

## Nedbrydning af halm

### I. Byghalms tab af næringsalte og tørstof som følge af udvaskning med vand

#### *Decomposition of straw*

#### *I. Losses of nutrients and dry matter from barley straw when leached with water*

Bent Tolstrup Christensen

#### Resumé

Snittet byghalm (*Hordeum vulgare* L.) blev under laboratorieforhold udvasket med koldt vand. Halmens vægttab og indhold af næringsalte bestemtes efter én eller gentagne udvaskninger. Desuden bestemtes udvaskningens indflydelse på halmens begyndende nedbrydning.

Respirationstab af ubehandlet halm inkuberet ved 5°C eller 15°C i 29 uger udgjorde henholdsvis 9 og 23%. En udvaskning af halmen før inkubation reducerede de første 9 ugers respirationstab med ca. 50%. Det akkumulerede respirationstab efter 29 uger ved 5°C påvirkedes ikke af en forudgående udvaskning, hvorimod tabet ved 15°C reduceredes med 45%.

Tørstoffabet efter én udvaskning var 6%, stigende til 9% efter tre gentagne udvaskninger. Inkubation af halmen mellem udvaskningerne øgede tabet af tørstof, men ændrede ikke udvaskbarheden af aske, K, P, Mg og Ca. Af halmens oprindelige indhold var 56% aske, 87% K, 59% P, 34% Mg og 25% Ca tabt efter tre gentagne udvaskninger.

Tabet af total-N var 20% efter tre udvaskninger, og inkubation mellem udvaskningerne øgede tabet, som ved 15°C inkubationen udgjorde 42% af halmens indhold ved start.

Nøgleord: Byghalm, udvaskning, næringsalttab, nedbrydning.

#### Summary

Barley (*Hordeum vulgare* L.) straw cut to a length of 5 cm was leached with cold water. The weight-loss and nutrient content of the straw were determined after repeated leaching in combination with or without incubation of the straw. The influence of leaching on the initial straw decomposition was also examined.

The respiration losses of non-leached straw samples incubated for 29 weeks at 5°C and 15°C were 9% and 23%, respectively. Leaching of the straw before incubation reduced respiration losses during the first 9 weeks by approx. 50%. The accumulated respiration loss after 29 weeks of incubation at 5°C was not influenced by a preceding leaching, whereas the loss at 15°C was reduced by 45%.

Loss of dry matter increased from 6% after one leaching to 9% after three repeated leachings. Incubating the straw between leachings increased dry matter losses, whereas losses of ash, K, P, Mg and Ca were not affected by the incubations. Totally 56% ash, 87% K, 59% P, 34% Mg and 25% Ca were lost after three successive leachings.

Incubation of the straw between leachings increased total-N losses. After three leachings total-N loss increased from 20% without incubation to 42% with intermittent incubation at 15°C.

**Key words:** Barley straw, leaching, nutrient loss, decomposition.

## Indledning

Den første fase i nedbrydningsforløbet af plantemateriale er ofte karakteriseret af et indledende, brat fald i tørvægt og i indhold af en række nærings-salte. Det indledende vægttab afhænger af arten og beskaffenheden af plantematerialet (f.eks. alder, modenhed og findelingsgrad), men udgør typisk fra 5 til 30% af tørvægten (Bocock *et al.*, 1960; Parker, 1962; Douglas *et al.*, 1980; Staaf, 1980; Harper & Lynch, 1981a). Tabet af nærings-salte er ligeledes afhængigt af plantematerialets karakter, men følger ofte det samme mønster med størst relativt tab af natrium og kalium, hvorefter følger magnesium, calcium og sulfat (Attiwill, 1968; Gosz *et al.*, 1973; Edmonds, 1979; Staaf, 1980). Mindre og mere variable tab registreres for kvælstof og fosfat.

Såfremt halm henlægges oven på jorden, vil en del af halmens indholdsstoffer kunne udvaskes i forbindelse med nedbør. I perioden efter høst vil halmen ofte være udsat for en gentagen udvaskning og udtørring samt en begyndende nedbrydning, der formodes at influere på den udvaskbare fraktions størrelse og dermed på transporten af nærings-salte fra halmen til den underliggende jord.

Det begyndende vægttab tilskrives såvel udvaskning som mikrobiel omsætning af letnedbrydelige organiske forbindelser i halmen. For at bestemme størrelsen af disse bidrag, samt den udvaskbare del af halmens nærings-salte, blev der under laboratorieforhold udført forsøg til belysning af:

- størrelsen af den udvaskbare fraktion,
- effekten af en eller gentagne udvaskninger på halmens nedbrydning og nærings-saltindhold,
- effekten af en begyndende nedbrydning af hal-

men på udvaskbarheden af tørstof og nærings-salte.

Den udvaskbare fraktions størrelse er afhængig af den anvendte metode samt af den forudgående behandling af halmen. Mange af de foreliggende angivelser af størrelsen og sammensætningen af den udvaskbare fraktion bygger på metoder, der indebærer væsentlig mere drastiske behandlinger af halmen, end den udsættes for under naturlige forhold. Udvasningsproceduren er i denne undersøgelse søgt tilnærmet naturlige betingelser for udvaskningstab.

De her beskrevne forsøg er de første i en række af undersøgelser til belysning af nedbrydningsforløbet af halm i dyrket jord.

