg). Af halmens oprindelige indhold af Mg er ca. 35% fundet at være let udvaskeligt (*Christensen*, 1983), men halmen viser i denne undersøgelse ikke et indledende udvaskningstab af Mg (fig. 5B). En medvirkende årsag til dette kan være, at tabet af Mg ved udvaskningen delvis erstattes af Mg i nedbøren, som forårsager udvaskningen, og af Mg i den indtrængende jord (se senere).

Der foreligger ikke angivelser af nedbørens indhold af P ved Askov forsøgsstation, men for Århusområdet angives den totale tilførsel af P fra atmosfærisk nedfald til 0,33 kg pr. ha pr. år (1978/79, *Andersen*, 1980). For tre stationer i jyske



landdistrikter angives fra 0,15 til 0,39 kg P pr. ha pr. år (1977-79, *Rebsdorf*, 1981). For to midtengelske lokaliteter angives fra 0,22 til 0,56 kg P pr. ha pr. år (1968-72, *Williams*, 1973). Såfremt et nedfald på 0,33 kg P pr. ha pr. år anvendes, kan nedbørens potentielle bidrag til stigningen i halmprøvens P-indhold beregnes til 0,6 mg pr. halmprøve. Den fundne netto-stigning i halmprøvernes P-indhold udgør 11,5 mg pr. halmprøve, og det ses, at bidraget fra nedbør er forsvindende.

Det potentielle bidrag til halmens øgede indhold af P og Mg hidrørende fra den indtrængende jord kan beregnes til 11,7 mg P og 4,0 mg Mg pr. halmprøve. For P-indholdets vedkommende svarer dette bidrag til den observerede stigning.

I modsætning til resultater fra udvaskningsforsøg under laboratorieforhold, hvor mere end halvdelen af halmens P-indhold fandtes at være let mobilt (*Christensen*, 1983), kan der i den nærværende undersøgelse ikke konstateres et indledende tab af P (fig. 5B). Hvorvidt der forekommer et nettotab i halmens oprindelige P-indhold, som så erstattes af P fra andre kilder, kan ikke afgøres her.

#### Stigningen i indhold af N, P og Mg i efterårsperioden

Halmens akkumulering af N, P og Mg i perioden 1. oktober til 1. december undersøgtes som funktion af nedbrydningens varighed (antal dage). Sammenhængen undersøgtes ved lineær regression af typen  $y = a + bx$ . Af beregningerne fremgår, at akkumuleringen af N, P og Mg i den undersøgte efterårsperiode var henholdsvis 0,76, 0,33 og 0,27 mg pr. g halmtørstof pr. måned. I perioden 1. oktober til 1. december akkumuleredes således 1,5 kg N, 0,66 kg P og 0,54 kg Mg pr. t halm.

#### Halmens indhold af K

I perioden 15. september til 15. oktober tabes mere end 90% af halmens K-indhold (fig. 5C), hvilket må skyldes tab ved udvaskning. Ved laboratorieforsøg kunne mere end 85% af halmens K-indhold udvaskes med vand (*Christensen*, 1983). Den øvrige del af forsøgsperioden udviste kun

mindre svingninger i halmens K-indhold. Ligesom for de øvrige af halmens næringssalte ses også for K en nedgang i begyndelsen af forårsperioden (fig. 5C).

Det samlede tab af K fra halmen i perioden 15. september til 15. oktober udgør mere end 12 mg pr. g halmtørstof, hvilket svarer til 12 kg K pr. t halm.

Nedbørens potentielle bidrag til halmprøvens K-indhold kan anslås til 8 mg. Ved forsøgets begyndelse indeholdt halmprøven 132,4 mg K, og efter udvaskning i perioden 15. september til 15. oktober var halmens gennemsnitlige K-indhold

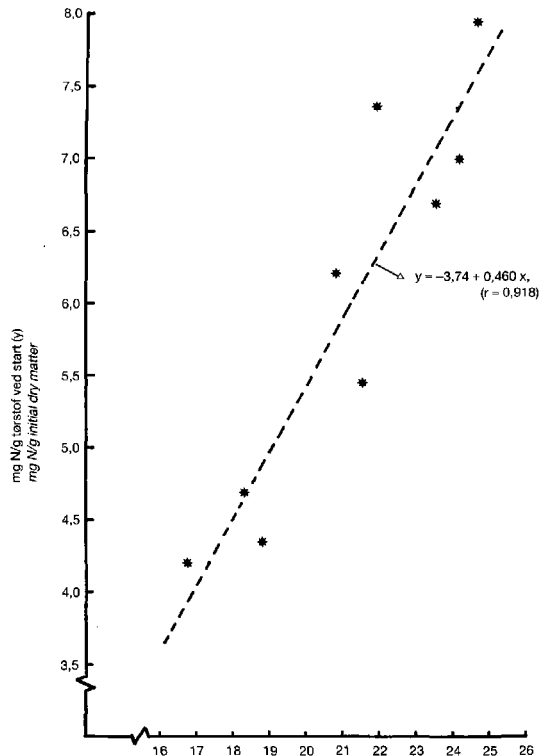


Fig. 6. Sammenhængen mellem halmens indhold af N (mg/g tørstof ved start) og halmens vægttab (% askefrit tørstof) i N-akkumuleringsfasen (dag 30 til dag 232).

