

Drænvandsundersøgelser på marsk- og dyb tørvejord 1971–84

Investigations of drain water quality and leaching of nutrients from marsh and deep peat soil 1971–84

E. Frimodt Pedersen

Resumé

Beretningen giver resultater fra 14 års systematiske undersøgelser af drænvandskvalitet og -mængde på marskjord ved Højer og på tørvejord ved Hedebybro i Skjernådal.

Der er tale om specielle jordtyper med høj grundvandstand. Drænvandets næringsstofindhold er for de 2 jorde bestemt af den enkelte jords oprindelse.

Marskjorden er saltvandsaflejret, sandblandet klæg, og drænvandet fra disse arealer har et højt pH og en høj koncentration af næringsstoffer. De dominerende næringsstoffer er natrium og chlor med et gennemsnit på hhv. 293 og 476 mg/l. Koncentrationen af nitrat-kvælstof er i gennemsnit lavere end i drænvand fra morænelerjord.

Tørvejorden ved Hedebybro består af 8–10 m dyb tørv, der er drænet og kultiveret i 1971–72. Drænvandskvaliteten er usædvanlig med et pH på ca. 3,5 og en gennemsnitlig koncentration af $\text{SO}_4\text{-S}$ på 578 mg/l. $\text{SO}_4\text{-S}$ udgør 92% af anionerne. Koncentrationen af ammonium-kvælstof er meget høj – i de første 6 år i gennemsnit ca. 50 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$, men derefter faldende til 17 mg i 1984. Koncentrationen af total-jern er høj, men er dog reduceret fra ca. 400 mg total-Fe/l ved undersøgelsens start til ca. 40 mg/l i 1984.

I forhold til morænelerjord er begge jordtyper kemisk ustabile, idet der gennem undersøgelsesperioden har været et betydeligt fald i koncentrationen af de fleste næringsstoffer.

Nøgleord: Drænvand, drænvandskvalitet, næringsstofftab med drænvand, marskjord, tørvejord.

Summary

Since autumn 1971 systematic investigations of drain water quality and quantity have been conducted on a marsh soil at Højer and on a peat soil at Hedebybro in the Skjernå river valley.

The soils in question have high groundwater-table.

The drain water quality is influenced by the origin of the individual soils.

The marsh soil is marine sandy clay soil and the drain water from these areas has a high pH. The predominant nutrients are sodium and chlorine with an average concentration of 293 and 476 mg per litre respectively. The concentration of the other nutrients are also high. On an average concentration of nitrate-N is lower than in drain water from upland moraine clay soils.

The depth of the peat at Hedebybro is 8–10 m. The soil was reclaimed in 1971–72.

The drain water quality is uncommon with a pH of about 3.5 and an average concentration of $\text{SO}_4\text{-S}$ of 578 mg per litre. 92% of the anions are $\text{SO}_4\text{-S}$.

The concentration of ammonia-N is very high – about 50 mg NH₄-N per litre on an average of the first 6 years and decreasing to 17 mg per litre in 1984. The content of total-iron was high, about 400 mg total-Fe per litre at the start of the investigation and decreasing to about 40 mg per litre in 1984.

Compared to moraine clay soils both soils are chemical unstable. During the period of investigation there has been a considerable reduction in concentration of most of the nutrients.

Key words: Drain water, drain water quality, leaching of nutrients, marsh soil, peat soil.

Indledning

I 1971 blev der indledt systematiske undersøgelser af drænvandsmængde og -kvalitet på danske lerjorde (4).

Det var naturligt, at drænvandsundersøgelserne også kom til at omfatte mere specielle jordtyper og afstrømningsforhold. Derfor blev der i 1971–72 indledt en lignende undersøgelse på sandblandet klæg ved Højer og på tørvejord ved Hedebybro i Skjernådalene.

Der er her tale om jordtyper af forskellig geologisk oprindelse, som begge er kendetegnet ved et højtliggende grundvandspejl.

På den sandblandede klægjord blev undersøgelsen startet i 1971 i et eksisterende drænforsøg, der var etableret i 1958 som en førstegangs dræning af det pågældende areal.

Undersøgelsen på tørvejord blev startet på et areal, hvor afgrøden indtil 1971–72 var permanent græs, der ofte blev oversvømmet af ferskvand om vinteren. Arealen blev afvandet i 1971 og kultiveret i 1971–72.

Beskrivelse af arealer og forsøgsbetingelser

Jordbundsforhold

Der er tale om 2 jordtyper i forholdsvis ny kultur.

Den sandblandede klægjord ved Højer er en saltvandsklæg, der er dannet ved aflejring af materialer, der er ført ind med tidevandet. Arealen blev inddiget i 1861, og inddigningen blev senere efterfulgt af en hovedafvanding gennem grøfter og kanaler.

Arealen ved Skjernå er en tørvejord med et tørvelag på 8–10 m, der hovedsagelig er dannet i et ferskvandsmiljø. Hovedafvandingen er gennemført omkring 1970. Ved kultivering bestod de øverste ca. 20 cm af en uomsat tørv.

Teksturanalyse

Den sandblandede klæg ved Højer har et højt ler- og siltindhold og et højt indhold af finsand. I tabel 1 er vist teksturanalyser i 3 dybder ned til 90 cm.