## Materialer og metoder

Ved forsøgene anvendtes byghalm (*Hordeum vulgare* L. »Welam«). Halmen høstede ved modenhed og blev ikke udsat for nedbør inden indsamlingen. Halmen blev snittet til en gennemsnitlig længde på 5 cm og derefter tørret i 24 timer ved 80°C i ventileret ovn. Halmens sammensætning fremgår af tabel 1.

Såvel udvaskning som inkubation er foretaget på 5 g tør halm anbragt i 370 ml glaskrukker.

*Udvaskning:* Glaskrukke med halmprøve vejes og tilsættes 100 ml demineraliseret vand, hvorved prøven er helt vanddækket. Efter påsætning af låg rystes kraftigt og prøven henstår i 30 min., hvorefter den atter rystes. Efter yderligere henstand i 18 timer ved ca. 15°C rystes prøven og vandekstrakten dekanteres gennem 1 mm net, hvormed halmen tilbageholdes i glaskrukken. Der dekanteres sædvanligvis 60 ml. Krukken med halmprøve tørres (80°C i 24 timer) og vejes, hvorefter vægt-

**Tabel 1.** Sammensætningen af den anvendte byghalm i % af tørstof. Halmens fordeling på internodier, blade (inkl. bladskeider) og knæ (nodier) og disses indhold af næringsalte er vist som % af indholdet i hel halm  
*The composition of the barley straw used in this study (% of dry matter). The straw components-internodes, leaves (incl. leaf sheaths) and nodes – are presented as % of whole straw content*

	% af tørstof % of dry matter		% af hel halm % of whole straw		
	gns. mean	s. s.d.	internodier internodes	blade leaves	nodier nodes
Tørvægt (dry weight) .....	–	–	61	31	8
Træstof (crude fiber) .....	49,4	0,4	–	–	–
Total-N .....	0,45	0,02	45	43	12
K .....	1,27	0,05	65	21	14
P .....	0,056	0,004	54	32	14
Ca .....	0,261	0,015	31	61	8
Mg .....	0,029	0,001	36	49	15
Aske (ash) .....	4,47	0,35	57	32	11

tabet bestemmes. Ved gentagne udvaskninger tørres prøven imellem behandlingerne med mindre andet er anført.

*Inkubation:* Glaskrukke med halmprøve vejes og tilsættes 10 ml demineraliseret vand samt 1 ml jordekstrakt, som fremstilles ved rystning af 250 g frisk overfladejord med 1 l vand. Halmens vandindhold udgør herved 220% af tørvægten. Der påsættes plastlåg med to huller (dia. 6 mm), som tillader luftskifte og nedsætter fordampningstabt under inkubationen. Prøverne inkuberes mørkt i termostattyret skab ved 5°C eller 15°C. Luften i skabet holdes fugtig, og vandindholdet i prøven justeres ugentligt på grundlag af vejninger. Efter inkubation tørres prøven (80°C i 24 t) og vejes.

*Analysér:* Før analysering formales halmprøven (< 0,5 mm) og analyser udføres på 2 g (total-N, 1 g) af den formalede prøve.

Askeindhold bestemmes ved glødning i 3 timer ved 550°C. Asken opløses derefter i 3% HCl og inddampes til tørhed. Den inddampede prøve opløses i 30% HNO<sub>3</sub>, filtreres og fortyndes til 100 ml med demineraliseret vand. På denne opløsning bestemmes fosfat ved spektrofotometri; kalium ved flammefotometri; calcium og magnesium ved atomabsorptionsspektrofotometri. Total-N bestemmes ved en semi-micro Kjeldahl metode og efterfølgende dampdestillation.

### Forsøgsplan

Der udførtes i alt tre forsøg til belysning af størrelsen, sammensætningen og betydningen af halmens udvaskbare fraktioner.

*Forsøg I:* Indflydelsen af inkubationstemperatur og udvaskning på nedbrydningen af halm undersøgte ved inkubation af såvel ubehandlede prøver, som prøver der før inkubation blev udsat for én udvaskning.

Der anvendes 4 gentagelser. Prøver indsamles efter 13, 33, 61, 125 og 203 dages inkubation og analyseredes for væggtab.

*Forsøg II:* Effekten af gentagne udvaskninger undersøgte ved at udvaske halmprøver 1, 2 eller 3 gange. Der anvendtes 10 gentagelser, og prøverne analyseredes for væggtab og indhold af aske, P, K, Ca, Mg og total-N.

*Forsøg III:* Nedbrydningens indflydelse på størrelsen af den udvaskbare fraktion blev undersøgt ved inkubation af udvasket halm, der efter inkubation tørredes og atter udvaskedes. Andre prøver blev udsat for endnu en inkubation, tørret og udvasket en tredje gang. Første inkubationsperiode var 23 dage og anden periode 33 dage. Prøver, der udsattes for begge inkubationsperioder, blev ikke tørret i forbindelse med anden udvaskning. Prøverne analyseredes for væggtab og ind-