Stiplet linie angiver regressionsligningen.

The relationship between the N-content (mg N/g initial dry matter) and weight loss (% ash-free dry matter) in the N-accumulation phase (day 30 to day 232). Dashed line indicate the regression equation  $y = a + bx$ .

13 mg pr. prøve, med en variation fra 9,6 til 17,6 mg.

#### *Halmens vandindhold*

Halmprøvernes vandindhold stiger kraftigt i løbet af oktober måned (fig. 5C) og udgør ved indsamlingen 29. oktober ca. 380% af halmprøvens tørvægt. I hele perioden 29. oktober til 15. marts er vandindholdet nær denne værdi, og først ved forårsperiodens begyndelse falder vandindholdet og når et minimum på 27% ved indsamlingen den 15. april

Halmen blev fugtet ved udlægningen den 15. september, men halmprøvens vandindhold blev ikke bestemt ved denne lejlighed. Ved første indsamling den 1. oktober var vandindholdet 10%. *Bartholomew* og *Norman* (1946) angiver, at nedbrydningen af havrehalm praktisk talt er ophørt ved vandindhold under 15%, og at en øgning af halmens vandindhold fra 150% til 250% øger CO<sub>2</sub>-udviklingen fra halmprøverne med højst 15%. Ud fra dette må det antages, at den biologiske omsætning af byghalmen kan have været meget lav i perioden fra 15. september til 1. oktober, ligesom perioden 1. april til 15. april også kan have haft en lavere omsætning. Omsætningen i perioden 29. oktober til 15. marts har derimod næppe været begrænset af vandmangel. Punktmålinger af halmens vandindhold, som foretaget i denne undersøgelse, er dog ikke velegnede til en nærmere vurdering af disse forhold, idet tidsintervallerne mellem indsamlingerne er forholdsvis lange, sammenlignet med den tid det tager for halmprøverne at udtørre og atter fugtes af nedbør.

#### **Konklusion**

Vægttabet af byghalm anbragt på jordoverfladen udgør i tidsrummet 15. september til 5. maj 25%. Størstedelen af tabet finder sted i efterårsperiodens første måned (15. september–15. oktober). I vinterperioden forekommer kun ubetydelige ændringer i halmens vægt. Nedbrydningsforløbet af halmen kan beskrives tilfredsstillende af et dobbelt eksponentielt udtryk af formen:

$$W(t) = W_1 e^{-k_1 t} + W_2 e^{-k_2 t}$$

Halmens N-indhold stiger i forsøgsperioden til 177% af halmens indhold ved høst, hvilket svarer til en stigning på 3,5 kg N pr. t halm. Den observerede stigning kan hidrøre fra nedbørens indhold af N og fra N transporteret til halmen sammen med jord, samt fra biologisk N-binding.

Indholdet af Ca i halmen ændres kun ubetydeligt under halmens nedbrydning, mens indholdet af P og Mg viser en stigning svarende til henholdsvis 1,2 og 0,6 kg pr. t halm. Størstedelen af denne stigning finder sted i efterårsperioden. Stigningen i Mg-indholdet kan hidrøre fra nedbørens indhold af Mg, mens nedbørens bidrag til stigningen i P-indholdet er forsvindende. Derimod svarer de potentielle bidrag af P tilført halmen med indtrængende jord til den observerede stigning i halmens P-indhold.

K-indholdet i halmen reduceredes i løbet af forsøgsperiodens første måned med mere end 90%, hvorefter K-indholdet kun viste ubetydelige ændringer. Det samlede tab af K fra halmen svarer til 12 kg K pr. t halm.

En betydelig del af stigningen i halmens indhold af N og Mg kan hidrøre fra nedbør. Det er i denne forbindelse imidlertid ikke klart, hvor meget af den tilførte mængde, der aktuelt tilbageholdes i halmen. Med hensyn til den indtrængende jords bidrag til stigningen i halmens indhold af N og P må det anføres, at beregningerne hviler på, at den indtrængende jord og den underliggende jord har samme kemiske sammensætning.

Såfremt der antages at være 5 t halm pr. ha svarer stigningen i halmens indhold af N, P og Mg til henholdsvis 17,5 kg, 6 kg og 3 kg pr. ha, mens tabet af K svarer til 60 kg pr. ha. Bortset fra N forekommer de største ændringer i efterårsperioden, mens vinterperioden viser mindre udsving i halmens sammensætning.

#### **Litteratur**

*Allen, S. E., Carlisle, A., White, E. J. & Evans, C. C.* (1968): The plant nutrient content of rainwater. *J. Ecol.* 56, 497–504.