Tabel 1. Teksturanalyse, sandblandet klæg ved Højer. *Texture, silty loam at Højer.*

Dybde Depth cm	Ler Clay	Silt Silt	Finsand Fine sand	Grovsand Coarse sand	Humus Org. matter
	vægtprocent – per cent by weight				
0–25	11,9	13,2	72,5	0,4	2,0
30–55	16,2	12,6	69,7	0,5	1,0
60–90	6,4	3,4	89,2	0,4	0,6

Arealen ved Hedebybro er karakteristisk ved et højt indhold af organisk stof bestående af mere eller mindre omsatte planterester. Ved kultivering i 1972 bestod de øverste ca. 20 cm af ret uomsat græs-kæruld-tagrør. Jordens kulstof- og kvælstofindhold er ikke bestemt ved forsøgets start. Jordprøver udtaget i efteråret 1984 viste et gennemsnit glødetab samt indhold af kulstof og kvælstof som vist i tabel 2.

Tabel 2. Glødetab, kulstof, total kvælstof samt kulstof/kvælstofforhold. Hedebybro 1984.

Loss by ignition, C, total-N and C/N ratio. Hedebybro 1984.

Dybde Depth cm	Glødetab Loss by ignition %	C %	Total N %	C/N
0–20	44	26	1,66	16
20–40	43	28	1,81	15
40–60	55	32	1,98	17
60–100	59	33	1,91	17

Kemiske jordanalyser

I tabel 3 er vist gennemsnitsresultater af analyser på jordprøver, der er udtaget i sandblandet klæg ned til 100 cm dybde i perioden 1959–74. Senere analyser viser resultater af samme størrelsesorden. Den sandblandede klæg ved Højer har et naturligt højt pH i alle dybder, selv om der aldrig er tilført kalk til arealet. Analyseresultaterne af Ft, Kt, Nat, Cat og Mgt viser de højeste værdier i de øverste jordlag. I tabel 3 er også vist jordanalyser for tørvearealet ved Hedebybro før kultivering i 1971 og analyser fra 1984. Tallene er korrigeret for rumvægt, der er på ca. 0,3.

pH er øget gennem årene ved tilførsel af ret store kalkmængder – nemlig 15 t CaCO_3 pr. ha ved anlæg og varierende mængder gennem årene, så der totalt er tilført 45–85 t pr. ha i hele perioden 1972–84. I forsøgsperioden er indholdet af fosfor øget med ca. en enhed i de 2 øverste lag (0–40 cm), mens der ikke er sket større ændringer i lagene fra 40 til 100 cm. Jordens kaliindhold er øget i alle dybder, mens der er sket en betydelig reduktion af jordens natrium- og magnesiumindhold. Calciumindholdet i de øverste 40 cm er øget, mens der er sket et betydeligt fald i dybden 40–100 cm.

Den tilførte mængde fosfor, kalium og calcium (kalk) har medvirket til at opretholde og i nogen grad øge jordens indhold af disse næringsstoffer. Natrium og magnesium er ikke tilført i større mængder, og udvaskningen har været så stor, at der er sket et betydeligt fald af disse stoffer i løbet af forsøgsperioden.

Afgrøder

På begge arealer er undersøgelsen foretaget i et sædskifte, hvor alle afgrøder indgår hvert år.

Ved Højer er der tale om et 4-marks sædskifte, hvor byg, havre og vinterhvede indgår hvert år. I 1971 var den 4. afgrøde græs, i 1972 var den raps, i 1973–81 majs og i 1982–83 ærter.

På arealet ved Hedebybro er der tale om en 6-marks drift med samme afgrøde i de enkelte marker hvert år. Der er 1 mark med varigt græs og 5 marker med vårsæd. Vårsæden var havre i årene 1972–78 og byg i 1979–84.

Gødskning

Ved Højer er der normalt anvendt 150–180 kg N til hvede, og til byg og havre er der anvendt hhv. 100 og 50 kg N/ha. Til majs er der anvendt 75 kg N i gylle + 150 kg N i handelsgødning. Der er ikke

Tabel 3. Kemiske jordanalyser.
Chemical analyses of soil.

	Dybde Depth cm	pH(KCl)	pH(H ₂ O)	Ft P*	Kt K**	Nat Na**	Cat Ca**	Mgt Mg**
Højer 1959–74	0–20	6,9	7,6	9,8	13,2	4,6	257	20,2
	20–40	7,1	7,9	9,1	12,7	4,9	209	20,5
	40–60	7,3	8,1	9,0	13,9	5,0	153	24,0
	60–80	7,6	8,2	6,5	8,2	3,4	78	16,9
	80–100	7,7	8,3	5,6	9,0	3,8	54	17,8
Hedebybro 1971	0–20		3,7	0,9	4,0	4,5	94	9,6
	20–40		2,5	0,5	1,5	5,6	90	10,2
	40–60		2,7	0,6	1,6	7,1	156	18,4
	60–100		3,5	1,3	1,9	12,9	276	57,3
Hedebybro 1984	0–20	6,0	5,8	1,9	6,7	2,8	184	3,4
	20–40	5,3	5,0	1,2	4,7	2,6	167	2,6
	40–60	3,9	3,5	0,8	3,4	3,0	115	2,5
	60–100	3,5	3,1	1,1	2,6	4,5	151	7,6

*: mg/33 g soil **: mg/100 g soil

tilført P og K ud over det, der er tilført med gylle til majs.