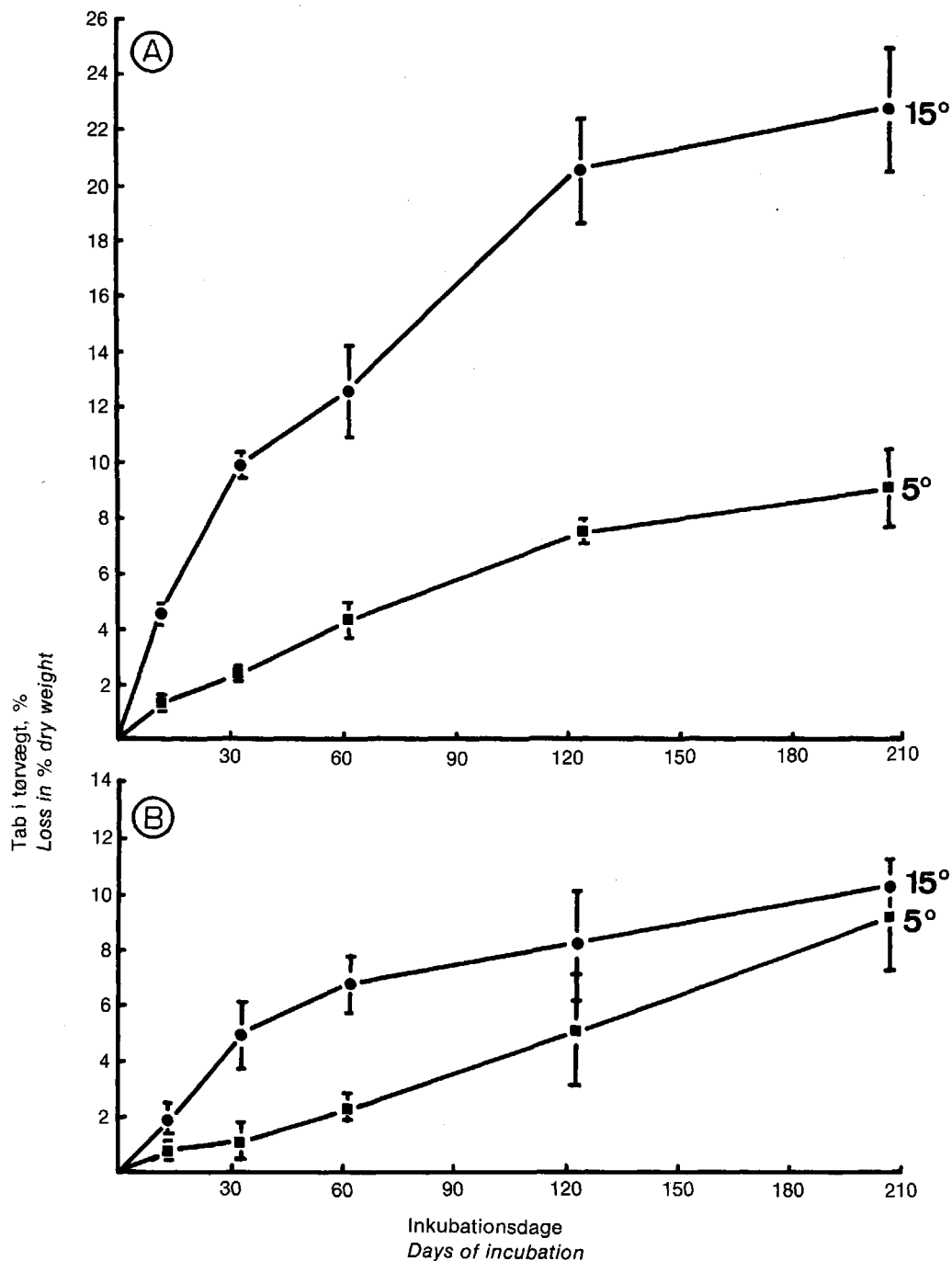


Fig. 1. Akkumulert respirationstab (% tørvægt) af ubehandlet (A) og udvasket (B) byghalm inkuberet ved 5°C og 15°C. Lodrette bjælker angiver  $\pm 1$  standardafvigelse.  
*Accumulated respiration loss (% dry weight) of non-leached (A) and leached (B) barley straw incubated at 5°C and 15°C. Bars indicate  $\pm 1$  standard deviation.*

hold af aske, P, K, Ca, Mg og total-N, og der anvendtes 10 gentagelser.

### Resultater

Nedbrydningsforløbet af ubehandlet halm inkuberet ved 5°C og 15°C er vist i fig. 1A. Det samlede respirationstab af halm inkuberet ved 15°C i 29 uger udgør 23% af halmens tørvægt, mens tabet ved 5°C er 60% lavere. Omkring halvdelen af respirationstabet fandt sted i løbet af inkubationens første 2 mdr., mens de sidste 3 mdr. kun bidrog med 10% ved 15°C og 17% ved 5°C.

I fig. 1B er vist det akkumulerede respirations- tab af byghalm, der forud for inkubationen blev udvasket én gang. Fjernelsen af den umiddelbart udvaskbare fraktion har medført en reduktion i de første 9 ugers respirationstab fra 4,3% til 2,3% for 5°C inkubationen og fra 12,5% til 6,8% for 15°C inkubationen, hvilket svarer til knap en halvering af denne periodes respirationstab. Det akkumule- rede respirationstab efter 29 ugers inkubation ved 5°C influeredes ikke af en forudgående udvask- ning, mens denne behandling reducerede tabet ved 15°C inkubationen med 45%. Forløbet af nedbrydningen af udvasket halm ved 5°C afvæg således fra de øvrige inkubationer, idet nedbryd- nings hastigheden ikke aftog i løbet af inkubati- onen.

