

Rapport

R51:1982

Ekologiska effekter av ytjordvärmeuttag

Tryggve Troedsson m fl

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *See*

R/
Be
[K
pnl]

Byggeforskningsrådet

R51:1982

EKOLOGISKA EFFEKTER AV YTJORDVÄRMEUTTAG

Tryggve Treedsson
Per-Erik Jansson
Heléne Lundkvist
Lars Lundin
Roland Svensson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
780635-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Institutionen för skoglig marklära,
Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R51:1982

ISBN 91-540-3689-5
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1982

INNEHÅLL

1.	INLEDNING	5
1.1	Problemställning	5
1.2	Projektet	6
1.3	Rapporten	7
2.	ALLMÄNKLIMATISKA FÖRHÅLLANDEN	9
3.	FÖRSÖKSOMRÅDETS MARKKEMISKA EGENSKAPER	11
4.	UPPMÄTTA OCH SIMULERADE MARK- TEMPERATURER VID OLIKA YTJORD- VÄRMEUTTAG	15
4.1	Mätprogram	15
4.2	Klimat och värmeuttag	16
4.3	Modellbeskrivning	18
4.4	Anpassning av modellen till Hackstamarken	21
4.5	Simulerade och uppmätta marktemperaturer	22
4.6	Marktemperatursänkning på grund av värmeuttag	28
4.7	Slutsats	32
5.	MARKBIOLOGISKA FÖRÄNDRINGAR VID YTJORDVÄRMEUTTAG. PÅVERKAN PÅ MARKORGANISMER	35
5.1	Arbetets uppläggning	35
5.2	Daggmaskpopulation	36
5.3	Daggmaskaktivitet	38
5.4	Nedbrytningshastighet	40
5.5	Slutsats	40
6.	MARK- OCH GRUNDVATTEN VID YTJORDVÄRMEUTTAG	43
6.1	Markvattenmätningar	43
6.2	Grundvattenståndsobservationer ...	43
6.3	Beräkningsmetoder	44
6.4	Vattenförhållandenas årsmåner	44

6.5	Markvattnet på försöksytorna	44
6.6	Värmeuttagets inverkan på markvattnet	47
6.7	Grundvattenståndsvariationer	49
6.8	Sammanfattning	49
7.	YTJORDVÄRMEUTTAGEETS EFFEKTER PÅ PRYDNADSVÄXTER	51
7.1	Odlingsbetingelser och försöks- uppläggning	51
7.2	Växtmaterial	51
7.2.1	Gräs	52
7.2.2	Rosor	53
7.2.3	Blommande, lövfällande prydnads- buskar	53
7.2.4	Barrväxter	54
7.3	Skötsel	54
7.4	Bedömningar	55
7.5	Försöksresultat	56
7.5.1	Gräsets utveckling	56
7.5.2	Rosornas utveckling	58
7.5.3	Prydnadsbuskarnas utveckling	64
7.5.4	Barrväxternas utveckling	66
7.6	Diskussion och sammanfattning	68
7.7	Slutsatser	70
8.	SAMMANFATTNING	71
9.	REFERENSER	75

1 INLEDNING

För alla markbiologiska processer utgör rådande temperaturförhållanden en av de mest betydelsefulla faktorerna. Sålunda är jordmånsutvecklingen starkt kopplad till rådande marktemperaturer och förändringar genom t ex yttre ingrepp (humustäckets borttagande, tillförsel av grövre jordart i ytskiktet osv) får därigenom ett stort inflytande på marktillståndet och markens produktionsförmåga.

Varje form av energiuttag från marken måste därför resultera i förändringar i de markbiologiska förhållandena så att den ekologiska balansen förändras. Om energiuttaget är stort bör konsekvenserna leda till försämrade markproduktionsförhållanden, men givetvis kan man också tänka sig vissa gynnsamma effekter pga t ex jämnare och högre markfuktighet under vegetationsperioden.

Olika växtslag har olika krav - oftast har vi inte ens kunskap om även de vanligaste växternas minimikrav på marktemperaturen under vegetationsperioden. Anpassningen av såväl flora som markfauna har i vårt land skett under mycket långa tidsrymder eller genom en genetiskt noggrann kontroll av växter med kort omloppstid.

1.1 Prolemställning

Redan vid projektets start 1978 fanns ett par tusen ytjordvärmeanläggningar igång i landet utan att man på allvar ifrågasatt de markekologiska konsekvenserna. Som regel ligger huvudparten av ytjordvärmeanläggningarna för närvarande inom villaområden med begränsade tomtområden. I takt med att tomtytorna kring varje villa i de moderna småhusområdena blir allt mindre har det blivit allt vanligare med önskemål om nedgrävning av jordvärmeslangar på oftast kommunalt ägd mark såsom grönområden etc.

Med det bristande kunskapsunderlag som 1978 rådde angående de ekologiska effekterna av energiuttag av marken var det helt omöjligt för såväl ekologer som markforskare att förutsäga förändringar i mark, vegetation eller grundvattenförhållandena om ytjordvärmeslingor kom till användning för energiuttag.

Samtidigt var man helt på det klara med att den ekologiska variationsvidd, som måste föreligga med hänsyn till att ståndortsförhållandena växlar mycket starkt i vårt land, innebär att kraven på ett eventuellt försöksområde måste vara mycket stora. Strävan måste vara att försöka få så allmängiltiga svar på de ekologiska frågorna som möjligt, och samtidigt ha hela den tekniska delen av värmeuttag etc. under noggrann kontroll.

Som en viktig men helt okontrollerad faktor tillkom klimatförhållandena, som under en kort försöksperiod kan ge ett mycket svårtolkat resultat. Detta är speciellt betydelsefullt då vi vill få kunskap om hur ytjordvärmeanläggningar

påverkar miljön under både normala och extrema klimatsituationer och under långa tidsperioder.

Biologiska projekt är dessutom mycket tidsödande. Även en kortvarig vårperiod med växelvis varma dagar och kalla nätter kan i extrema fall ödelägga ett planteringsförsök. Av traditionella skäl tilldelas forskningsmedel i vårt land för endast treårsperioder oavsett projektets natur. Med de problem som ovan framlagts var det helt klart att ett projekt med ekologisk utvärdering av ytjordvärmeuttag måste genomföras med en utomordentligt stor allsidighet för att överhuvud taget kunna ge några allmängiltiga resultat på en treårsperiod.

1.2 Projektet

Av det föregående har framgått att projektet måste anläggas med en stor "bredd". Försöksområdet valdes inom ett lerområde (som är en genomsnittlig villaträdgårdsjord) i mellansverige (Hacksta 25 km SO Enköping) där tidigare gödslings- och bearbetningseffekter kunde negligeras. Av kostnadsskäl var en begränsning till endast ett försöksområde nödvändig. Istället varierades energiuttaget inom försöksområdet så att en gradient erhöles i värmeuttaget.

Projektet delades in i fem delar. Dessa utgjordes av:

- a) markkemi, b) markfysik, c) markbiologi d) markhydrologi, e) växtodling.

Energiuttaget, beräkningsgrunder, uppläggning och genomförande är redovisat i projekt nr 781045-3.

Till varje del utsågs ansvariga forskare. Följande institutioner har varit inkopplade:

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för skoglig marklära

Institutionen för ekologi och miljövärd, Avd. för systemekologi

Institutionen för trädgårdsvetenskap, Avd. för prydnadsväxtodling

Uppsala universitet:

Naturgeografiska Institutionen, Avd. för hydrologi

Zoologiska Institutionen

I ansökan för projektanslag angavs 780111 att försöksresultaten borde direkt kunna omsättas i praktiken genom:

1. Ökad säkerhet vid bedömning av mark lämplig för ytjordvärme.
2. Ytjordvärmens förväntade ekologiskt negativa effekter på marken vid olika värmeuttag.
3. Riktlinjer och restriktioner för anläggningar på mark med känsliga växtslag.

Försöksresultatet som nu föreligger ger ett första bidrag till frågornas besvarande. Detta betyder inte att resultaten är allmängiltiga, eftersom dels försöksperioden från allmänekologisk synpunkt varit alltför kort - dvs endast tre vegetationsperioder och dels undersökningen endast avser en lokal.

1.3 Rapporten

Erhållna forskningsresultat, som härmed framlägges, har respektive delprojektansvarig som författare. För inledningen ansvarar Tryggve Troedsson som också varit projektledare. Hela rapporten är redigerad av Per-Erik Jansson.

Inom respektive område är de ansvariga forskarna följande:

Klimat och markkemi - Prof. Tryggve Troedsson

Markfysik - Fil.dr. Per-Erik Jansson

Markbiologi - Fil.dr. Heléne Lundkvist

Markhydrologi - Fil.kand. Lars Lundin

Växtodling - Försöksledare Roland Svensson

Renskrivning av rapporten har utförts av Carina Lindström och Berit Lundén vid Institutionen för ekologi och miljövård och de flesta figurerna har renritats av Gudrun Sunnerstrand och Britta Myrvik.

2 ALLMÄNKLIMATISKA FÖRHÅLLANDEN

Projektets hittillsvarande försöksperiod har omfattat tre hela vegetationsperioder under åren 1979, 1980 och 1981. Plantering och sådd i försöksparcellerna skedde emellertid redan under september och oktober 1978. Försöksresultatens allmängiltighet är därför avhängiga huruvida väderleksförhållandena kan betraktas som "normala" klimatförhållanden eller ej.

Vid en redogörelse för klimatförhållandena kan man inte begränsa sig till vegetationsperioden (= dygnsmedeltemperatur +6°C) utan såväl invintring som övervintring av ett plantmaterial är starkt beroende av snötäckets mäktighet, tjäldjup, tidig vår etc.

De gångna försöksårens allmänklimat i området kan karaktäriseras sålunda.

1978: Årsmedeltemperaturen var för tredje året i rad lägre än normalt. Svealand var mycket nederbördsfattigt med extrem torra under våren, som dock inte torde ha påverkat plantering och sådder i negativ riktning, eftersom september var nederbördsrik och kall. Oktober var tidvis mycket torr med högsommarvärme. November var den varmaste månaden sedan mätningar påbörjades på 1860-talet, medan december blev den kallaste sedan 1915 och dessutom snörik.

Sammanfattningsvis kan man antaga att trots vissa extrema temperaturvärden bör vegetationen invintrat väl, medan marken i sitt ytlager hade ett temperaturunderskott i relation till ett normalår.

1979: Året blev det fjärde kalla året i följd med en kall, sen och nederbördsrik vår. Även sommaren var nederbördsrik och kallare än normalt. September och oktober var torra medan den förra var kall och den senare mild i sin första hälft. I sin helhet låg årsmedeltemperaturen 0,5-1,5°C under normalmedelvärdet. Väderleken innebar att man mot traditionella förhållanden i Mälardalen inte behövde vattna försöksytorna under första våren efter planteringen, vilket eljest brukar vara nödvändigt. Man kan anta att temperaturunderskottet i de ytnära skikten inte minskat sedan föregående år. Snötäcket var i stort sett normalt.

1980: Året blev kallare än normalt med nederbördsöverskott. Vintern 79/80 rätt kall och nederbördsfattig. Framför allt blev mars månad med kall och torr väderlek synnerligen påfrestande för vedartade växter. Våren blev upp till fyra veckor försenad med en kylig och torr maj månad. Sommaren blev kylig och regnig, vilket också karaktäriserar hösten. Förvintern kan räknas från ett rekordkallt slut av oktober månad, mycket kall november med hög nederbörd till en något mer normal december ifråga om temperatur och nederbörd. Sammanfattningsvis var 1980 inte helt olika 1979 men med ett tunnare snötäcke.

1981 blev det sjätte året i följd med en medeltemperatur lägre än normalt. Arsrekord i nederbördsmängd uppträdde (Uppsala 746 mm). Vintern 1980/81 hade normaltemperatur med snöfattigdom (djup tjäle).