Ved Hedebybro er der anvendt stigende mængde N-gødning gennem årene. I årene 1972–76 blev der tilført 30–50 kg N til korn og i de følgende år ca. 120 kg N/ha. Det var nødvendigt at tilføre forholdsvis store kvælstofmængder for at opnå et tilfredsstillende udbytte.

Der er anvendt 20–40 kg P og 60–120 kg K/ha årligt. Tildeling af P og K har ligeledes været stigende gennem årene.

Til græs er der normalt anvendt samme gødningsmængde som til korn.

Teknik

Ved begge lokaliteter er undersøgelsen foretaget på enkeltledninger. Ved Højer sker afløbet til en brønd, og vandmængden måles med vandur. Ved Hedebybro er vandmængden beregnet ud fra systematiske målinger af afstrømningsintensitet en gang om ugen. Vandkvaliteten er bestemt på vandprøver udtaget fra drænafløbet en gang om ugen.

Alle enkeltledninger er ført på tværs gennem sædskiftet, hvor alle afgrøder er repræsenteret, og afgrøden kan således betragtes som ens hvert år.

Ved Højer er undersøgelsen foretaget i et forsøg med drændybde og -afstand. Drændybden er 80 og 115 cm kombineret med dræna afstande på 18 og 24 m (1, 3). I årene 1972–77 er der målt på 5 enkeltledninger og fra 1978 på 2 enkeltledninger.

Ved Hedebybro er undersøgelsen foretaget i forsøg med forskellig dræna afstand. Drændybden er ca. 110 cm, og undersøgelsen omfatter dræna afstandene 7,5, 15,0 og 30,0 m.

Resultater

Afstrømning

For begge arealer gælder, at der er tale om et højtliggende grundvandspejl. Fordampningen er minimal i vintermånederne, og det betyder, at når jorden er mættet til markkapacitet, vil afstrømningen stort set være af samme størrelse som nedbøren.

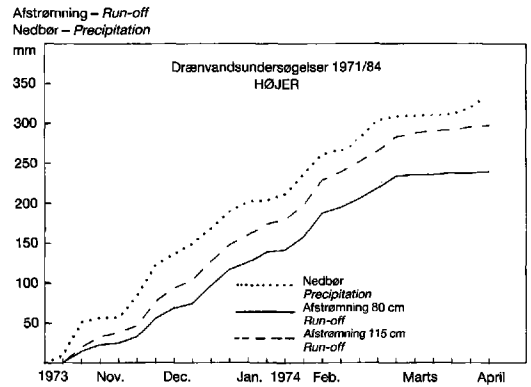


Fig. 1. Nedbør og afstrømning fra 80 og 115 cm drændybde, mm. Marskjord ved Højer 1973/74.

Precipitation and quantity of drain water from 80 and 115 cm drain depths, mm. Marsh soil at Højer 1973/74.

Fig. 1 viser et eksempel på nedbør og afstrømning gennem dræn på sandblandet klæg. Afstrømningsbilledet er ikke meget anderledes på tørvejorden ved Hedebybro.

For begge arealer gælder, at der registreres størst afstrømning ved den største dræningsintensitet, hvilket fremgår af tabel 4.

Tabel 4. Drænavsafsstrømning, mm pr. år, i relation til dræna afstand og drændybde.

Quantity of drain water, mm per year, for different distances and depths of drainpipes.

	Dræna afstand Distance m	Drændybde Depth cm	Afstrømning Run-off mm
Højer	24	80	226
1972–78	18	115	300
Hedebybro	7,5	110	395
1972–84	15,0	110	350
	30,0	110	227

Fig. 2. viser afstrømningsforløbet i perioden fra 1971 til 1984 for drændyberne 80 og 115 cm ved Højer og et gennemsnit af afstrømningen for de undersøgte dræna afstande ved Hedebybro.

Den mindste dræningsintensitet giver den mindste afdræning, og en del af overskudsnedbøren skal skaffes væk på en anden måde. Der kan

Afstrømning, mm
Run-off, mm

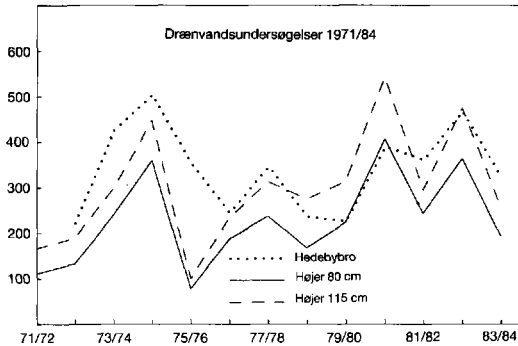


Fig. 2. Afstrømning i mm ved Højer og Hedebybro.
Quantity of drain water, mm, at Højer and Hedebybro.

være tale om horisontal afstrømning til områder med større dræintensitet, eller der kan ske en dyberegående, men langsom grundvandsbevægelse til afvandingskanaler. Resultatet er, at de dårligst afvandede arealer ofte er senere tjenlig til forårsbehandling.

Drænvandsanalyser

Resultatet af de kemiske analyser af drænvandet

fra de 2 arealer er så forskellige, at disse behandles hver for sig i det følgende.

Sandblandet klæg ved Højer

I opgørelsen af resultater fra den sandblandede klæg er der skelnet mellem drændybden 80 og 115 cm. I tabel 5 er der vist et gennemsnit for 1971–84 af det årlige tab af næringsstoffer, koncentrationen af næringsstoffer i drænvand samt en beregning af kationer og anioner og procentfordeling af disse.