Tabel 2 viser det akkumulerede tab af tørstof, aske og organisk stof som følge af gentagne ud- vaskninger. Den udvaskbare tørstoffraktion ud- gjorde ved en udvaskning 5,7% af halmens tør- vægt, stigende til 8,7% efter tre gentagne udvask- ninger. Tabet af aske var 1,5% ved første udvask- ning, stigende til 2,6% af startvægten efter tredje

udvaskning, hvilket svarer til 56% af halmens askeindhold ved start. Det akkumulerede tab af organisk stof efter tre gentagne udvaskninger svarer til 6,4% af halmens organiske stofindhold ved start. Det ses, at det samlede tab af tørstof, aske og organisk stof stiger ved gentagne udvask- ninger, men at det største tab registreres ved første udvaskning.

Fig. 2 viser halmens indhold af næringssalte efter en, to og tre udvaskninger, udtrykt som % af mængden i ubehandlet halm. Det ses, at én ud- vaskning fjernede 53% K, 28% Mg, 25% P, samt 11% total-N. Tabet af Ca ved første udvaskning er ikke signifikant. Det totale tab efter tre gentag- ne udvaskninger var 87% K, 59% P, 34% Mg, 25% Ca og 20% total-N. Efter to udvaskninger var hele den udvaskbare fraktion af total-N og Mg fjernet, mens K, P og Ca udviste yderligere tab ved tredje udvaskning. Tabet af K og P hidrørende fra tredje udvaskning var henholdsvis 14% og 18% af mængden der udvaskedes ved første og anden udvaskning.

Indflydelsen af inkubation på den udvaskbare tørstoffraktion er vist i fig. 3. Det ses, at inkuba- tion ved såvel 5°C som 15°C øgede den udvaskba- re fraktions størrelse, og at fraktionens størrelse steg med stigende inkubationstemperatur. Stig- ningen var dog beskednen i forhold til det samlede tab hidrørende fra udvaskning og respiration.

Sammenlignet med gentagne udvaskninger uden forudgående inkubation ved 5°C eller 15°C gav inkubation af halm mellem første og anden samt anden og tredje udvaskning, ikke anledning til signifikante forskelle i halmens indhold af aske, K, P, Mg eller Ca. For total-N registreredes en

**Tabel 2.** Det akkumulerede tab af tørstof, aske og organisk stof efter gentagne udvaskninger af byghalm (% af halmvægt ved start). Tab af askefrit tørstof er beregnet som difference mellem tørstofftab og asketab  
*Accumulated loss of dry matter, ash, and organic matter after repeated leaching of barley straw (% of initial straw weight). Losses of ash-free dry matter are the difference between dry matter loss and ash loss*

Antal udvaskninger (no. of leachings)	% tab % loss		
	1	2	3
Tørstof (dry matter) .....	5,7	7,2	8,7
Aske (ash) .....	1,5	2,1	2,6
Askefrit tørstof (ash-free dry matter) .....	4,2	5,1	6,1

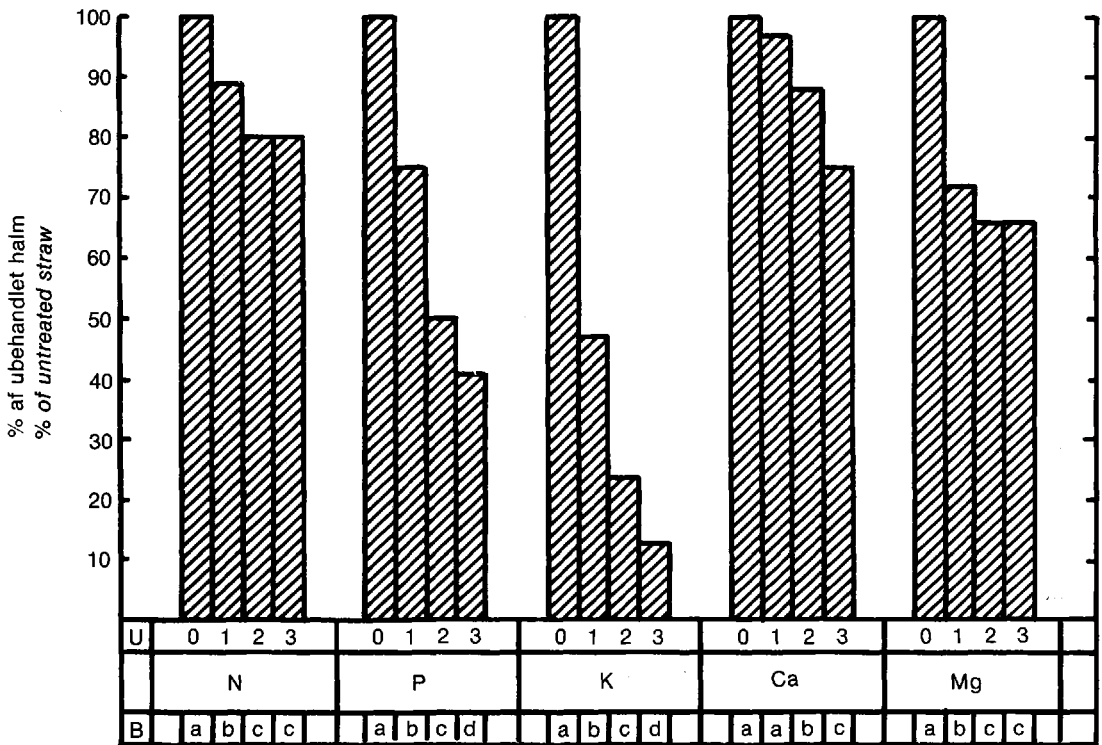


Fig. 2. Indholdet af næringsalte i byghalm efter gentagne udvaskninger (U) med koldt vand. Søjler med forskelligt bogstav (B) er signifikant forskellige (Mann-Whitney test,  $P = 0,05$ ).  
*The content of nutrients in barley straw after repeated leachings (U) with cold water. Columns with different letter (B) are significantly different (Mann-Whitney test,  $P = 0.05$ ).*

nedgang i halmens indhold som følge af inkubationerne (tabel 3). Halmens tab af total-N stiger med stigende inkubationstemperatur, og indholdet af total-N i halm inkuberet ved 15°C var efter tredje udvaskning ca. 25% mindre end ikke inkuberet halm, hvilket svarer til et tab på 43% af halmens total-N indhold ved start.