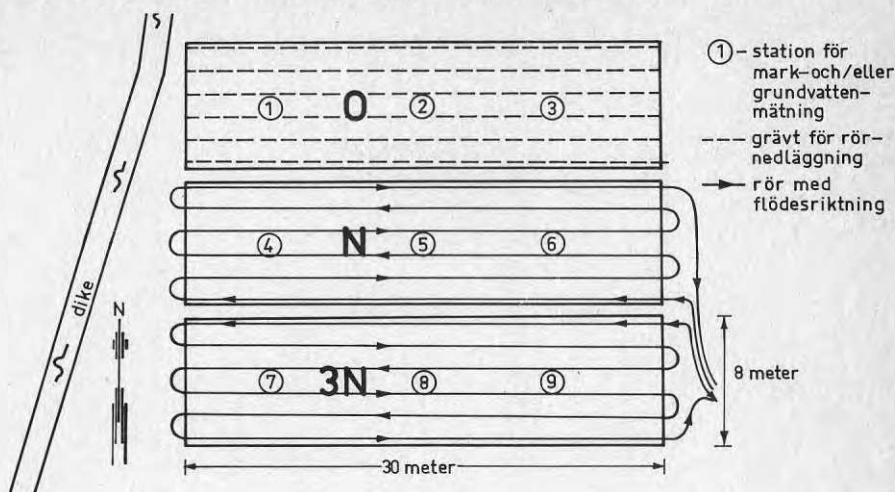
Stora nederbördsmängder i mars, exceptionellt varm första och en extremt kall andra hälft i april, som fortsatte i början av maj för att redan den 10 maj med max. temperaturrekord på +25°C. Sommaren blev kall och regnrik och hösten var något kyligare än normalt medan december fick både köld- och snörekord.

Den tidiga snöfria våren med omvända temperaturförhållanden under april blev en stor påfrestning för växterna.

Försöksperioden har således haft särpräglade klimatförhållanden. Extremt kalla år med regnrika vegetationsperioder, ett snörikt år, ett snöfattigt, två påfrestande vårar för växtligheten och dessutom rekord både i temperaturunderskott och nederbördsmängd erhöles.

Sammanfattningsvis kan man följdaktligen konstatera att ytjordvärmeförsöken bedrivits under en klimatiskt sett ganska ogynnsam period, vilket från försökssynpunkt kan vara av stort värde. Hade de gångna åren istället haft stora temperaturöverskott torde resultaten blivit delvis annorlunda. Det är därför väsentligt att försöken fullföljs under ytterligare en treårs-period för att klimatets betydelse bättre skall kunna bedömas.

3 FÖRSÖKSOMRÅDETS MARKKEMISKA EGENSKAPER



Figur 1. De tre försöksytorna med värmeuttagsrör och stationer för mark- och grundvattenmätningar.

De tre försöksytorna, 30 x 8 m (åtskiljda med 2 m kappor), är belägna i en svag sluttning mot väster (Fig. 1). Försöksområdet är sålunda till sin utbredning starkt begränsat vilket gör att jordartsvariationerna är små inom området.

För att så likartade förhållanden som möjligt skulle råda på de tre försöksytorna skedde grävningar för nedläggning av plastslangarna (maj -78) för cirkulerande kylvätska på samtliga parceller. Slangarna lades med 1,5 m mellanrum och på cirka 70 cm djup. Grävning skedde således även på kontrollytan, även om själva slangen inte lades ned där. Fördelen härmed var att jorden blev omblandad på ett likartat sätt. Vid grävningen kunde en inblandning av jord från djupare belägna delar av alven inte undvikas.

Matjordsskiktet består till huvudsaklig del av en mellanlera som i försöksområdets nedre del har ett markerat inslag av gyttjeler. Gyttjelerens karaktäristiska struktur är mycket tydligt framträdande inom försöksparcellens nedersta tredjedel. Nivåskillnader mellan den högst och lägst belägna delen av parcellerna utgörs av en meter. Jordarternas mekaniska sammansättning har bestämts i tre profiler för försöksytorna (Tab. 1).

Vid försökets anläggning påfördes ett 5 cm mäktigt sphagnumtorvlager som inarbetades väl i matjordslagret med en jordfräs. Tidigare markanvändning utgjordes av en fruktträdsodling där träden var ca femtio år gamla då de togs bort för yttjordvärmeförsökets anläggning. Någon tillförsel av handelsgödselmedel torde inte ha skett sedan planteringen av fruktträden. Under 1930-talet kan det dock inte uteslutas att stallgödsel kan ha tillförts någon gång.

Tabell 1. Texturell sammansättning för försöksytorna (medelvärde av 3 profiler)

Djup (cm)	Horisont	Jordartsfraktioner (vikts %)									Totalt		
		< 2 mm									Organiskt material	< 2	> 2 mm
		<.002	.05	.1	.25	.5	1	2					
0-20	A _p	32.3	18.7	11.5	10.5	8.9	8.2	3.4	6.5		84.4	15.6	
20-40	A _{2g}	34.7	19.9	6.0	12.9	8.9	8.9	3.6	5.1		51.7	48.3	
40-60	B _{2g}	36.1	22.4	11.0	2.6	8.3	8.9	6.2	4.5		72.6	27.4	
60-90	B ₃	40.4	19.0	8.5	10.8	7.5	7.4	3.7	2.7		86.5	13.5	
90-120	C ₁	43.0	12.4	5.3	17.0	8.7	8.3	4.6	0.7		76.8	23.2	
125-130	C ₁	35.5	22.3	12.2	10.8	7.8	7.0	3.7	0.7		88.4	11.6	

Tabell 2. Kemisk analys av matjorden (me/100 g torr jord)

Analys	0-yta				N-yta				3N-yta			
	övre		nedre		övre		nedre		övre		nedre	
	1978	1981	1978	1981	1978	1981	1978	1981	1978	1981	1978	1981
pH	6.7	6.3	6.6	6.4	6.5	6.4	6.5	6.6	6.6	6.4	6.4	6.2
P-AL	5.8	6.7	9.4	10.5	16.8	13.5	11.1	15.7	5.8	7.1	7.3	7.8
P-HCL	60	60	60	61	75	69	65	72	61	62	58	56
K-AL	48	54	62	58	55	66	56	42	42	43	52	47
K-HCL	535	560	685	675	570	685	670	585	550	535	680	600
Mg-AL	25.4	26.5	32.0	40.0	24.2	38.0	28.9	21.7	23.0	23.0	31.0	28.4

I tabell 2 framgår de kemiska analysvärdena från matjorden (0-15 cm), dels utförda vid tiden för försökens utläggning, dels vid slutet av försöksperioden. Proven är statistiskt uttagna i parcellens övre och nedre hälften i oktober månader 1978 och 1981. De kemiska analyserna är utförda enligt Statens lantbrukskemiska laboratoriums officiella bestämmelser. P-AL, K-AL och Mg-AL utgöres av de från växtnäringssynpunkt lättlösliga (laktatsyrelösliga) mängderna av resp. fosfor, kalium och magnesium. De hårdare bundna (saltsyrelösliga) - förrådsnäringen - har i tabellen markerats med HCL.

De kemiska analysvärdena uppvisar mycket små skillnader, både före och efter försöksperioden. Allmänt kan framhållas att försöket ligger på en mycket näringsrik jord (vilket oftast våra leror är) med stor homogenitet. Sammantaget innebär detta att eventuella konstateranden av skillnader i odlingsresultaten inte kan bero på olikheter mellan de olika parcellernas jordarts- eller växtnäringförhållande utan får tillskrivas andra omständigheter.

Tabell 3. Kemisk analys av en vertikalprofil.

Analys	Djup (cm) och horisont					
	0-20 A _p	20-40 A _{2g}	40-60 B _{2g}	60-90 B ₃	90-130 C ₁	130- C ₁
Totalkväve, N (%)	.03	.04	.08	.08	.11	.35
Kol, C (%)	1.0	1.2	0.5	0.6	0.9	3.9
Fritt järn, Fe(%)	0.8	0.85	1.01	0.96	0.90	0.75
C/N	33	30	6	7	8	11
Fe/C	0.8	0.7	2.2	1.7	1.1	0.2
H (me/100 g)			0.8	1.2	1.3	0.4
Ca (me/100 g)	25.9	26.1	14.6	11.5	12.0	16.6
Mg (me/100 g)	2.2	2.2	3.9	3.3	2.9	2.5
K (me/100 g)	1.5	1.3	1.9	1.6	1.8	3.1
Na (me/100 g)	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Metallkatjoner (me/100 g)	29.8	29.8	20.6	16.5	16.8	22.3
Katjonutbyteskapa- citet (me/100 g)	29.8	29.8	21.4	17.7	18.1	22.7
Basmättnadsgrad (%)	100	100	96	93	93	98

I tabell 3 är ytterligare kemiska analyser införda - bl a för internationell karaktäristik av marken. Tabellen visar på hög basmättnadsgrad och Fe/C-kvoten antyder B-horisontens läge i matjorden.



I förgrunden *Thuja occidentalis* 'Smaragd' i 3N-ytan, därefter följer N-ytan och längst bort 0-ytan. (Maj 1981 - Roland Svensson)



N-ytan sett från försöksområdets nedre del, med gräs i förgrunden (Augusti 1980 - Roland Svensson)

4 UPPMÄTTA OCH SIMULERADE MARKTEMPERATURER VID OLIKA YTJORDVÄRMEUTTAG

Vid ett artificiellt uttag av värme från en mark kommer temperaturen att sänkas jämfört med en opåverkad mark. Storleken av denna temperatursänkning beror av en rad faktorer som tidpunkten, storleken och djupet för värmeuttaget samt markens termiska och hydrologiska egenskaper.

Numeriska simuleringsmodeller har utvecklats för att kunna dimensionera värmeuttag (Mogensen, 1980) eller för att kunna förutsäga konsekvenser av värmeuttag för olika jordarter och klimat (Jansson & Halldin 1980). Modellerna har dock ej blivit testade mot fältdata i någon större utstäckning på grund av att mätresultat ej funnits för längre perioder med kända klimatiska och markfysikaliska förutsättningar. Marktemperatur och fuktighetsmätningar under drygt tre år från en lerjord i Hacksta möjliggör nu en utvärdering av en fysikalisk modells kapacitet att efterlikna de naturliga processerna i marken vid ytjordvärmeuttag. I en tidigare studie har en modell använts för förutsägelse av effekterna av ett värmeuttag under en historisk tidsperiod då inga marktemperaturmätningar fanns tillgängliga (Halldin et al., 1979).

4.1 Mätprogram

Mätningar av marktemperaturer har utförts från juni 1978 till oktober 1981 med platinagivare som varit kopplade till dataloggrar (Aanderaa, DL:1) för automatisk registrering varje timme. Givarna var kalibrerade av tillverkaren som uppgav en noggrannhet av $.25^{\circ}\text{C}$ och en reproducerbarhet av $.1^{\circ}\text{C}$. Sammanlagt 55 givare har fördelats på de olika försöksytorna (Fig. 2).

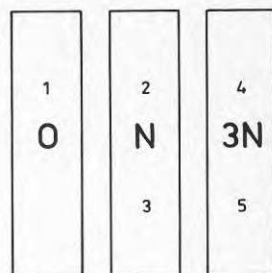
Referensytans (0-yta) givare har alltid varit inkopplade till logger medan i regel endast 11 av de 22 givarna på N-respektive 3N-ytan varit inkopplade - för samtidig registrering. Växling mellan de olika temperaturprofilerna har i regel skett 2 gånger per månad.

Klimatvariabler som lufttemperatur, globalstrålning och nederbörd har mätts i direkt anslutning till försöksytorna. För komplettering under mätavbrott har information från närbelägna SMHI-stationer använts. Veckovis observation av aktuellt snödjup på försöksytorna har utförts under varje vinter.

Värmeuttaget från de två försöksytorna har avlästs från konventionell värmemängdsmätare med 3-10 dagars intervall. Samtidigt har timvis beräkning av värmeuttagen skett med hjälp av en mikroprocessor som varit kopplad till en datalogger för registrering. Även kylvätskans temperatur före och efter passage av markvärmeväxlaren har registrerats med hjälp av datalogger.

Treatment	0	N						3N			
Profile	1	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5
Horizontal distance to heat extraction tube (cm)		0	20	40	75	0	75	0	75	0	75
Depth (cm)		x x									
	10-	x x	x			x		x		x	
	20-	x x				x				x	
		x x	x			x x x		x		x x	
	40-	x				x x		x x x			
	60-		x x					x		x x	
						x x		x		x x	
	80-	x				x		x		x x x	
	100-		x					x x x			
	120-					x x					x
140-											
160-	x	x						x			

x = temperature sensor
● = heat extraction tube



Figur 2. Temperaturgivarnas fördelning på olika försöksled, profiler, djup och avstånd till närmaste värmeuttagsrör.