Drænvandet har et højt pH, og sammenlignet med drænvand fra almindelige lerjorde er der meget høje koncentrationer af Na, K, Mg, Cl og HCO_3 . De høje koncentrationer resulterer i en høj ledningsevne.

Resultaterne viser, at drændybden har en væsentlig indflydelse på drænvandets indhold af næringsstoffer. For alle næringsstoffer gælder, at koncentrationen er højest i drænvand fra 115 cm dybde. For natrium og chlor er der tale om dobbelt så høje værdier som for drænvand fra 80 cm drændybde.

Den totale koncentration af næringsstoffer er faldet gennem årene fra 50 og 80 mæq/l til 30 og 50 mæq/l for hhv. 80 og 115 cm drændybde. Fig. 3–6

Tabel 5. Næringsstofindhold i drænvand fra sandblandet klæg ved Højer. Gennemsnit 1971–84.
Content of nutrients in drain water. Silty loam at Højer. Average 1971–84.

	80		115		Drændybde, cm – Drainage depth		80		115	
	kg/ha		mg/l		milliækvivalent meq		ionfordeling % distribution of ions %			
Na	435	1.110	207	400	9,00	17,39	46	55		
K	62	91	28	32	0,70	0,81	4	3		
Mg	101	218	48	79	3,94	6,50	20	21		
Ca	256	384	117	132	5,84	6,59	30	21		
$\text{NH}_4\text{-N}$	0,85	2,60	0,37	0,90	0,03	0,06				
$\text{PO}_4\text{-P}$	2,54	3,84	1,10	1,29						
$\text{NO}_3\text{-N}$	26,3	29,3	13,6	10,3	0,97	0,74	5	2		
Cl	614	1.812	302	667	8,52	18,81	43	59		
$\text{SO}_4\text{-S}$	93	148	45	55	2,81	3,44	14	11		
HCO_3	1.024	1.647	449	557	7,36	9,13	38	28		
Afstrømning – Run-off, mm					226	300				
pH					7,5	7,5				
Ledningsevne – Conductivity, (mmho)					1,72	2,76				

viser koncentrationer af natrium, magnesium, chlor og sulfat-svovl. Koncentrationer af disse næringsstoffer har varieret gennem årene, men især for chlor, natrium og magnesium er der tale om et generelt fald. Ved inddigning i forrige århundrede må man regne med, at indholdet af de her nævnte stoffer har været betydeligt højere som følge af en jævnlig oversvømmelse med havvand. Der er sket en udvaskning siden inddigningen, men faldet i saltindholdet i drænvandet viser, at der endnu ikke er opnået den balance i jorden, som betinger de mere stabile og ensartede koncentrationsforhold, der kendes fra almindelige danske lerjorde (4).

Fig. 7 viser koncentrationsforløbet for nitrat-N. Koncentrationen steg kraftigt i 1975/76, og der

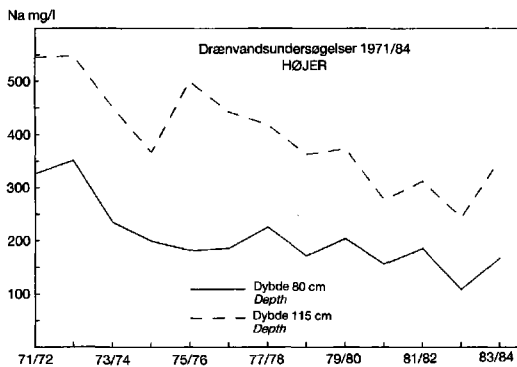


Fig. 3. Natrium, mg/l, Højer.
Sodium, mg/l, Højer.

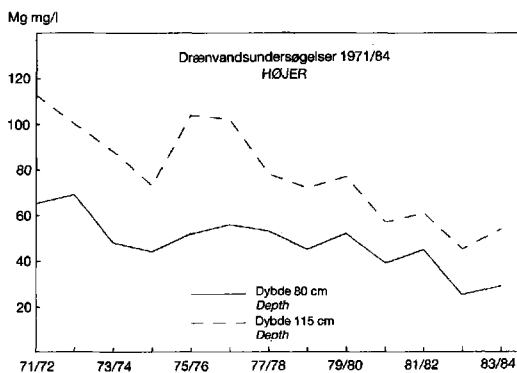


Fig. 4. Magnesium, mg/l, Højer.
Magnesium, mg/l, Højer.

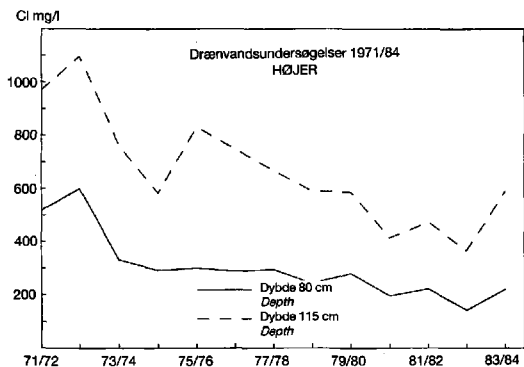


Fig. 5. Chlor, mg/l, Højer.
Chlorine, mg/l, Højer.