Under forudsætning af et C indhold på 25% i den udvaskbare, organiske fraktion (Sørensen, 1963; Harper & Lynch, 1982) kan C/N forholdet i den udvaskbare tørstoffraktion beregnes. Hvor der ikke er foretaget inkubation forud for anden og tredje udvaskning, kan C/N forholdet beregnes til 21 efter første udvaskning, 14 efter to gentagne udvaskninger og 17 efter tre gentagne udvaskninger. Ved inkubation forud for anden og

tredje udvaskning er C/N forholdet henholdsvis 11 og 8 for 5°C og 9 og 10 for 15°C inkubation.

#### Diskussion

Respirationstabt af ubehandlet byghalm inkuberet ved 15°C i 29 uger er i overensstemmelse med værdier opnået af Kaila (1954), der for formålet rughalm inkuberet ved 16–20°C i 24 uger fandt et respirationstab på 26%. Det konkluderedes, at nedbrydningen af rughalm var begrænset af kvælstofmangel, idet tilsætning af urea-N øgede respirationstabt til 46%. For snittet hvedehalm inkuberet ved 18°C i 21 uger finder Grossbard og Harris (1981) ligeledes, at tilsætning af urea-N øger halmens vægttab fra 19 til 24% af startvægten.

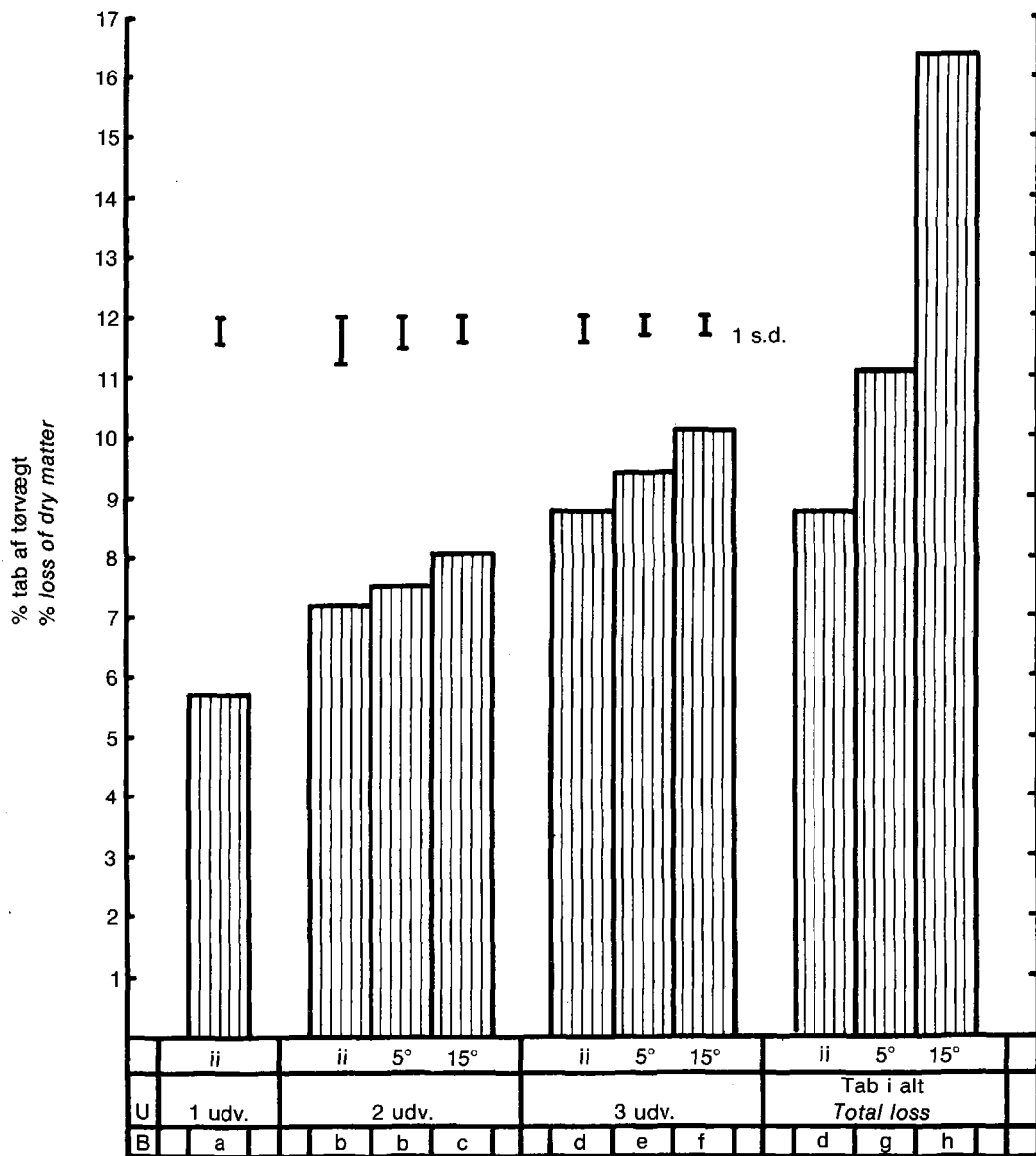


Fig. 3. Akkumuleret tab af tørvægt efter gentagne udvaskninger med koldt vand. Prøverne var ikke inkuberet (ii) eller inkuberet ved henholdsvis 5°C (5°) eller 15°C (15°) mellem udvaskningerne (U). Tab i alt inkluderer respirationstab under inkubationerne. Søjler med forskelligt bogstav (B) er signifikant forskellige (Mann-Whitney test,  $P = 0,05$ ).

Accumulated loss of dry matter from barley straw after repeated leachings with cold water. Straw samples were not incubated (ii) or incubated at 5°C (5°) or 15°C (15°) between the leachings (U). Total loss includes loss by respiration during the incubations. Columns with different letters are significantly different (Mann-Whitney test,  $P = 0.05$ ).

**Tabel 3.** Halmens indhold af total-N efter gentagne udvaskninger med og uden forudgående inkubation ved 5°C og 15°C (mg total-N pr. prøve). s = standardafvigelse. Antal prøver = 4  
*The content of total-N in straw after repeated leachings, with or without intermittent incubation at 5°C and 15°C (mg total-N per sample). (s.d. denotes standard deviation). Number of samples = 4*

Antal udvaskninger (no. of leachings)	mg total-N pr. prøve mg total-N per sample							
	0		1		2		3	
	gns. mean	s. s.d.	gns. mean	s. s.d.	gns. mean	s. s.d.	gns. mean	s. s.d.
Uden inkubation (no incub.)	22,5	0,9	19,3	0,9	17,9	1,2	17,9	0,4
5°C inkubation (incub.)	-	-	-	-	16,4	0,3	14,4	0,4
15°C inkubation (incub.)	-	-	-	-	14,5	0,6	12,8	1,8