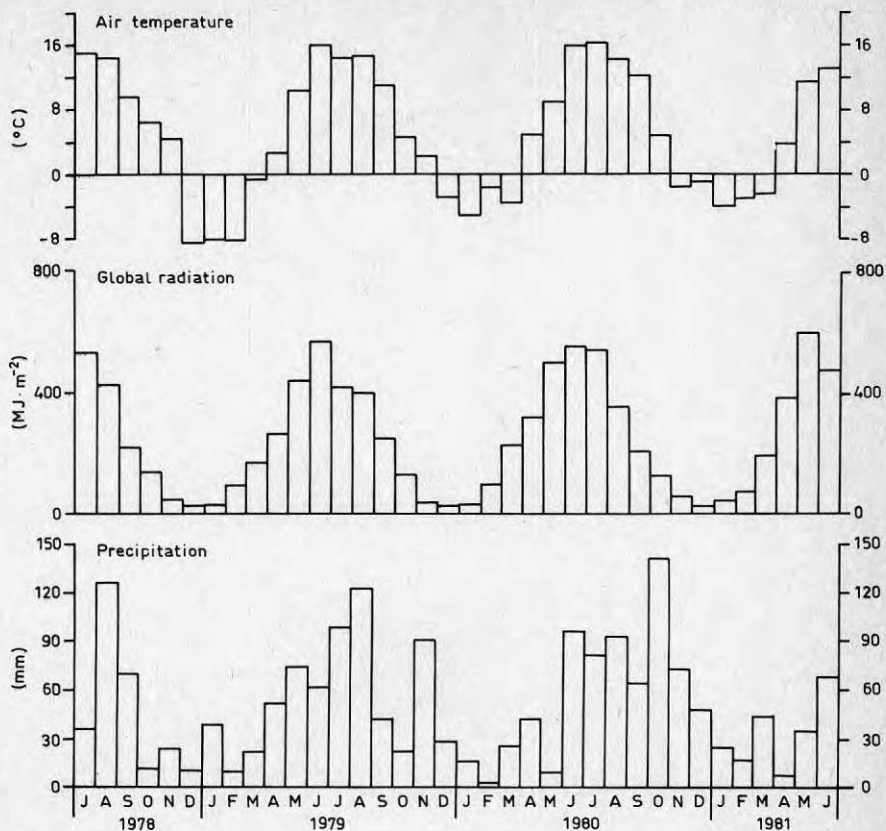
4.2 Klimat och värmeuttag

Den första vintern (78/79) under försöksperioden blev onormalt kall med tre månaders medeltemperaturer omkring -8°C medan de efterföljande vintrarna kan anses vara nära det normala för trakten (Fig. 3).

Eftersom snötäcket var mäktigt (20–40 cm) under första vintern och tunnt under de senare så har markens förmåga att avge värme till ytjordväxteväxlaren varit relativt lika under alla säsongerna. Samtliga säsonger har varit nederbördsrika och några längre torrperioder har aldrig förekommit. Den totala globalstrålningen var störst för den sista säsongen (80/81) som också var varmest och nederbördsrikast (Tab. 4).

Tabell 4. Planerade och faktiska värmeuttag samt klimat i Hacksta.

Uppvärmnings-säsong	N-yta			3N-yta			Globalstrålning (MJm^{-2})	Nederbörd (mm)
	Planerat	Faktiskt	Planerat/ faktiskt	Planerat	Faktiskt	Planerat/ faktiskt		
	(MJm^{-2})	(MJm^{-2})	(%)	(MJm^{-2})	(MJm^{-2})	(%)		
78/79	106	82	77	317	193	61	2960	536
79/80	100	92	92	300	247	82	3000	597
80/81	98	88	90	294	148	50	3100	698

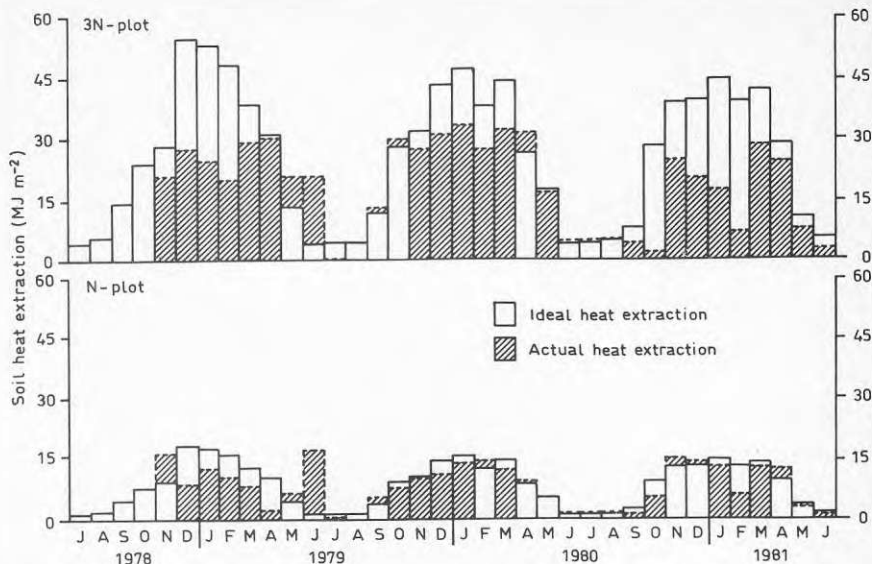


Figur 3. Månadsmedeltemperatur och månadssummor av globalstrålning och nederbörd vid Hacksta.

Enligt projektplanen skulle värmeuttagen styras av utomhustemperaturen enligt ekvationen

$$\begin{aligned}
 Q &= a(17 - T_A) + b & T_A < 11^\circ\text{C} \\
 &= b & T_A \geq 11^\circ\text{C}
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

där Q är värmeuttaget under ett dygn, T_A är luftens dygnsmedeltemperatur och a och b är konstanter som motsvarar temperaturens inverkan på uppvärmningsbehovet respektive varmvattenförbrukningen. För normalt värmeuttag valdes a och b till $2.1 \cdot 10^{-2} \text{ MJ m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ respektive $4.5 \cdot 10^{-2} \text{ MJ m}^{-2}$ vilket skulle motsvara en sänkning av markens årsmedeltemperatur från 7.5°C till 5°C enligt simuleringar med tillverkarens dimensioneringsmodell (Mogensen, 1980). För att utvärdera markens fysikaliska begränsningar att avge värme beslöts att från en försöksyta ta ut tre gånger så mycket energi vilket skulle innebära att årsmedeltemperaturen närmar sig 0°C och att risken för permafrost är uppenbar.



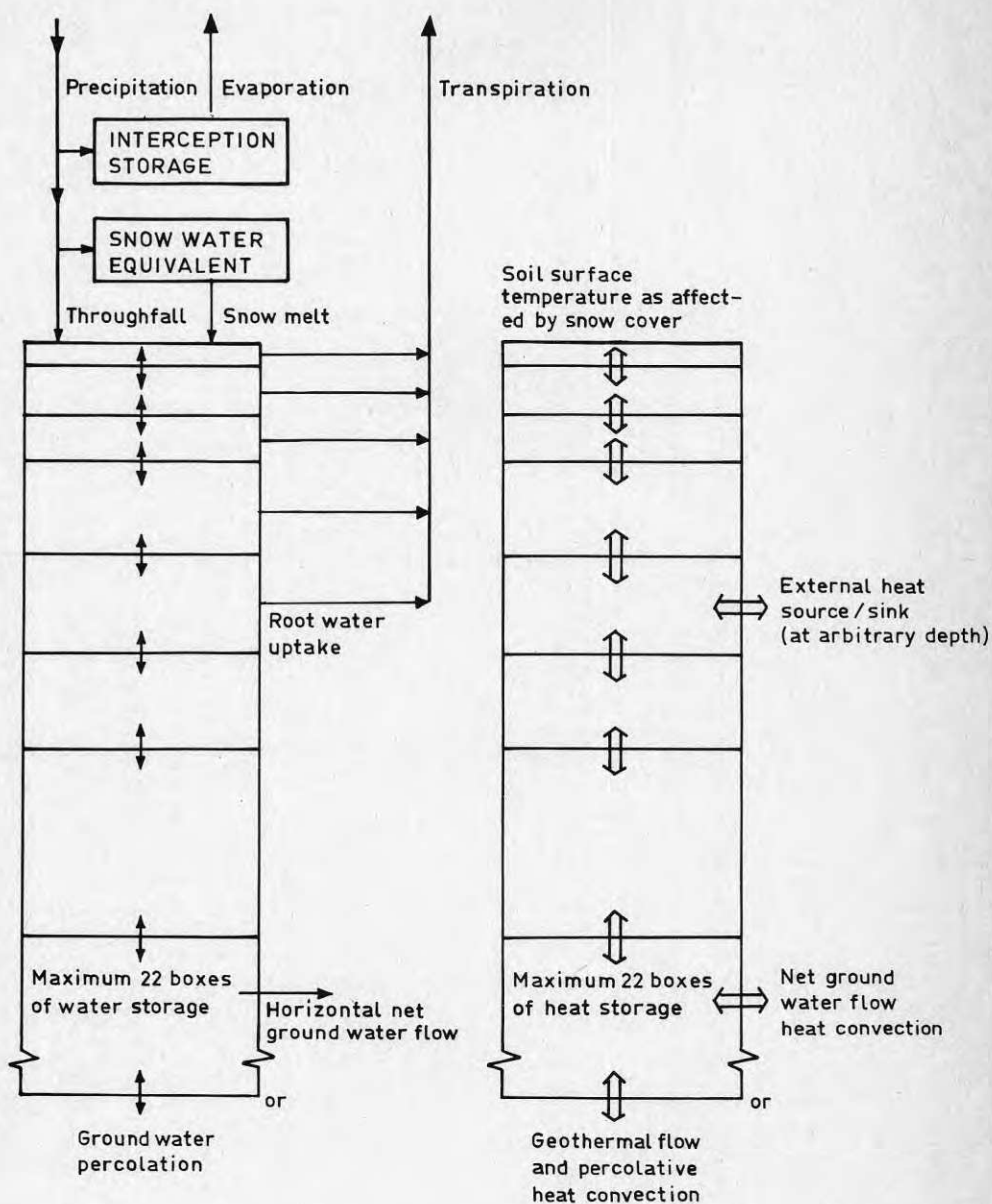
Figur 4. Månadssummor av planerat och faktiskt värmeuttag från de två försöksleden.

De faktiska värmeuttagen fick tyvärr både en annan tidsfördelning och storlek på grund av tekniska svårigheter med reglerutrustningen till värmepumpen och på grund av värmepumpens otillräckliga kapacitet (Fig. 4, Tab. 4). Under den första uppvärmningssäsongen togs onormalt mycket värme ut under maj och juni för att kompensera för den otillräckliga kapaciteten under vintermånaderna. Trots detta kunde inte de planerade värmeuttagen realiseras för vare sig N- eller 3N-ytan. För den 2:a och 3:e uppvärmningssäsongen var det totala värmeuttaget nära det planerade för N-ytan medan 3N-ytans värmeuttag endast var i närheten av de planerade under den 2:a säsongen.

4.3 Modellbeskrivning

Den simuleringsmodell som använts för analys av hur ett värmeuttag påverkar marktemperaturen är tidigare utförligt beskriven (Jansson & Halldin 1980) och endast de viktigaste principerna berörs här.

De två partiella differentialekvationerna som beskriver värme- och vattentransport i en markprofil löses numeriskt med lämplig tids- och rumsupplösning. Markprofilen uppdelas i ett antal skikt (Fig. 5) som alla tilldelas fysikaliska egenskaper som motsvarar den aktuella fältsituationen. För att erhålla randvillkor till ekvationerna måste klimatdata som lufttemperatur, nederbörd och strålning finnas tillgängliga som uppmätta tidsserier eller anges som idealiserade normalvariationer.



Figur 5. Simuleringsmodellens struktur och komponenter. Den vänstra delen representerar vattnets transport och lagring och den högra delen representerar motsvarande för energin. (Jansson & Halldin, 1980).