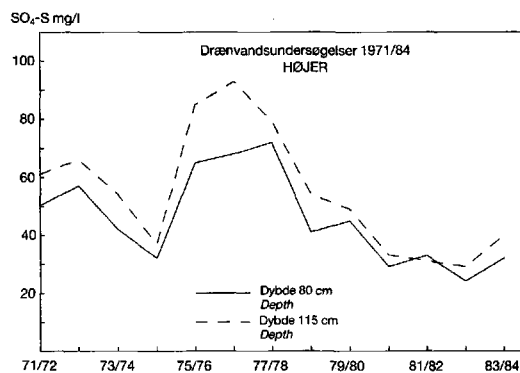


Fig. 6. Sulfat-svovl, mg/l, Højer.
Sulphate-S, mg/l, Højer.

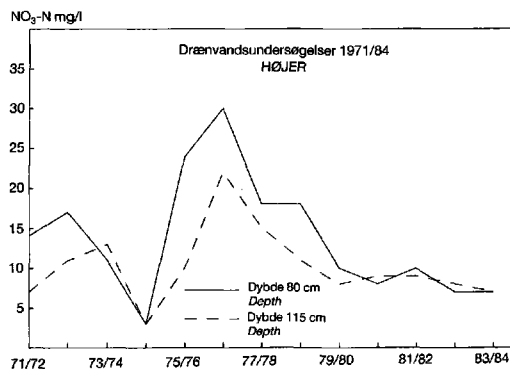


Fig. 7. Nitrat-N, mg/l, Højer.
Nitrate-N, mg/l, Højer.

skete en yderligere stigning i 1976/77, hvorefter koncentrationen faldt til det oprindelige niveau i perioden fra 1976/77 til 1979/80. Grunden til den stærke stigning i 1975/76 og 1976/77 kan være nedgang i næringsstofoptagelsen i de øvre jordlag som følge af dårlige vækstbetingelser, bl.a. små nedbørsmængder, der resulterede i lave udbytter. Samtidig kan der være sket en forøgelse af kvælstofmineraliseringen i de dybere jordlag.

Koncentrationen af $\text{NH}_4\text{-N}$ og $\text{PO}_4\text{-P}$ er 20–40 gange højere end den koncentration, der er målt i drænvand fra almindelige lerjorde.

Næringsstofudvaskning fra den sandblandede klæg ved Højer er betydelig højere end den målte næringsstofudvaskning fra almindelige lerjorde.

Mosejord ved Hedebybro

Næringsstofkoncentrationen har stort set været ens for alle drænafstande, og i det følgende behandles resultaterne under et. I tabel 6 er vist et gennemsnit af de opnåede resultater fra drænafstandene 7,5, 15 og 30 m.

Tabel 6. Næringsstofindhold i drænvand fra dyb tørvejord ved Hedebybro. Gennemsnit af 3 drænafstande, 1972–84.

Content of nutrients in drain water. Deep peat soil at Hedebybro. Average of 3 plots with different drain distance.

	kg/ha	mg/l	Milliækvivalent meq	Ionfordeling% distribution of ions %
Na	244	78	3,39	10
K	21,5	6,3	0,16	1
Mg	265	86	7,07	21
Ca	762	238	11,88	35
Fe-total	536	165	8,86	26
$\text{NH}_4\text{-N}$	114	34,4	2,46	7
$\text{PO}_4\text{-P}$	0,2	0,06	–	
$\text{NO}_3\text{-N}$	12,1	3,5	0,25	1
Cl	330	105	2,96	7
$\text{SO}_4\text{-S}$	1.875	578	36,05	92
HCO_3	17	5,5	0,09	0
Afstrømning – Run-off, mm			324	
pH			3,5	
Ledningsevne – Conductivity, (mmho)			2,70	

Drænvandskvaliteten fra den pågældende tørvejord er på mange punkter væsentlig forskellig fra kvaliteten af drænvand fra almindelige lerjorde og fra sandblandet klæg. Der er først og fremmest tale om drænvand med et ekstremt lavt pH og et betydeligt indhold af jern. Det lave pH bevirker, at koncentrationen af hydrogencarbonat er yderst beskedent. For de øvrige næringsstoffer er der tale om meget høje koncentrationer.

Fig. 8–13 viser koncentrationsforløbet i undersøgelsesperioden for nogle af de målte næringsstoffer.

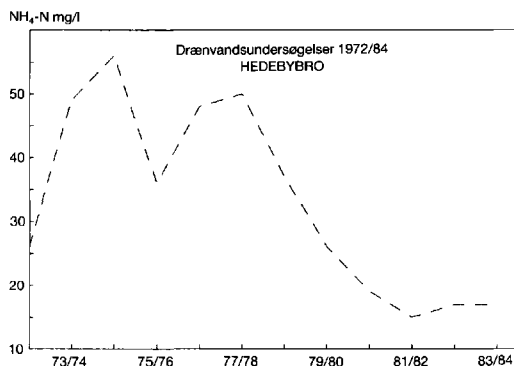


Fig. 8. Ammonium-N, mg/l, Hedebybro.
Ammonium-N, mg/l, Hedebybro.

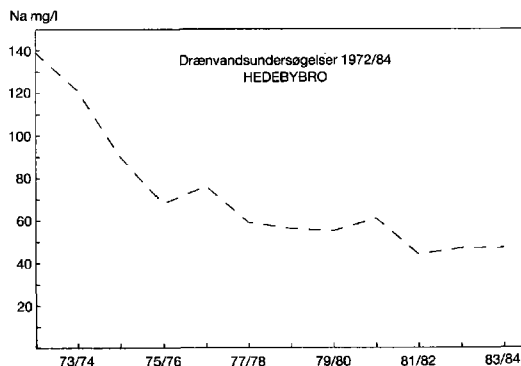


Fig. 9. Natrium, mg/l, Hedebybro.
Sodium, mg/l, Hedebybro.