Forskellen mellem de akkumulerede respirationstab af udvasket og ubehandlet byghalm inkuberet ved 15°C i 29 uger er 12%-enheder. Da tabet af organisk stof ved første udvaskning kun udgør 4,2% af halmens tørvægt, kan udvaskning af letnedbrydelige organiske forbindelser fra halmen ikke gøre rede for hele forskellen i respirationstab mellem udvasket og ubehandlet halm. Udvasning af næringssalte må således have været medvirkende til forskellen mellem respirationstabene.

Både ved 5°C og 15°C inkubationerne bevirkede en udvaskning af halmen en reduktion i de første 9 ugers respirationstab på ca. 50%. Reduktionen i denne periodes respirationstab kan skyldes udvaskning af letnedbrydelige organiske forbindelser og lettillængeligt kvælstof. Den manglende forskel i respirationstab mellem udvasket

og ubehandlet halm inkuberet ved 5°C i 29 uger kan skyldes, at nedbrydningen ved denne relativt lave temperatur er temperaturbegrænset, og at kvælstof i de senere stadier af nedbrydningsperioden derfor ikke er begrænsende. Således finder *Nömmik* (1962) for formalet hvedehalm inkuberet med jord ved 5°C, at tilsætning af  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  ikke øgede respirationstab fra halmen i den første del af inkubationsforløbet, hvorimod dette var tilfældet for tilsvarende inkubationer ved 12°C og 24°C.

Den i denne undersøgelse anvendte udvaskningsprocedure må betegnes som ret mild, idet der anvendes koldt vand og uformalet materiale. I den tilgængelige litteratur vedrørende halms udvaskbare fraktioner er oftest anvendt ekstraktioner med varmt vand og/eller af knust materiale, eller præcis metodeangivelse mangler. En sammenstilling af litteraturværdier for halms udvask-

**Tabel 4.** Litteraturangivelser af halms udvaskbare tørstoffraktion anført som % af tørvægt  
*The size of leachable dry matter fractions from cereal straw obtained from various authors. Values are in % of dry matter*

Kilde Reference	Halm type Straw type			
	byg barley	hvede wheat	havre oat	rug rye
<i>Douglas et al.</i> (1980)		7,8–11,4		
<i>Harper &amp; Lynch</i> (1981a)			7	
<i>Harper &amp; Lynch</i> (1982)	9	9	12	
<i>Kaila</i> (1954)				12
<i>Lynch</i> (1979)	6	4	9	
<i>Staniforth</i> (1979)	16,1	7,4–12,4	12,4–15,3	9,4–14,3
Denne undersøgelse (this study)	5,7–8,7			



bare tørstoffraktion er vist i tabel 4. Undersøgelser af egeblades udvaskbare fraktion viser, at en formaling af bladene øger den med koldt vand udvaskbare tørstoffraktion med 80% (*Bocock et al.*, 1960). *Nykvist* (1963) finder ligeledes for en række løvblades vedkommende, at en formaling af bladene øger den udvaskbare organiske fraktion, mens udvaskningen af aske kun stiger ubetydeligt. Ved øget temperatur under udvaskningen øgedes den udvaskbare organiske fraktion.