Markytans temperatur används som övre randvillkor till värmlledningsekvationerna. Den beräknas under vintern från luft- och marktemperaturen samt snöns och markens termiska egenskaper. Under den snöfria perioden ges yttemperaturen (T_s) som en funktion av lufttemperatur (T_A) och globalstrålning (RIS) enligt ekvationen

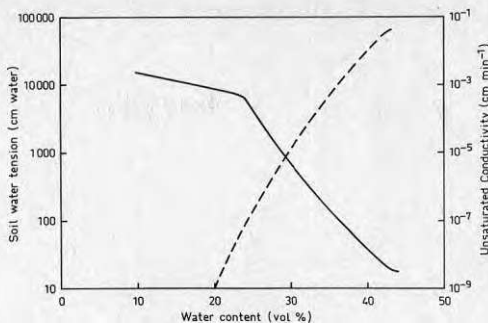
$$T_s = T_A + c \max(0, RIS-d) \quad (2)$$

där c och d är konstanter. För en godtycklig nivå i markprofilen kan ett värmeuttag anges som en funktion av lufttemperaturen enligt ekvationen (1) eller som en uppmätt tidsserie. Som nedre randvillkor ansätts vanligen ett geotermiskt flöde eller en konstant temperatur.

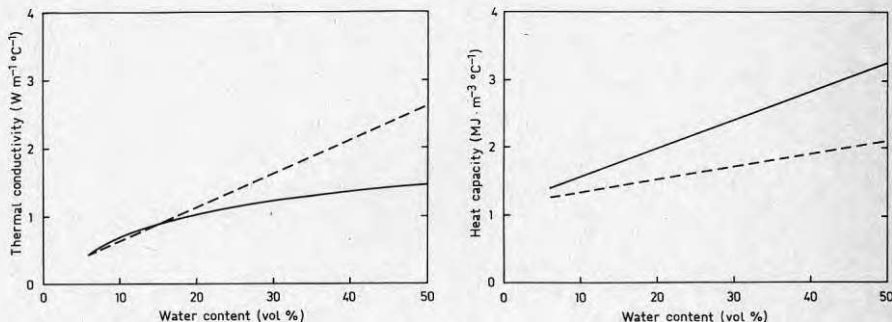
Vattenflödesekvationens övre randvillkor ges av infiltrationen till marken som beräknas efter hänsyn tagen till interception i vegetation och upplagring och smältning av snö. Vattenavgång sker antingen som avdunstning via rötter eller som horisontell avrinning med grundvatten. Om grundvattnet ligger djupare än den betraktade markprofilen sker ingen horisontell grundvattenströmning utan vattnet perkolerar istället vertikalt från det understa markskiktet.

Vatten- och värmeledningsekvationerna är intimt kopplade till varandra. Värmetransporten kan ske dels konvektivt med vattenrörelserna och dels genom värmeledning som till stor del styrs av vattenhalten genom den termiska konduktiviteten och värmekapaciteten. Vattentransporten påverkas indirekt av temperaturen vid tjälning då vattnet binds i isen. Det ofrysta vatten som återstår blir hårt bundet till markpartiklarna och mindre bundet vatten i anslutning till tjälzonen strävar därför att transporteras till den zon där frysning pågår. Om mycket vatten tillförs tjälzonen kan svällning eller s.k. tjälskjutning uppkomma genom att isen tillsammans med tillfört vatten får en volym som överskrider den ursprungliga porvolymen. En ökning av den totala markvolymen beräknas då som den del av volymen is och vatten som överskrider den ursprungliga porvolymen. När mängden is och vatten minskar återgår markskiktet sedan till sin ursprungliga volym. Vattentransporten påverkas också i modellen av temperaturen genom viskositetens och därigenom konduktivitetens temperaturberoende.

Vattnets övergång från vätska till is sker i modellen i ett temperaturintervall från noll grader och till en lägsta temperatur som får bero av mängden hårt bundet vatten vid 15 atmosfärers undertryck (vissningsgränsen). Fördelningen av frysning/smältning i temperaturintervallet styrs av ett porstorleksfördelningsindex som uppskattats från markens vattenhållande egenskaper.



Figur 6. Markvattenpotential (heldragen linje) och omättad konduktivitet (streckad linje) som funktion av vattenhalt i matjords-skiktet (0-40 cm).



Figur 7. Termisk konduktivitet (vänstra figuren) samt värmekapacitet (högra figuren) för ofrusen (heldragen linje) och frusen jord (streckad linje) som funktioner av vattenhalt (ofrusen volymsekvivalent) i matjordsskiktet (0-40 cm).

4.4 Anpassning av modellen till Hackstamarken

Redan vid projektets början ansattes parameterar i simuleringsmodellen som ansågs svara mot markens fysikaliska egenskaper i Hacksta. Dessa preliminära ansatser (Hallidin et al., 1979) har endast i vissa detaljer modifierats.

För försöksfältet har inga direkta mätningar av de hydrologiska eller de termiska egenskaperna utförts. Utgående från kornstorleksanalyser av olika markskikt (Tab. 1) har de vattenhållande egenskaperna ansatts (Fig. 6) genom jämförelser med ett stort material om odlade jordar i Sverige (Andersson & Wiklert, 1972). Vattnets konduktivitet i mättad jord har ansatts genom jämförelse med rapporterade riktvärden för lerjordar. För omättade förhållanden (Fig. 6) har konduktiviteten beräknats utgående från de vattenhållande egenskaperna med den metod som föreslagits av Brooks & Corey (1966).

Markens termiska konduktivitet (Fig. 7) har beräknats utgående från vattenhalt och torr densitet enligt de av Kersten (1949) föreslagna ekvationerna för finkorniga jordarter. Värmekapaciteten (Fig. 7) har beräknats från volymsandelarna av mineraljord, vatten, is och luft och deras värmekapaciteter (de Vries, 1963).

Markprofilen har i modellen delats upp i 16 skikt från ytan och ned till 10 m djup med varierande mäktigheter från 10 cm till 2 m. Vid ansättning av markegenskaperna har matjordsskiktet skiljts från den underliggande alven eftersom det senare skiktet har en något högre lerhalt samt saknar aggregering.

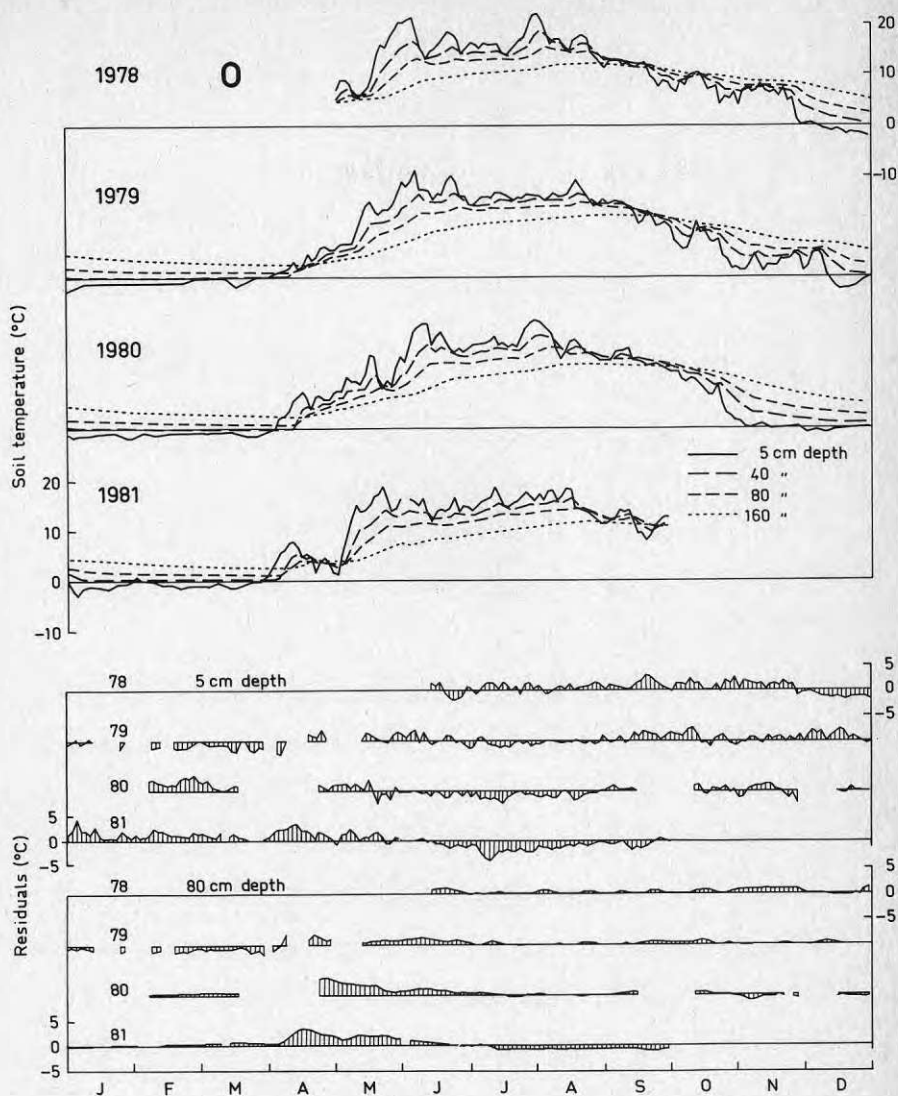
Den potentiella avdunstningen är beräknad utgående från en normalårsvariation i mellansverige utan hänsyn till mellanårsvariationer. Uppmätta tidsvariationer i vattenhalten under 50 cm djup var mycket små (se 6.5) vilket tyder på att rötterna var ytligt fördelade i markprofilen. Rotdjupet sattes därför till 60 cm och hälften av den potentiella avdunstningen fördelades på den översta decimetern av marken. Dräneringen med det tidvis ytligt förekommande grundvattnet (se 6.7) har estimerats från grundvattenståndsvariationen under försöksperioden.

Markvattenmätningarna med neutronsond (se 6.5) gav information om vattenhalten och dess tidsvariation i markprofilen vilket medförde att markens porositet fick minskas något jämfört med tidigare antaganden för att överensstämmelsen mellan simulerade och uppmätta vattenhalten skulle bli acceptabel.

4.5 Simulerade och uppmätta marktemperaturer

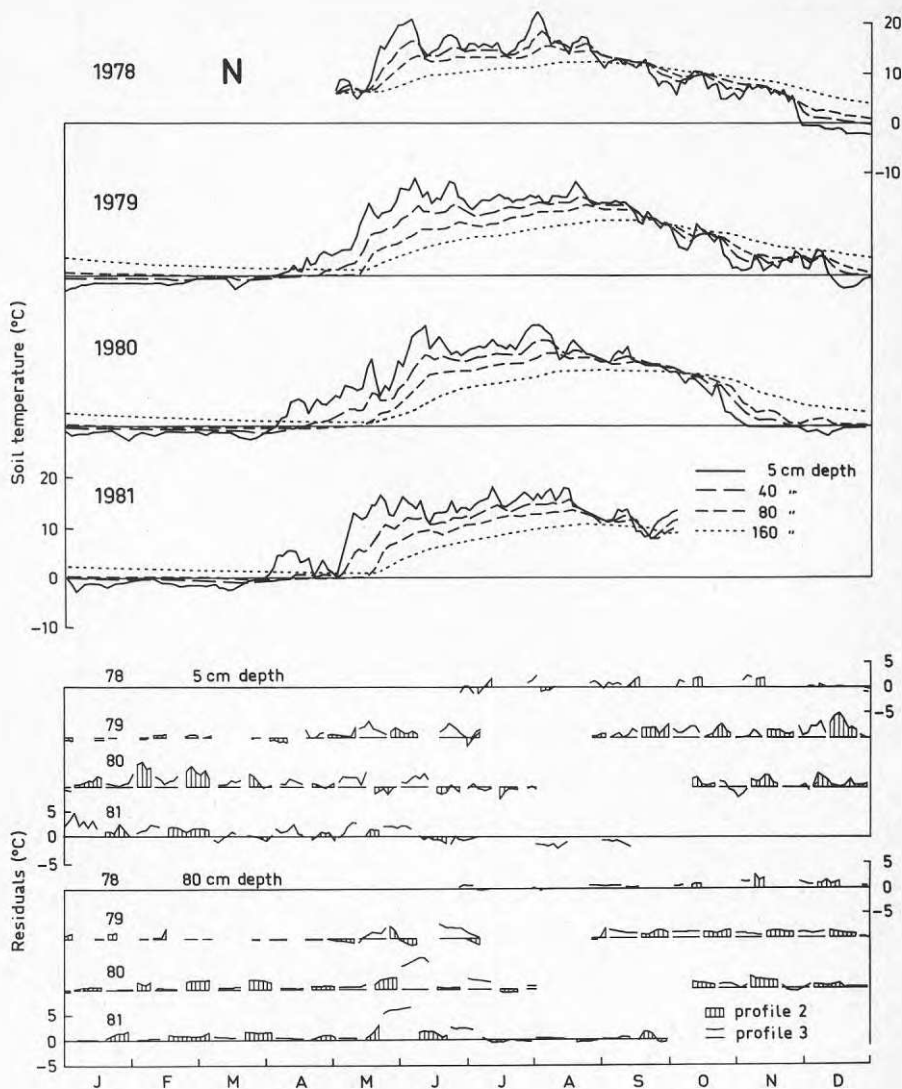
Simulerade marktemperaturer för 0-ytan (Fig. 8) kunde endast jämföras med mätningar från en profil (1) belägen i den övre delen av försöksytan (Fig. 2). Skillnaderna mellan simulerade och uppmätta temperaturer var genomgående små (Tab. 5) efter justering av modellens beräkning av markens yttemperatur genom främst olika värden på konstanterna c och d i ekvation (2).