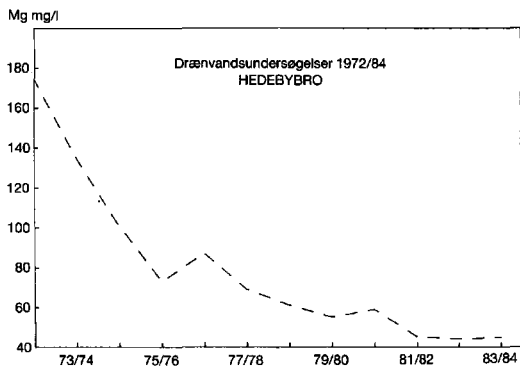


Fig. 10. Magnesium, mg/l, Hedebymbro.
Magnesium, mg/l, Hedebymbro.

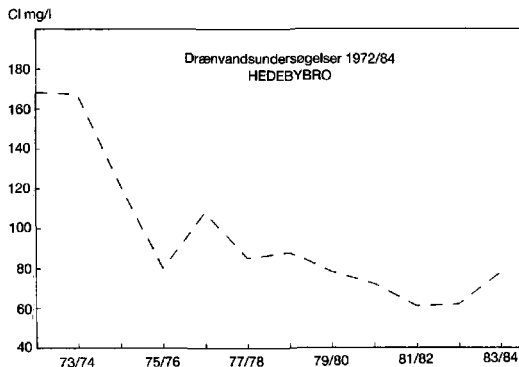


Fig. 13. Chlor, mg/l, Hedebymbro.
Chlorine, mg/l, Hedebymbro.

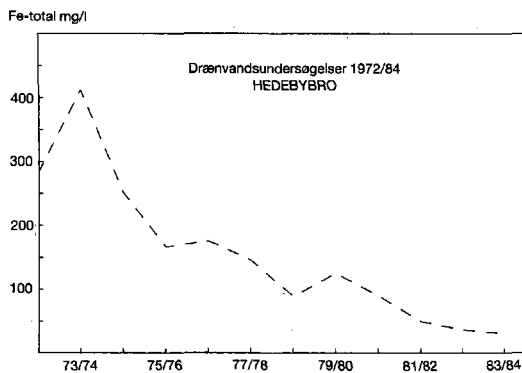


Fig. 11. Total-jern, mg/l, Hedebymbro.
Total iron, mg/l, Hedebymbro.

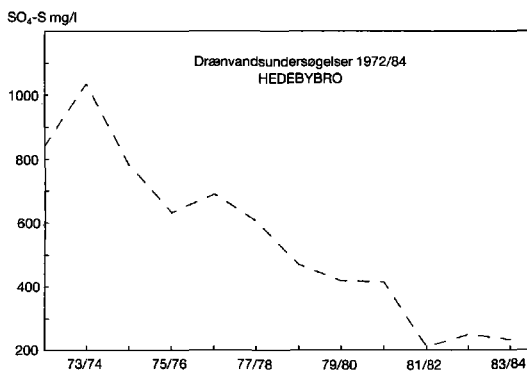


Fig. 12. Sulfat-svovl, mg/l, Hedebymbro.
Sulphate-S, mg/l, Hedebymbro.

Koncentrationen af ammonium-kvælstof var stigende de første år, men aftog betydeligt gennem de sidste år af undersøgelsesperioden. For total-jern, natrium, magnesium, sulfat-svovl og chlor har der været et næsten konstant fald i koncentrationerne fra undersøgelsens start.

I hele undersøgelsesperioden er den totale koncentration af næringsstoffer faldet fra 56 mæq/l i 1972/73 til 18 mæq/l i 1983/84.

Bemærkelsesværdigt er de høje koncentrationer af ammonium-kvælstof med 15–55 mg/l. Der var en udvaskning af NH₄-N i de første 3 år på hhv. 57, 207 og 283 kg N/ha som gennemsnit af de 3 drænafstande.

Koncentrationen af total-jern (Fe) steg fra 1972/73 til 1973/74 i gennemsnit fra 280 til 409 mg/l. Derefter er koncentrationen faldet jævnt gennem undersøgelsesperioden til at udgøre 38 mg/l i 1983/84. Der er udvasket 627 og 1.752 kg jern i hhv. 1972/73 og 1973/74, mens der er udvasket 95 kg i 1983/84. I gennemsnit er koncentrationen af Fe-total på 165 mg og udvaskningen med drænvand på 536 kg/ha.

Der er også sket betydelige tab af andre kationer.

For anionernes vedkommende er det SO₄-S, der er dominerende, idet dette næringsstof i gennemsnit udgør 92% af det totale indhold af anioner. Det er betydelige mængder SO₄-S, der udvaskes med drænvandet. De højeste værdier var

4.400 og 4.000 kg/ha årligt i hhv. 1973/74 og 1974/75. I gennemsnit af hele undersøgelsesperioden er der tale om en årlig udvaskning på 1.875 kg SO₄-S/ha.