For halm findes ikke tilsvarende undersøgelser af temperaturens og formalingsgradens indflydelse på den udvaskbare fraktion, men oven for beskrevne forhold må antages også at være gældende for halm.

Tabet af aske efter tre gentagne udvaskninger udgør 56% af halmens askeindhold ved start. Størstedelen af dette asketab hidrører fra tab af næringssalte. Som det fremgår af fig. 2, er en betydelig del af halmens indhold af næringssalte særdeles mobilt. Således kan størstedelen af halmens indhold af K og P udvaskes med koldt vand. Udvaskebarheden af halmens næringssalte stiger i rækkefølgen total-N, Ca, Mg, P og K. Bortset fra P, der i forskellige undersøgelser viser noget varierende udvaskebarhed, genfindes næsten samme rækkefølge for blade af forskellige træarter (*Attwill*, 1967; *Gosz et al.*, 1973; *Edmonds*, 1979; *Staaf*, 1980). Litteraturværdier for halm synes at mangle.

Halmens tab af total-N som følge af tre gentagne udvaskninger udgør 20% (fig. 2). Ved udvaskning af formalet byghalm finder *Rice* (1979) et gennemsnitligt tab på 45%, hvoraf 15% var  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{NO}_3\text{-N}$ . For majshalm findes tab af total-N på 27% (*Parker*, 1962) og 35% (*Parker et al.*, 1957), og for hvedehalm 25 til 40% (*Douglas et al.*, 1980).

Behandling af byghalm med kogende vand giver et større tab af total-N end de ovenfor anførte.

Således finder *Harper og Lynch* (1982), at byghalm taber 64% af dets total-N, mens tabet af C og aske udgør henholdsvis 5 og 63% af halmens indhold ved start. Sidstnævnte resultater er i overensstemmelse med de her fundne værdier for koldtvands udvaskebart organisk stof og aske, men er for C i modstrid med *Nykvists* (1963) resultater.

Mens der registreredes en signifikant effekt af forudgående inkubation på halmens udvaskbare tørstoffraktion, fremkom der ved denne behandling ingen stigning i udvaskebarheden af aske, K, P, Mg og Ca. Mobiliteten af disse næringssalte synes således ikke under indflydelse af en begyndende nedbrydning af halmen, men må betragtes som en rent fysisk/kemisk proces.

En begyndende nedbrydning af halmen giver anledning til en stigning i den udvaskbare del af halmens total-N (tabel 3). Den største stigning ses ved den højeste inkubationstemperatur. Analyser foretaget på vandekstrakten viste, at 10 til 15% af det udvaskede total-N fandtes på  $\text{NH}_4^+$  eller  $\text{NO}_3^-$  form, hvilket er i overensstemmelse med oven for refererede værdier opnået af *Rice* (1979). Cirka 85% af det udvaskbare total-N må derfor være bundet til organisk stof. Det som følge af inkubationen øgede tab af total-N er således i overensstemmelse med den observerede stigning i tørstoffabet (fig. 3).

I forhold til ubehandlet halm har den udvaskbare tørstoffraktion et meget lavt C/N forhold. Ved ekstraktion af byghalm med kogende vand finder *Harper og Lynch* (1982) et C/N forhold på 20 i den udvaskbare fraktion. For hvede og havrehalm opnåedes C/N forhold på henholdsvis 12 og 16. Ved udvaskning af hvedehalm med koldt vand finder *Cochran et al.* (1980) et C/N forhold i ekstrakten på mindre end 10. De i den nærværende undersøgelse fundne C/N forhold ses at være i overensstemmelse med de oven for anførte litteraturværdier.

Det øgede udvaskningstab af total-N, som følge af en begyndende nedbrydning af halmen kan skyldes, at der ved tørring i forbindelse med udvaskningen dræbes en del af nedbryderbiomassen, hvorved organiske forbindelser med lavt C/N forhold bliver tilgængelige for udvaskning. I de første stadier af halms nedbrydning domineres nedbryderbiomassen af en række mikrosvampe (*Lacey*, 1979), og svampehyfer med et relativt lavt C/N forhold kan også tænkes udvasket fra halmprøven. Som vist af *Jansson et al.* (1955) kan mellem 18 og 28% af halmens organisk bundne N allerede efter 20 dages inkubation være inddraget i den mikrobielle omsætning, og derved overført

til nedbryderbiomassen. På grund af det høje N-niveau under inkubationen (1,6%  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  tilsat) og den højere inkubationstemperatur (26°C) har den mikrobielle aktivitet i oven nævnte forsøg formodentlig været højere end i nærværende undersøgelse. Men også under nærværende forsøgsbetingelser må det antages, at en betydelig del af halmens total-N er inddraget i de første nedbrydningsstadier og derved bidrager til det øgede tab af total-N.

Internodier, blade og nodier viser i de første nedbrydningsstadier ikke samme nedbrydelighed. Som vist af *Harper og Lynch* (1981b), viser blade og nodier inkuberet ved 20°C større vægttab end internodier. *Grossbard og Harris* (1981) finder ligeledes at blade nedbrydes hurtigere end stængler. Da såvel blade som nodier har et ret højt indhold af total-N (tabel 1), støtter dette oven stående argumentation vedrørende den øgede udvaskning af total-N efter forudgående inkubation.