Vid ett c av $.15^{\circ}\text{C m}^2 \text{ dygn MJ}^{-1}$ och ett d av $2\text{MJ m}^{-2} \text{ dygn}^{-1}$ uppträdde endast slumpmässiga variationer i skillnaderna på 5 cm djup. De kvarstående skillnaderna mellan simulerade och uppmätta temperaturer kan förklaras av att modellberäkning av yttemperaturer utgår från att den tillgängliga energin fördelas på samma sätt mellan latent (avdunstning) och sensibelt värmefflöde till luften oberoende av markytans fuktighet vilket är en grov förenkling. På djupare nivåer (Fig. 8) fanns en viss tendens till överestimering av marktemperaturerna under vårmånaderna april och maj. Under övriga delar av året var avvikelserna mellan modell och observationer i regel inom mätnoggrannheten. Eftersom avvikelserna uppträdde regelbundet på våren kan exempelvis en horisontell konvektiv värmetransport med kallt grundvatten ha orsakat en del av skillnaderna.



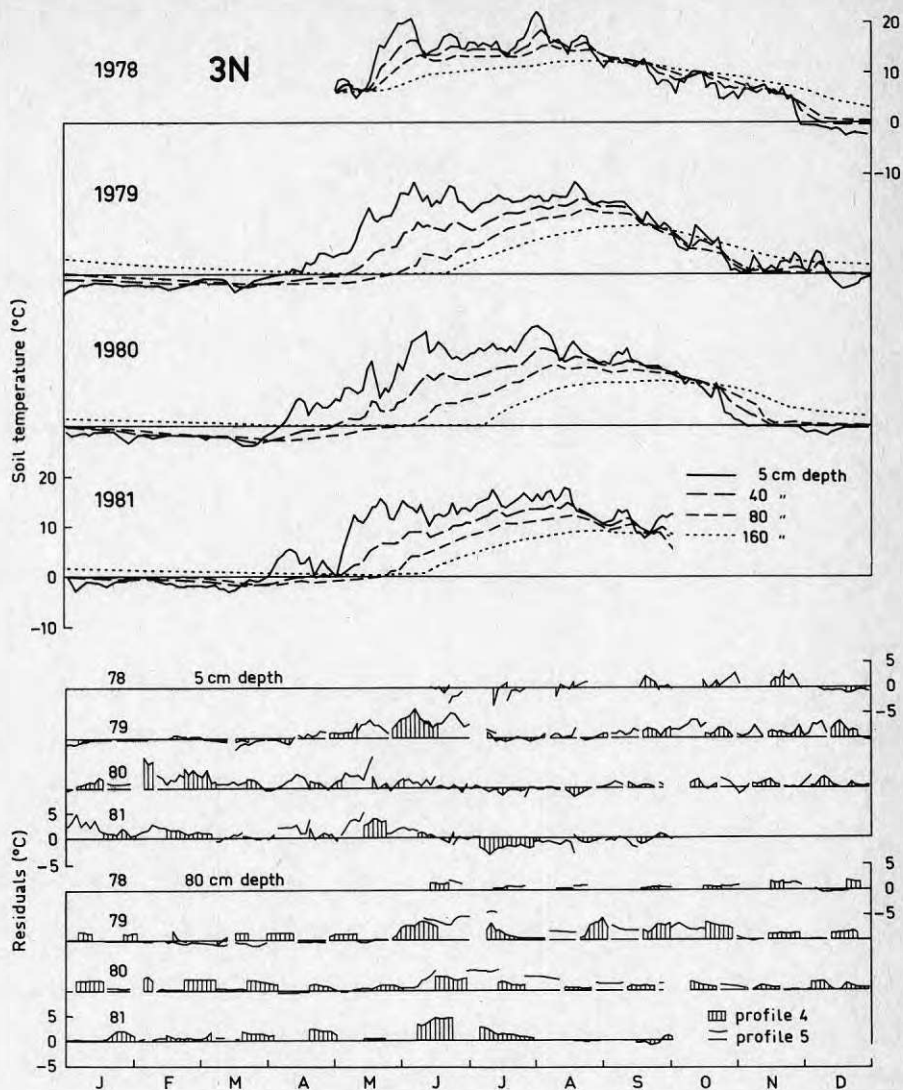
Figur 8. Simulerade marktemperaturer för 0-ytan vid olika djup (övre figuren) samt skillnader mellan simulerade och uppmätta temperaturer vid två av djupen.

Marktemperaturer har simulerats för N-ytan (Fig. 9) utan att modellens egenskaper har ändrats annat än genom introduktion av det uppmätta värmeuttaget. Jämförelser har gjorts med mätningar både i försöksytans övre och nedre del (profil 2 & 3, Fig. 2). En medeltemperatur för djupen 40 och 80 cm har beräknats som ett aritmetiskt medelvärde av mätning i värmeuttagsrörets vertikalprofil och mitt emellan två värmeuttagsrör. Om mätning ej skett exakt vid de två jämförelsenivåerna 40 och 80 cm har beräkning med linjär interpolation gjorts från närmaste mätdjup.



Figur 9. Simulerade markttemperaturer för N-ytan (jfr Fig. 8).

Skillnader mellan simulerade och uppmätta temperaturer var även för N-ytan i regel små (Fig. 9 & Tab. 5). Vid 5 cm djup förelåg inga systematiska skillnader vare sig för den övre eller nedre delen av försöksytan. Vid 40 och 80 cm djup kvarstår tendensen från 0-ytan, med överestimering av temperaturen speciellt under försommaren, medan skillnaderna mellan modell och mätningar är närmast obefintlig vid



Figur 10. Simulerade marktemperaturer för 3N-ytan (jfr Fig. 8 & 9).

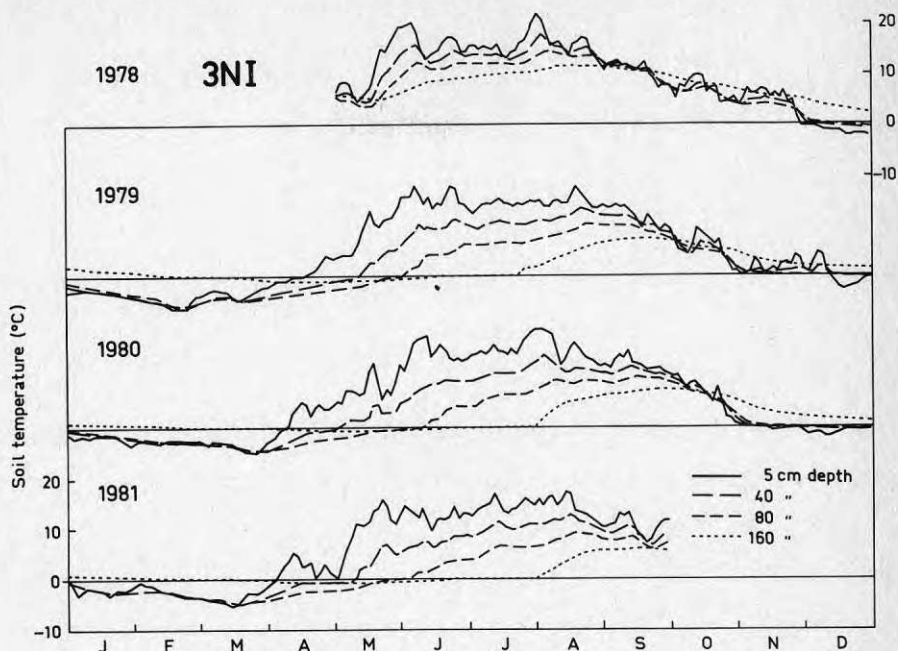
160 cm djup. En förklaring till de små men systematiska avvikelserna för 40 och 80 cm djup är att det verkliga temperaturfältet kring värmeuttagsrören ej helt kan överföras till den endimensionella modellbetraktelsen och att medelvärdesbildningen av uppmätta temperaturer är alltför grov. Den goda överensstämmelsen vid 160 cm djup, där horisontella värmeflöden är små, tyder lyckligtvis på att inga fel i markprofilens totala energiomsättning introduceras med den endimensionella modellen.

Tabell 5. Skillnader mellan simulerade och uppmätta marktemperaturer för olika ytor och djup (jfr Fig. 8-10).

Yta	Profil	Djup	Residualernas medelvärde och standardavvikelse ($^{\circ}\text{C}$)			
			1978	1979	1980	1981
0	1	5	.39(1.15)	-.01(1.13)	.06(1.16)	.21(1.45)
		40	.96(.69)	.58(.81)	.89(.82)	.89(1.26)
		80	.37(.36)	.02(.71)	.42(.85)	.30(1.02)
		160	.49(.36)	-.04(.68)	.52(.66)	.18(.69)
N	2	5	.56(1.06)	.80(1.23)	.90(1.51)	.55(.95)
		40	.55(.54)	.35(.59)	.70(.64)	.53(.85)
		80	.63(.88)	.53(.93)	.94(.75)	.66(.84)
		160	.50(.20)	-.10(.23)	.12(.48)	.39(.58)
N	3	5	.40(.94)	.78(.94)	.63(1.02)	.66(1.63)
		40	1.51(.41)	1.88(.93)	2.08(1.48)	2.37(1.75)
		80	.63(.37)	.79(.74)	.91(1.65)	1.12(1.85)
3N	4	5	.23(1.34)	.80(1.41)	.77(1.35)	.19(1.47)
		40	.52(.43)	.39(.75)	.58(.89)	.47(1.10)
		80	.85(.57)	1.67(1.04)	1.23(.77)	1.18(1.27)
		160	.49(.60)	-.03(.61)	.00(.57)	.35(.87)
3N	5	5	-.12(1.23)	.72(1.43)	.87(1.18)	.97(1.62)
		40	.37(.63)	.73(1.40)	.82(.64)	.91(.93)
		80	.54(.61)	.78(1.68)	.94(1.32)	.24(.21)

Vid 80 cm djup, speciellt under vintermånaderna januari till april, tycks modellen nästan exakt likna den nedre temperaturprofilen (nr.3) medan den övre temperaturprofilen (nr.2) genomgående är kallare än modellen. För vårmånaderna maj och juni är bägge profilerna kallare än modellen men deras inbördes relationer har växlat så att den övre ytan nu är varmare. Denna bild stämmer väl in på vad som kan förväntas genom de fuktigare förhållandena i den nedre delen av fältet.

Simulerade marktemperaturer för 3N-ytan (Fig. 10 & Tab. 5) avviker i allmänhet ej mer från mätningarna än vad 0- och N-ytan gör. Samma tendenser med överestimeringar av temperaturen under vårmånaderna finns. Tendensen är något tydligare här och finns även nära ytan där residualerna är ca 5°C under juni 1979 och maj 1980. Även den utjämnande effekten på temperturvariationerna hos den nedre delen av försöksytan är här tydligare än för N-ytan. Den övre delen är vid 80 cm djup genomgående kallare under vintermånaderna medan det omvända gäller för vår och sommar. Avvikelserna mellan modell och mätningar är här liksom för de andra försöksytorna mycket små vid 160 cm djup men en viss ökning av residualernas spridning kan här noteras.