Analyseresultaterne fra drænvandsprøver vil normalt vise balance mellem kationer og anioner. I de udførte analyser er der sjældent opnået ionbalance for drænvandsprøverne fra Hedebybro. En beregning af ionbalancen vil vise, at der er færre kationer end anioner. Det kan skyldes, at der udvaskes kationer, som ikke indgår i analyseprogrammet – bl.a. frie brintioner.

Diskussion

Formålet med systematiske drænvandsundersøgelser er:

1. at få kendskab til drænvandsafstrømningens størrelse
2. at få kendskab til drænvandets indhold af forskellige næringsstoffer
3. at få kendskab til årsvariation og eventuelle ændringer over en længere årrække under forskellige jordbunds- og nedbørsforhold.

I tabel 7 er der givet en oversigt over afstrømning, næringsstofmængder og koncentrationsforhold for drænvand fra veldræned, danske lerjorde, sandblandet klægjord ved Højer og tørvejord ved Skjernå (Hedebybro).

Det ses af oversigten, at der er betydelig forskel på almindelig lerjord, marskjord og tørvejord med hensyn til koncentrationen af næringsstoffer og med hensyn til procentfordelingen af kationer og anioner i drænvandet.

Det er karakteristisk, at næringsstofkoncentrationen i drænvand fra almindelig lerjord ikke har ændret sig i undersøgelsesperioden (4).

Det samme er ikke tilfældet, når det gælder drænvand fra sandblandet klæg ved Højer og fra tørvejord ved Skjernå. I undersøgelsesperioden er der sket et betydeligt fald i næringsstofkoncentrationerne.

Et sådant henfaldsforløb kan ofte beskrives med ligningen

$$c = a e^{-kt}$$

hvor c er koncentrationen, t er tiden i år regnet fra undersøgelsens start, og a og k er konstanter,

Tabel 7. Næringsstofftab gennem drænvand og drænvandets næringsstofkoncentration samt ionfordeling i % fra lerjord, marskjord ved Højer og dyb tørvejord ved Hedebybro.

Leaching of nutrients with drain water, concentration of nutrients and the frequency of ions in drain water from moraine sandy loam soils, marsh and deep peat soil.

	kg/ha			mg/l			Ionfordeling % Frequency of ions %		
	normal moraine	marsk marsh	tørv peat	normal moraine	marsk marsh	tørv peat	normal moraine	marsk marsh	tørv peat
Na	16,8	683	244	14,0	293	78	10	50	10
K	1,0	69,2	21,5	0,8	29,4	6,3	0	3	1
Mg	8,2	151	265	6,8	66	86	10	21	21
Ca	129	309	762	107	133	238	80	21	35
Fe-total			536			165			26
NH ₄ -N	0,06	1,53	114	0,05	0,61	34,4			7
PO ₄ -P	0,04	2,69	0,2	0,03	1,08	0,06			
NO ₃ -N	21,9	26,5	12,1	18,2	12,7	3,5	23	4	1
Cl	50	1.085	330	41	476	105	19	51	7
SO ₄ -S	28	133	1.875	24	62	578	24	12	92
HCO ₃	194	1.201	17	161	493	6	34	33	0
Afstrømning – Run-off, mm				120	240	324			
pH				7,1	7,5	3,5			
Ledningsevne – Conductivity, (mmho)				0,60	2,28	2,70			

der angiver henholdsvis koncentrationen til tiden 0 og reaktions- eller henfaldshastigheden.

I tabel 8 er a og k beregnet for nogle næringsstoffers vedkommende ved hjælp af regression.

Tabel 8. Regressionsberegning af udvaskningskonstanter efter ligningen $c = a e^{-kt}$, hvor c er koncentrationen i mg/l, og t er tiden i år, samt den beregnede halveringstid $t_{1/2}$ for c .

Estimation of leaching characterized by regression using the equation $c = a e^{-kt}$, in which c is concentration in mg/l, t is time in years and calculated half-life period, $t_{1/2}$, for concentration c .

		a mg/l	k/år	R ²	t _{1/2} år
Højer 80 cm	Na	289	0,062	63,7	11,1
	Mg	66	0,059	65,0	11,7
	Cl	467	0,084	75,8	8,2
Højer 115 cm	Na	536	0,054	70,4	13,0
	Mg	111	0,064	76,3	10,8
	Cl	957	0,068	69,1	10,2
Hedebybro	Na	109	0,085	81,9	8,1
	Mg	131	0,107	87,8	6,5
	Fe-total	387	0,218	93,8	3,2
	SO ₄ -S	1.026	0,134	91,6	5,2
	Cl	139	0,071	68,8	9,8

Ved beregningen er der ikke taget hensyn til, at ligevægtstilstanden i jordvæske under naturlige forhold ikke indtræffer ved koncentrationen 0, men ved en koncentration, der, afhængig af den årlige tilførsel med gødning og nedbør, ligger lidt over 0. Såfremt ligevægtskoncentrationen var kendt, ville det være korrekt at korrigere c ved at fratække denne. Det forholdsvis korte åremål, undersøgelsen er foretaget over, tillader imidlertid ikke en sådan korrektion.

Med disse forbehold angiver a i tabel 8 den beregnede gennemsnitlige koncentration i drænvandet ved undersøgelsens start, medens k , når den ganges med 100, angiver den gennemsnitlige, årlige nedgang i koncentrationen i %. Den tilsvarende halveringstid, $t_{1/2} = 0,693/k$, i år er ligeledes beregnet.