- Andersen J. M. (1980): Tilførsel af organisk stof og næringssalte med nedbør, spildevand og vandløb. Århus Bugt - Kalø Vig 1978-79, Rapport nr. 1. Århus Kommune og Århus Amtskommune.
- Bartholomew, W. V. & Norman, A. G. (1946): The threshold moisture content for active decomposition of some mature plant materials. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 11, 270-279.
- Brown, P. L. & Dickey, D. D. (1970): Losses of wheat straw residue under simulated field conditions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 118-121.
- Bunnell, F. L. & Tait, D. E. N. (1974): Mathematical simulation models of decomposition processes. I red. A. J. Holding et al.: Soil organisms and decomposition in tundra. Tundra Biome Steering Committee (Stockholm), 207-225.
- Christensen, B. T. (1983): Nedbrydning af halm. I. Byghalms tab af næringssalte og tørstof som følge af udvaskning med vand. *Tidsskr. Planteavl* 87, 477-487.
- Dormaar, J. F. & Pittman, U. J. (1980): Decomposition of organic residues as effected by various dryland spring wheat - fallow rotations. *Can. J. Soil Sci.* 60, 97-106.
- Douglas C. L., Allmaras, R. R., Rasmussen, P. E., Ramig, R. E. & Roager, N. C. (1980): Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 833-837.
- Elliott, L. F., Cochran, V. L. & Papendick, R. I. (1981): Wheat residue and nitrogen placement effects on wheat growth in the greenhouse. *Soil Sci.* 131, 48-52.
- Ellis, F. B. (1979): Agronomic problems from straw residues with particular reference to reduced cultivations and direct drilling in Britain. I red. E. Grossbard: Straw decay and its effect on disposal and utilization, John Wiley & Sons Ltd., 11-20.
- Gregersen, A. (1983): Nedbør, fordampning og vandbalancer 1982. Statens Planteavlsvforsøg, Meddelelse nr. 1699.
- Grossbard, E. & Harris, D. (1981): Effects on straw decay of the herbicides paraquat and glyphosate in combination with nitrogen amendments. *Ann. appl. Biol.* 98, 277-288.
- Hall, J. L., Flowers, I. J. & Roberts, R. M. (1974): Plant cell structure and metabolism. Longman Group Ltd. London.
- Harper, S. H. T. & Lynch, J. M. (1981): The kinetics of straw decomposition in relation to its potential to produce the phytotoxin acetic acid. *J. Soil Sci.* 32, 627-637.
- Jørgensen, V. (1979): Luftens og nedbørens kemiske sammensætning i danske landområder. *Tidsskr. Planteavl* 82, 633-656.
- Keulen, H. van (1976): Evaluation of models. I red. G. W. Arnold & C. T. de Wit: Critical evaluation of systems analysis in ecosystems research and management. Pudoc, Wageningen, 22-29.
- Lynch, J. M. (1979): Straw residues as substrates for growth and product formation by soil microorganisms. I red. E. Grossbard: Straw decay and its effect on disposal and utilization, John Wiley & Sons Ltd., 47-56.
- Lynch, J. M. & Harper, S. H. T. (1983): Straw as a substrate for cooperative nitrogen fixation. *J. Gen. Microbiol.* 129, 251-253.
- Malkomes, H.-P. (1980): Strohrotteversuche zur Erfassung von Herbizid-Nebenwirkungen auf den Strohumsatz im Boden. *Pedobiol.* 20, 417-427.
- Minderman G. (1968): Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. *J. Ecol.* 56, 355-362.
- Parker, D. T. (1962): Decomposition in the field of buried and surface-applied cornstalk residue. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26, 559-562.
- Parker, D. T., Larson, W. E. & Bartholomew, W. V. (1957): Studies on nitrogen tie-up as influenced by location of plant residues in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21, 608-612.
- Parr, J. F. & Papendick, R. I. (1968): Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganisms. I red. W. R. Oschwald: Crop residue management systems. ASA Special Publication nr. 31, ASA, CSSA & SSSA Madison, WI, 101-129.
- Rebsdorf, Aa. (1981): Forsuringstruede danske søer. Miljø-Projekter 38, Miljøministeriet, Miljøstyrelsen, Kbh.
- Remacle, J. & Vanderhoven, Ch. (1973): Evolution of the carbon and nitrogen contents in incubated litters. *Plant & Soil* 39, 201-203.
- Smith, J. H. & Douglas, C. L. (1971): Wheat straw decomposition in the field. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35, 269-272.
- St. John, T. V. (1980): Influence of litterbags on growth of fungal vegetative structures. *Oecologia* 46, 130-132.
- Unger H. (1966): Arbeitsmethoden in der naturwissenschaftlichen und technischen Mikrobiologie. I. Der Gazebeuteltest. *Zentralbl. Bakt. Parasitenkd. Infektionskrankh. u. Hyg. Abt. II* 120, 60-79.
- Wieder, R. K. & Lang, G. E. (1982): A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology* 63, 1636-1642.
- Williams, R. J. B. (1973): Changes in the nutrient reserves of the Rothamsted and Woburn reference experiment soils. Rep. Rothamsted Exp. Stn. for 1972, Part 2, 86-101.
- Witkamp, M. & Olson, J. S. (1963): Breakdown of confined and nonconfined oak litter. *Oikos* 14, 138-147.

Manuskript modtaget den 30. juni 1983.