Figur 11. Simulerade marktemperaturer för 3N-ytan med planerat värmeuttag (jfr Fig. 8 & 10).

De faktiska värmeuttagen var långt ifrån identiska med de planerade både vad gäller N- och 3N-ytan (Tab. 4) vilket gjorde det intressant att med modellens hjälp simulera de effekter vi borde observerat om de ursprungliga planerna hade realiserats. Simulerade marktemperaturer för 3N-ytan med planerat värmeuttag (3NI) enligt ekvation (1) visar också (Fig. 11) en helt annan temperaturvariation än den observerade (Fig. 10). Marktemperaturen är nu givetvis mycket lägre än med de faktiska värmeuttagen men dessutom är mellanårsvariationen nu helt annorlunda. Upptiningen sker här, speciellt tydligt för 160 cm djup, allt senare för varje år trots att värmeuttaget minskats något från den första till den tredje säsongen (Tab. 4). Skillnader mellan åren beror följaktligen av att marksystemet ej fullt återhämtar sig mellan säsongerna utan känner av föregående års värmeuttag. Denna effekt som är av stort intresse för en jordvärmepumps långsiktiga funktion kan ej skönjas vid det faktiska värmeuttaget (Fig. 10) eftersom mellanårsvariationerna i värmeuttag blivit alltför stora.

Av ännu större intresse för den långsiktiga funktionen av ytjordvärmepumpar är hurvida de markfysikaliska egenskaperna och ej enbart temperaturen ändras av ett långvarigt värmeuttag. En tänkbar effekt är att intensivare och djupare tjalning kan medverka till ökad aggregering av marken vilket kan leda till bättre dränering, djupare nedträngning av rötter och därigenom en torrare mark. Detta

skulle medföra försämrade termiska egenskaper som medför en lägre marktemperatur och en sämre funktion av värmepumpen. En annan effekt kan vara att den minskade biologiska aktiviteten sänker porositeten och minskar dräneringen. Detta kan vara positivt för marken som värmelager även om det har förödande konsekvenser för odlingsbetingelserna på platsen.

Genom att analysera tidsvariationen av residualerna mellan modell och mätningar skulle eventuella trender i markens egenskaper kunna spåras eftersom modellens markegenskaper ej tillåts att variera med tiden. En analys av residualerna (Fig. 9 & 10, Tab. 5) kunde dock ej påvisa några tendenser till eventuella långsiktiga trender. Materialet omfattar förvisso bara en kort tidsperiod och eventuella trender kan skymmas av kompensande effekter i klimat eller av eventuella fel i värmeuttagets beräknade storlek.

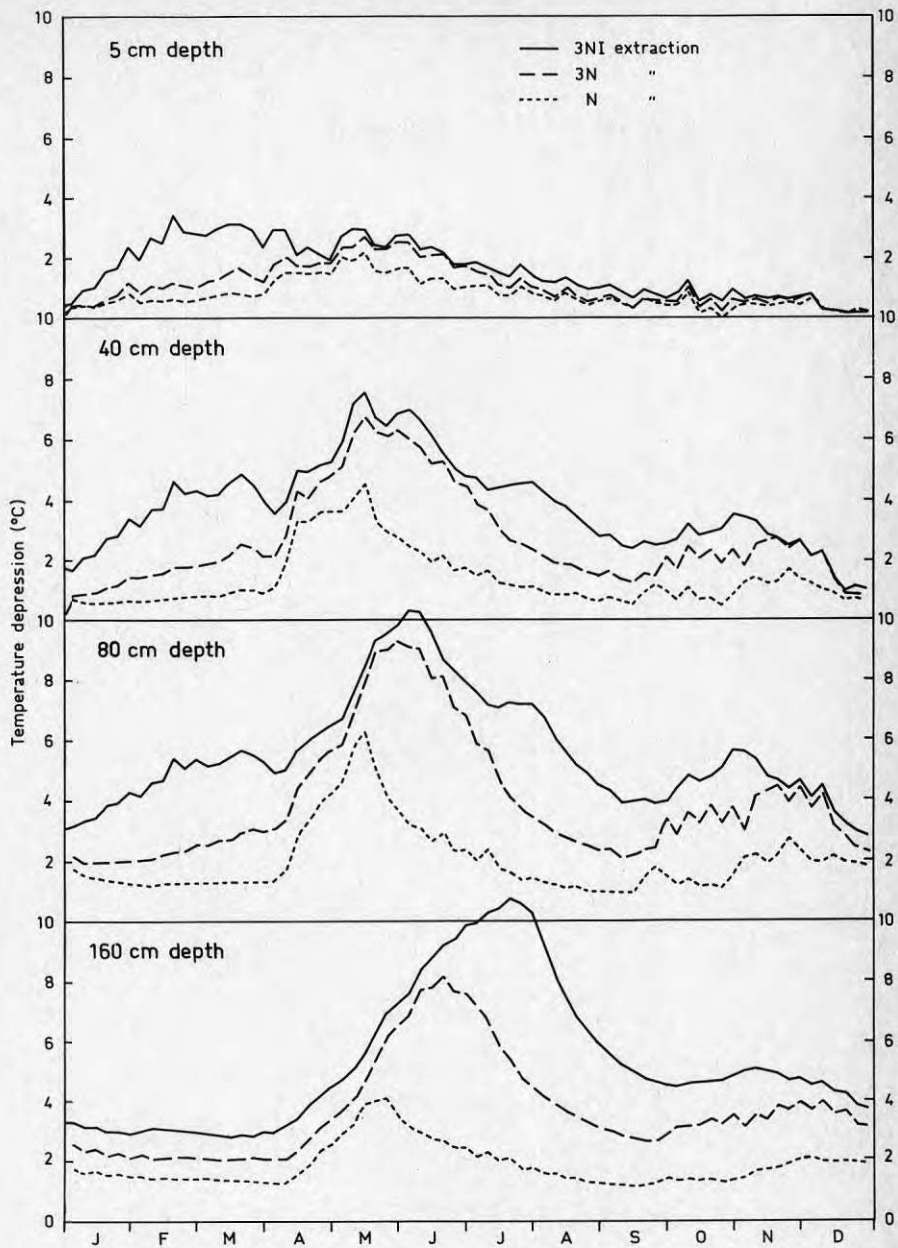
4.6 Marktemperatursänkning på grund av värmeuttag

Den genomsnittliga temperatursänkningen orsakad av värmeuttaget under de tre uppvärmningssäsongerna är beräknad dels som skillnader mellan simulerade temperaturer och som skillnader mellan uppmätta temperaturer på de olika ytorna.

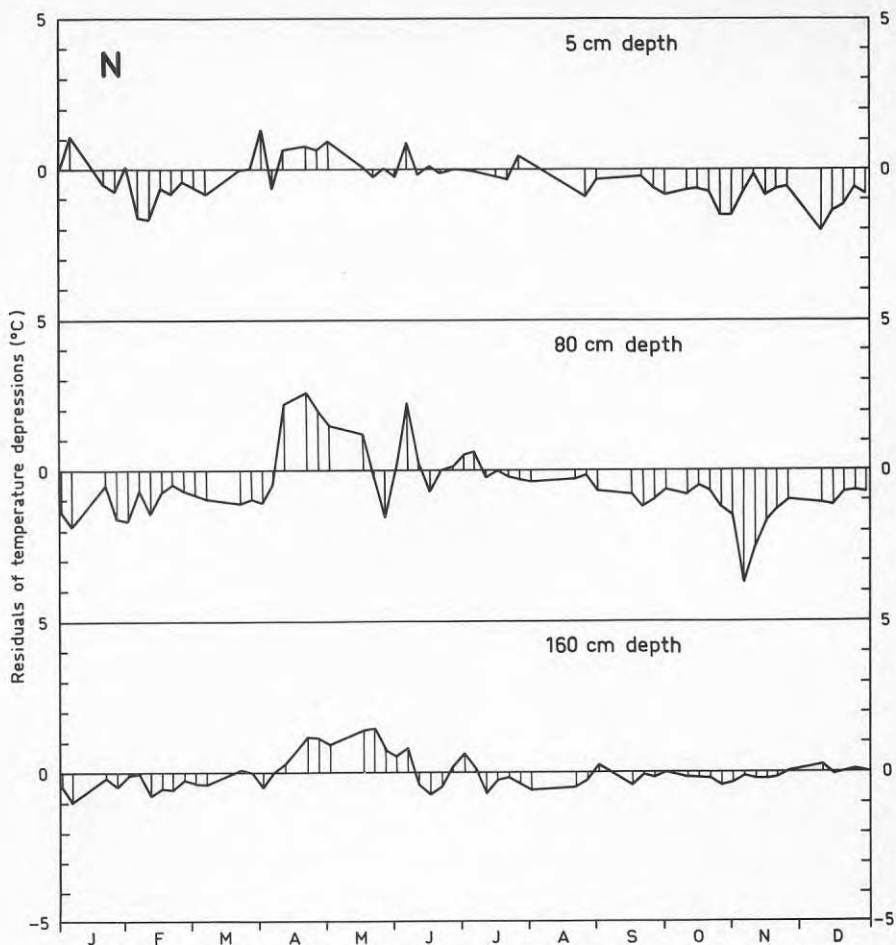
Simulerade temperatursänkningar uppvisar tydliga skillnader för olika djup (Fig. 12). Vid 5 cm djup är effekten av de faktiska värmeuttagen (N-yta och 3N-yta) vanligen maximal under maj och juni medan den maximala effekten är jämnt fördelad på även februari och mars för det planerade värmeuttaget (3NI). Den maximala temperatursänkningen är ca 3°C och den verkar relativt oberoende av värmeuttagets storlek. Vid djupare nivåer ökar den maximala temperatursänkningseffekten avsevärt till ett största värde vid 80 cm djup för N och 3N och vid 160 cm djup för 3NI. För N-ytan är tidsförskjutningen av den maximala effekten mellan djupen obetydlig medan de planerade värmeuttagen (3NI) åstadkommer en tidsförskjutning från april vid 5 cm djup till slutet av juli för 160 cm djup.

Den minimala temperatursänkningen inträffar som regel i september. Effekterna är också små under vintermånaderna för samtliga värmeuttag vid 160 cm djup och för faktiska värmeuttag (N och 3N) vid övriga nivåer.

Skillnader mellan simulerade och uppmätta effekter av värmeuttag är som regel små (Fig. 13 & 14, Tab. 6) men vissa mönster finns i avvikelserna. Effekten överdrivs vanligen något av modellen för både N- och 3N-ytan under april och maj medan effekten undervärderas längre fram under vegetationssäsongen. Tendensen är tydligast för 3N-ytan (Fig. 14) där en underskattning av effekten med ca 2°C förskjuts från maj-juni för 5 cm djup till mitten av



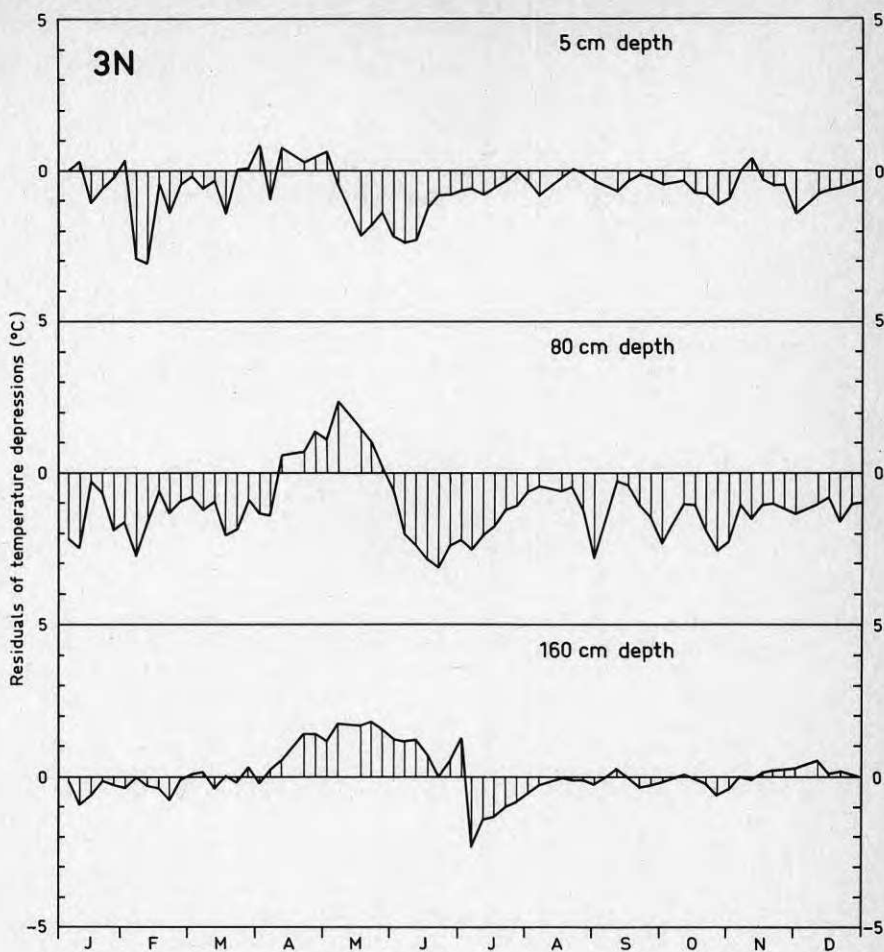
Figur 12. Simulerade medeltemperatursänkningar (5 dygn) vid olika djup och värmeuttag under åren 1979-81.