Af tabellen fremgår det, at nedvaskningen er

sket hurtigst for Fe og SO₄ ved Hedebybro med halveringstider på henholdsvis 3 og 5 år. De relativt høje R² værdier for disse stoffer viser samtidig, at udvaskningen af Fe og SO₄ efter dræning af en pyritholdig jord (se nedenfor) med god tilnærmelse kan beskrives med ovenstående ligning.

For øvrige stoffer vist i tabel 8 er udvaskningen af Na og Mg sket noget hurtigere på tørvejorden ved Hedebybro end på marskjorden ved Højer, mens udvaskningshastigheden af Cl har været nær den samme på de 2 jorde.

Den sandblandede klæg har fra naturens hånd et højt indhold af chlor og natrium. Natrium er ligesom de øvrige kationer bundet til kolloiderne, mens chlor og de øvrige anioner findes opløst i jordvæsken. Jordvæskens anioner er altid i balance med kationer på lerkolloiderne, og når der er betingelser for afstrømning, vil de opløste anioner tage tilsvarende kationer med i afstrømningsvandet. Natrium er det næringsstof, der er til stede i størst mængde, og som tillige er svagest bundet til lerkolloiderne og derfor udvaskes i betydelige mængder. Beregnet som milliækvivalenter udvaskes Ca og Mg i lige store mængder. Det ses tillige, at indholdet af K er 20 gange så stort som i drænvand fra almindelig lerjord.

Indholdet af NO₃-N er forholdsvis lavt, men den større afstrømningsmængde bevirker, at der i gennemsnit udvaskes større mængder pr. ha/år end fra den almindelige lerjord.

Der findes flere typer af tørvejord i Skjernådal, og lokaliteten ved Hedebybro, hvor drænvandsundersøgelsen er foretaget, kan ikke betragtes som repræsentativ for humusjord i området – og slet ikke for humusjord på landsplan.

Når en tørvejord drænes, sker der en ændring af de kemiske og biologiske forhold. Tørvejorden ved Hedebybro havde før afvandingen et betydeligt indhold af pyrit (FeS₂) og kan betegnes som en okkerpotentiell jord. Når grundvandstanden sænkes – f.eks. ved dræning – sker der en iltning af pyrit til svovlsyre og frit jern. Dette medfører lave pH-værdier, og der sker en udvaskning af jern og svovl. Det frigjorte jern kan udfældes i grøfter og vandløb som okker.

I nedenstående tabel er angivet jordens indhold af pyrit.

Tabel 9. Pyritindhold i 0–90 cm dybde i tørvejord, Hedebybro.
Content of pyrite, 0–90 cm depth. Peat soil, Hedebybro.

Dybde Depth cm	Pyrit (FeS ₂) t/ha		
	1972	1977	1984
0–20	3,7	–	–
20–40	14,6	4,3	–
40–60	29,0	9,2	1,8
60–90	65,8	35,0	18,0
Total 0–90 cm	113	49	20

Beregningen er foretaget af Det danske Hedeselskab på grundlag af svovl- og pyritanalyser i jordprøver, der er udtaget de pågældende år. Det ses, at jordens pyritindhold i 0–90 cm dybde er faldet til under 1/3 fra 1972 til 1984.

Jern og svovls kemi i jorden findes indgående beskrevet bl.a. i bilag til Miljøstyrelsens okker-rapport (2). Pyritiltning synes nær afsluttet i 1984. Iltningen frigør SO₄-S, der er letopløselig og derfor let udvaskes. Udvasningen af SO₄-S følges af en tilsvarende kationudvaskning, hovedsagelig jern, men også calcium og magnesium, idet en del af jernet fastlægges i jorden jf. tabel 3.

Konklusion

Systematiske drænvandsundersøgelser på marskjord ved Højer og på tørvejord ved Hedebybro i

Skjernådalene viser, at drænvandsmængden på 240–324 mm årligt stort set svarer til nedbørs-overskuddet. De 2 jordtyper er af forskellig geologisk oprindelse, og det giver sig udtryk i forskelle i drænvandets næringsstofindhold.

For begge jorde gælder det, at koncentrationen af de fleste næringsstoffer er betydelig højere end de værdier, der er fundet i drænvand fra almindelig lerjord.

Analyseresultaterne viser tillige, at begge jorde er kemisk ustabile, idet koncentrationen af nogle næringsstoffer er faldet betydeligt i undersøgelsesperioden.

På den dybe tørvejord er der udvasket store mængder sulfat-svovl sammen med betydelige mængder jern, calcium, magnesium og ammonium.

Litteratur

1. Hansen, L. & Rasmussen, K. J. 1968. Dræningsforsøg på marskjord. Tidsskr. Planteavl 72, 335–355.
2. Miljøstyrelsen 1984. Redegørelse om den treårige forsøgsordning til nedbringelse af okkergener i vandløb. Bilag 10. Det danske Hedeselskab. Undersøgelse af jernudvaskning fra pyritindholdige arealer.
3. Pedersen, E. Frimodt 1977. Dræning og grundvandstand på marskjord. Tidsskr. Planteavl 81, 325–345.
4. Pedersen, E. Frimodt 1983. Drænvandsundersøgelser 1971–81. Statens Planteavlsforsøg, Beretning nr. S 1667. 53 pp.

Manuskript modtaget den 18. september 1985.