Halmens indhold af næringssalte afhænger af en lang række forhold, hvoraf kan nævnes gødskning, jordtype, modenhed ved høst og halmtype. *Rice* (1979) finder, at ved stigende tilførsel af kvælstof til byg øges halmens N-indhold og den udvaskede N-mængde, mens den udvaskede mængde i procent af halmens N-indhold er den samme uanset gødskningsniveau. Derimod finder *Douglas et al.* (1980), at den udvaskbare del af hvedehalms N-indhold stiger ved stigende N-indhold i halmen.

### Konklusion

Ved udvaskning med koldt vand kan op til 9% af halmens tørvægt fjernes. Mere end 50% af halmens askeindhold var udvaskbart, og efter tre gentagne udvaskninger var der fjernet 87% K, 59% P, 34% Mg, 25% Ca og 20% total-N fra halmen. Mobiliteten af K, P, Mg og Ca påvirkedes ikke af en begyndende nedbrydning af halmen, hvorimod tabet af total-N steg.

En fjernelse af halmens udvaskbare del nedsatte halmens nedbrydelighed. Især ved højere temperaturer var effekten af denne behandling markant.

C/N forholdet i den udvaskbare del af halmen var betydeligt lavere end i halmen ved start.

*Betydning for praksis:* Det ved udvaskningen anvendte forhold mellem halm og vand svarer til 10 mm nedbør, såfremt der i en marksituation antages at være 5 t halm pr. ha. Hvis halm henligger på stubben efter høst og udsættes for kraftig nedbør, vil en betydelig del af halmens indhold af plantenæringsstoffer kunne vaskes fra halmen til den underliggende jord. Det vil især dreje sig om kalium, fosfat og magnesium. Denne udvaskning af halmen vil ved højere temperaturer nedsætte halmens nedbrydelighed, men den udvaskede del af halmens tørstof vil på grund af dens lave C/N forhold ikke give anledning til fastlæggelse af kvælstof i jorden.

Dersom halm udsættes for gentagne udvaskninger og udtørninger i forbindelse med højere temperaturer kan der tapes op til 40% af halmens indhold af total-kvælstof.

### Litteratur

- Attwill, P. M.* (1968): The loss of elements from decomposing litter. *Ecology* 49, 142–145.
- Bocock, K. L., Gilbert, O., Capstick, C. K., Twinn, D. C., Waid, J. S. & Woodman, M. J.* (1960): Changes in leaf litter when placed on the surface of soils with contrasting humus types. I. Losses in dry weight of oak and ash leaf litter. *J. Soil Sci.* 11, 1–9.
- Cochran, V. L., Elliott, L. F. & Papendick, R. I.* (1980): Carbon and nitrogen movement from surface-applied wheat (*Triticum aestivum* L.) straw. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 978–982.
- 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.
- Edmonds, R. L.* (1979): Decomposition and nutrient release in Douglas-fir needle litter in relation to stand development. *Can. J. For. Res.* 9, 132–140.
- Gosz, J. R., Likens, G. E. & Bormann, F. H.* (1973): Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook Forest, New Hampshire. *Ecol. Monogr.* 43, 173–191.
- 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.

- Harper, S. H. T. & Lynch, J. M.* (1981a): The kinetics of straw decomposition in relation to its potential to produce the phytotoxin acetic acid. *J. Soil Sci.* 32, 627–637.
- Harper, S. H. T. & Lynch, J. M.* (1981b): The chemical components and decomposition of wheat straw leaves, internodes and nodes. *J. Sci. Food Agric.* 32, 1057–1062.
- Harper, S. H. T. & Lynch, J. M.* (1982): The role of water-soluble components in phytotoxicity from decomposing straw. *Plant and Soil* 65, 11–17.
- Jansson, S. L., Hallam, M. J. & Bartholomew, W. V.* (1955): Preferential utilization of ammonium over nitrate by microorganisms in the decomposition of oat straw. *Plant and Soil* 6, 382–390.
- Kaila, A.* (1954): Nitrification in decomposing organic matter. *Acta Agric. Scand.* 4, 17–32.
- Lacey, J.* (1979): The microflora of straw and its assessment. *I.E. Grossbard* (ed.): *Straw decay and its effect on disposal and utilization*, John Wiley & Sons Ltd., 57–64.
- Lynch, J. M.* (1979): Straw residues as substrates for growth and product formation by soil microorganisms. *I.E. Grossbard* (ed.): *Straw decay and its effect on disposal and utilization*, John Wiley & Sons Ltd., 47–56.
- Nömmik, H.* (1962): Mineral nitrogen immobilization and carbon dioxide production during decomposition of wheat straw in soil as influenced by temperature. *Acta Agric. Scand.* 12, 81–94.
- Nykvist, N.* (1963): Leaching and decomposition of water-soluble organic substances from different types of leaf and needle litter. *Stud. Forest. Suecica* nr. 3, 1–31.
- 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.
- Rice, W. A.* (1979): Influence of the nitrogen content of straw amendments on nitrogenase activity in waterlogged soil. *Soil Biol. Biochem.* 11, 187–191.
- StAAF, H.* (1980): Release of plant nutrients from decomposing leaf litter in a South Swedish beech forest. *Holarc. Ecol.* 3, 129–136.
- Staniforth, A. R.* (1979): *Cereal straw*. Clarendon Press Oxford.
- Sørensen, L. H.* (1963): Studies on the decomposition of <sup>14</sup>C-labeled barley straw in soil. *Soil Sci.* 95, 45–51.

Manuskript modtaget den 11. april 1983.