Figur 13. Skillnader mellan simulerade medeltemperatursänkningar och uppmätta medeltemperatursänkningar för den övre mätprofilen vid N-ytan för olika djup under 1979-81.

juli för 160 cm djup. Det största relativa felet ger underskattningen av temperaturen vid 5 cm djup för 3N-ytan. Den uppmätta effekten var där normalt 4°C under slutet av maj och början av juni jämfört med en simulerad temperatursänkning av 2°C . Vid övriga djup blir den relativa skillnaden jämfört med simulerad effekt betydligt mindre.

Skillnaderna mellan simulerade och uppmätta effekter är vanligen något större för de nedre delarna (profil 3 & 5) än för de övre delarna (profil 2 & 4) av försöksfältet (Tab. 6). Eftersom temperaturreferensen (profil 1, 0-ytan), som alla uppmätta effekter relateras till, är belägen i fältets över del är detta dock knappast överraskande.



Figur 14. Skillnader mellan simulerade medeltemperatursänkningar och uppmätta medeltemperatursänkningar för den övre mätprofilen vid 3N-ytan för olika djup under 1979-81.

Tabell 6. Skillnaden mellan simulerade och uppmätta effekter.

Yta	Djup	Medelvärde och standardavvikelse ($^{\circ}\text{C}$)	
		Profil 2	Profil 3
N-yta	5	- .37 (.71)	- .45 (.89)
	40	.19 (.59)	-1.13 (1.65)
	80	- .53 (1.17)	- .72 (1.44)
	160	- .05 (.53)	-
3N-yta	5	- .61 (.81)	- .78 (.89)
	40	.19 (.76)	.00 (1.43)
	80	-1.13 (1.15)	- .88 (1.47)
	160	.07 (.77)	-

4.7 Slutsatser

Den endimensionella markmodellen har kunnat reproducera temperaturmätningarna och effekterna av ett värmeuttag på ett tillfredsställande sätt utan att nya empiriska parametrar eller samband behövt introduceras i modellen. Största begränsningen tycks vara beräkningen av markens ytemperatur som vid snöfria förhållanden endast utgår från de meteorologiska förhållandena och ej tar hänsyn till eventuellt kraftig nedkylning av marken underifrån. Den förenklade modellansatsen är emellertid tillräcklig för att simulera effekterna av ett värmeuttag som motsvarar N-ytan i Hacksta. En tvådimensionell lösning av värme- och vatten-transportekvationerna verkar, ej behövas för en korrekt beräkning av markskiktens medeltemperatur och energibalans om röravstånden hos markvärmeväxlaren är mindre eller lika med 1.5 m.

Effekterna av ett värmeuttag kan liknas med en förflyttning av marken till nordligare breddgrader samtidigt som de ovanjordiska delarna av ekosystemet stannar kvar i de sydliga trakterna (Halldin et al., 1979). Förflyttning från odlingszon II till IV och från II till VI gäller för N respektive 3N uttag om de översta 80 cm av markprofilen beaktas. För växter med ytliga rötter eller med ytligt levande markorganismer och djur är den skénbara förflyttningen betydligt mindre. Hurvida marktemperatursummor kan tolkas i skénbara förflyttningar till nordligare breddgrader är ur biologisk synpunkt fortfarande oklart. Analyser av marktemperturförändringar tillsammans med markbiologiska och växtekologiska data från ett flertal lokaler fordras för att testa hypotesens giltighet.

Några för ett fortsatt värmeuttag negativa förändringar av markens fysikaliska egenskaper kan ej beläggas av det tillgängliga materialet. Eftersom frågan är mycket viktig för en värmepumpsanläggnings långsiktiga funktion bör dock kompletterande mätningar pågå under ytterligare minst två år i Hacksta.

Generaliseringar av Hackstastudierna till andra lokaler bör kunna göras eftersom angreppssättet med en fysikalisk modell visat sig tillförlitligt. Modellen är dessutom testad för flera andra lokaler, med andra jordarter i naturliga markprofiler utan artificiella värmeuttag (Jansson, 1980). Nya mätningar speciellt i andra klimatreioner och i andra jordarter behövs om modellen skall kunna användas mer operationellt för exempelvis dimensionering av lämpliga värmeuttag. Från en markfysikalisk synvinkel kan betydligt mer värme tas från marken än vad som uttagits från N- och 3N-ytan i Hacksta.

Det viktigaste vid dimensionering av ytjordvärmeanläggningar är dock att definiera vilken försämring av biologisk aktivitet och växtproduktion som kan tolereras och vid vilken temperatursänkning av marken som den äger rum. När väl den maximalt tolererbara temperatursänkningen under olika delar av året är given kan en markfysikalisk modell

användas tillsammans med tekniska specifikationer om värmepumpar för optimering av uttagsfunktionen för olika marktyper och klimatlägen. Den nu presenterade modellen skulle också kunna användas för att beräkna effekterna av ett planerat värmeuttag på annans mark (ex kommunala grönområden i anslutning till bostäder) och därigenom ge ett faktaunderlag vid olika typer av tillståndsprövningar.

5 MARKBIOLOGISKA FÖRÄNDRINGAR VID YTJORDVÄRMEUTTAG PÅVERKAN PÅ MARKORGANISMERNAS

En temperatursänkning i marken kan generellt förväntas påverka såväl hastigheten i de markbiologiska processerna som populationsdynamiken hos viktiga markorganismer. De markbiologiska undersökningarna i Hacksta har därför inriktats på att mäta markaktiviteten i de olika försöksleden av ytjordvärmeexperimentet.

Den mark som i allmänhet användes för ytjordvärmeuttag är, liksom i Hacksta, trädgårdsjord av ler- eller mulljordstyp. I sådana jordar spelar dagmaskar en avgörande roll för nedbrytning och omsättning av organiskt material liksom för luftning och dränering av marken (för en översikt se Edwards och Lofty, 1977). Det markbiologiska arbetet i Hacksta har koncentrerats på att undersöka förändringar i dagmaskfaunans sammansättning och aktivitet samt på att mäta förändringar i nedbrytningshastighet på markytan vid ytjordvärmeuttag.

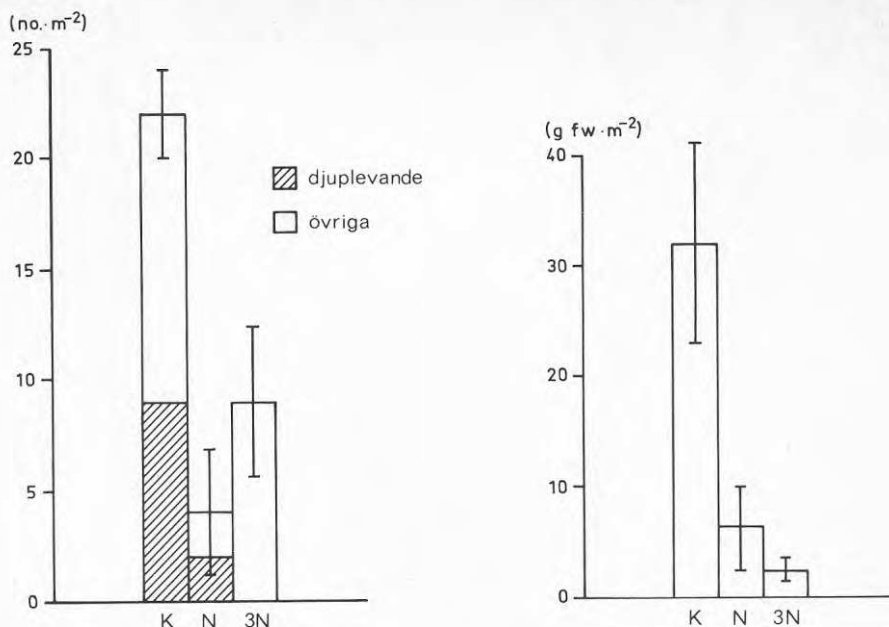
5.1 Arbetets uppläggning

Innan ytjordvärmeanläggningen startades gjordes i juli 1978 en provtagning av dagmaskar med formalinextraktionsmetodik (Satchell, 1969) på försöksområdet. Denna metodik ger inte ett absolut mått på dagmaskpopulationens storlek men möjliggör relativa jämförelser mellan försöksytor eller försöksår. En jämförelse av dagmaskpopulationerna i de olika behandlingarna gjordes i juli 1979.

Aktiviteten hos lövneddragande dagmaskar i de olika behandlingarna har under vart och ett av försöksåren bestämts i experiment där 25 st äppellöv har lagts ut under en skyddande myggnätsram på fyra ställen i varje behandling. Experimenten har startats efter tjällossningen. Dagmaskarnas aktivitet har sedan följts genom att de löv, som varit kvar på markytan räknats regelbundet fram till oktober månad.

För en relativ jämförelse av artsammansättning och abundans hos dagmaskpopulationen mellan behandlingarna användes under 1980 och 1981 en burkmetod för dagmaskprovtagning (Lofs-Holmin, 1979). En-liters perforerade plastburkar fylldes med en blandning (1:1) av lera från provytan och brunnen stallgödsel och placerades 5-10 cm under markytan på 8 platser per behandling. Burkarna låg ute från juni till september. När försöken avbröts handsorterades substratet och dagmaskarna räknades och vägdes. De konserverades sedan i etanol för framtida artbestämning. På substratet från 1980 gjordes organhaltsbestämningar före och efter experimentperioden.

Nedbrytningshastigheten på markytan studerades i ett experiment där 36 st äppellöv knöts fast på 0.5x0.5 m nylonnät och lades ut på fyra ställen i varje försöksled. Näten med löv skyddades ovanifrån av en ram med myggnät.



Figur 15. Abundans och biomassa (färskvikt) hos daggmaskpopulationen vid Hacksta i juli 1979.

Utläggningen av experimentet skedde 790426, efter tjällossningen detta år. Kontroll av nedbrytningsexperimentet skedde vid fyra tillfällen under det följande året. Metoden ger ett mått på aktiviteten hos de grupper av markdjur och mikroorganismer som lever ytligt i marken.

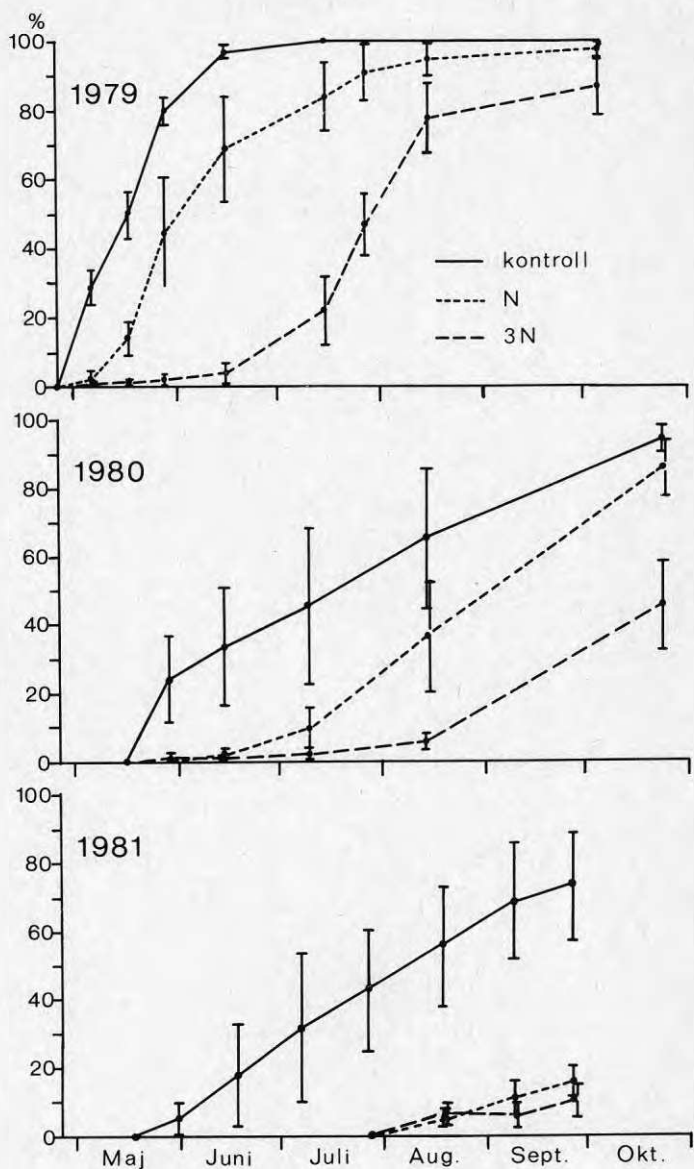
5.2 Daggmaskpopulation

Den inledande daggmaskprovtagningen medelst formalinavtanning i juli 1978 visade att försöksområdet vid Hacksta har en relativt tät population av daggmaskar, 153 ind./m² (S.E.=25.5) med en färskviktsbiomassa av 132 g/m² (S.E.=8.6).

Provtagningen, med samma metodik, följande år gav en lägre populationsnivå för kontrollytan. Detta kan bero på jordbearbetningen och gödning av ytorna innan ytjordsvärmeexperimentet startade och på att de nya grödorna på området inte räckte till att försörja en lika stor daggmaskpopulation, som den gamla äppelträdgården gjorde. Den använda formalinextraktionsmetodiken har brister i effektiviteten, bl a påverkas den av markfuktigheten vid provtagningstillfället. Den lämpar sig därför bäst för relativa jämförelser vid samma tillfälle.

Abundans och biomassa hos daggmaskpopulationen i juli 1979 framgår av Fig. 15. Både vad gäller abundans och biomassa av daggmaskar skiljde sig N- och 3N-ytorna signifikant från

kontrollen. I N-ytan hade antalet av både stora djupgående daggmaskar och mera ytligt levande typer minskat kraftigt. I 3N-ytan saknades de djupgående daggmaskarna helt. Detta kan sannolikt förklaras utifrån den ökade tjälbildningen i marken.



Figur 16. Daggmaskaktiviteten mätt som meddragning av äppellöv i marken i de olika behandlingarna. För varje provtagningstillfälle ges medelvärde samt "standard error" för procentuella andelen neddragna löv.

5.3 Dagmaskaktivitet

Aktiviteten av dagmaskar, mätt som hastigheten i neddragande av äppellöv från markytan, redovisas i Fig. 16. Det framgår där att aktiviteten i ytor med jordvärmeuttag börjar senare på säsongen. Första året 1979, var denna försening ca 14 dagar i N-ytan och en dryg månad i 3N-ytan, andra året var den en månad och två månader för respektive ytor och tredje året efter försöksstarten låg både N-ytan och 3N-ytan ca två månader efter kontrollytan vad gäller dagmaskaktivitet.

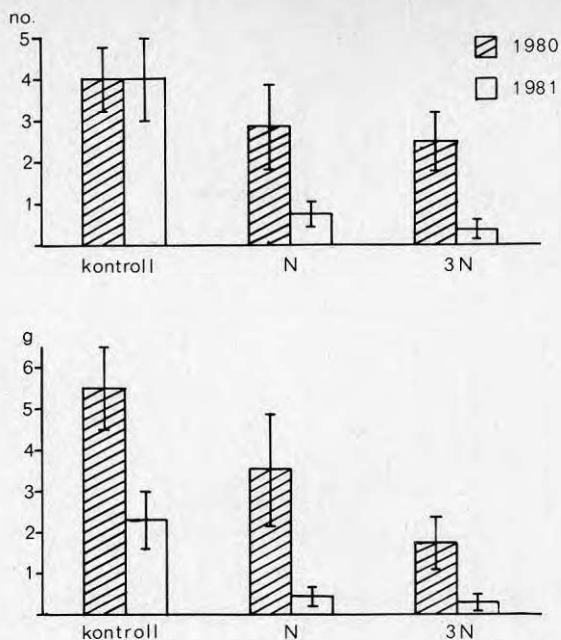
Det är tydligt att effekterna av yttjordvärmeuttaget på dagmaskaktiviteten har ackumulerats över de tre försöks-säsongerna. Detta förklaras sannolikt av att reproduktionstakten hos dagmaskarna inte kunnat upprätthållas under yttjordvärmeuttaget och den av detta orsakade säsongsförkortning.

Resultaten från försöken med insamling av dagmaskar i perforerade substratfyllda burkar redovisas i Fig. 17 och Fig. 18. I september 1980, efter andra försökssäsongen, hade antalet maskar per burk sjunkit något, till ca 75% av kontrollen, och ungefär lika mycket i N- och 3N-ytorna. Skillnaderna var inte signifikanta. Biomassan av dagmaskar (g färskvikt per burk) hade i 3N-ytan påverkats mera än antalet maskar. Skillnaden i biomassa mellan kontroll- och 3N-ytan var signifikant. Endast 35% av dagmaskbiomassan återstod i 3N-ytan. Detta förklaras av att i första hand stora, mera djuplevande dagmaskar tagit skada av temperatursänkningen i marken.

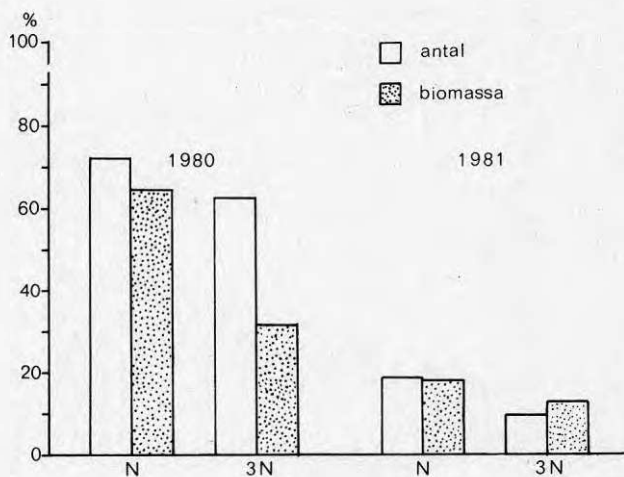
Mängden organiskt material i burksubstratet hade under försökssäsongen 1980 sjunkit från 17.2% vid experimentstarten till 13.6% (kontroll) 14.0% (N) respektive 11.0 (3N) när försöket avbröts. Skillnaderna mellan de tre försöksleden var inte signifikanta.

Följande säsong, 1981 hade antal och biomassa av maskar påverkats i ungefär lika hög grad vid de två nivåerna av yttjordvärmeuttag men värdena var något lägre för 3N-ytan. Antal och biomassa av dagmaskar var i både N- och 3N-ytorna signifikant skilda från kontrollen och utgjorde mellan 10% och 30% av denna.

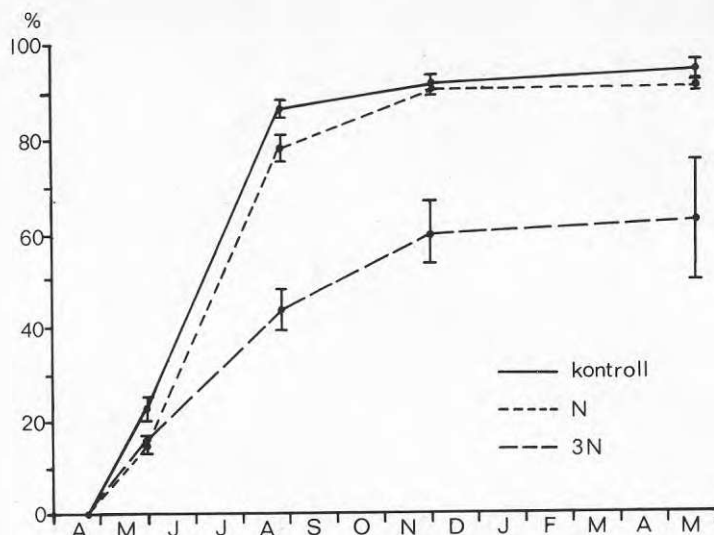
Även burkexperimenten tyder således på att effekterna av temperatursänkningen i marken ackumulerats över de två undersökta säsongerna.



Figur 17. Daggmaskarnas antal (övre figuren) och biomassa (färskvikt) (nedre figuren), medelvärde per burk samt "standard error", i experimentet med perforerade substratfyllda en-liters-burkar.



Figur 18. Antal och biomassa av daggmaskar i experimentet med perforerade substratfyllda burkar.



Figur 19. Nedbrytningshastigheten hos äppellöv på markytan under säsongen 1979-1980 i de olika försöksleden.

5.4 Nedbrytningshastighet

Nedbrytningshastigheten av äppellöv på markytan i de olika försöksytorna redovisas i Fig. 19. Vid första provtagnings-tillfället, i juni 1979, när löven legat ute ca en månad, var nedbrytningsgraden signifikant lägre på både N- och 3N-ytan än på kontrollytan. Under resten av sommaren var emellertid nedbrytningshastigheten på N-ytan lika hög som den på kontrollytan. 3N-ytan hade däremot lägre nedbrytnings-hastighet under denna tid och uppvisade under resten av försöksperioden signifikant lägre torrviksförlust hos äppellöven än de övriga ytorna. Vid experimentets avbrytan-de efter ett år, i maj 1980, var viktsförlusten hos äppel-löven i kontrollytan 95%, N-ytan 92% och 3N-ytan 64%. Det är rimligt att anta att den lövnedbrytning, som praktiskt taget fullbordas under en säsong i kontrollytan kräver två säsonger i 3N-ytan.

5.5 Slutsats

Resultaten från de markbiologiska undersökningarna vid ytjordvärmeuttag i Hacksta visar entydigt att markaktivi-teten minskar vid uttag av värme. Halldén et al. (1979) jämförde förkortningen av vegetationsperioden vid normalt ytjordvärmeuttag med en förflyttning norrut som skulle motsvara ett steg tillbaka i skalan av odlingszoner i Sverige.

De fortsatta undersökningarna vid Hacksta visar att förändringen sannolikt är mera dramatisk än så, då en ytterligare fördröjning i maskarnas aktivitet uppmätts under säsongerna två och tre och populationerna fortsatt att gå ned. Om effekterna på dagmaskarna, förutom ökad dödlighet, också innefattar försämrad reproduktion kan förändringarna förväntas fortgå ännu några säsonger.

Av resultaten från Hacksta står det klart att nedbrytningen av organiskt material i marken och följaktligen omsättningen av näringsämnen går långsammare när ytjordvärme tas från ett område. Det torde också vara klart att den minskade dagmaskpopulationen leder till en tätare markstruktur. Det är värt att notera att effekterna på maskpopulationerna kvalitativt är desamma i N- och 3N-ytor, och endast hastigheten på förloppet är olika. Det går därför inte att förutsäga om bestående kvalitativa eller kvantitativa skillnader mellan dessa ytor slutligen kommer att kvarstå.

De praktiska konsekvenserna av ovanstående förändringar i varje enskilt fall av ytjordvärmeuttag är svåra att uttala sig om. De kommer med säkerhet att variera beroende på t ex markanvändning, ursprungliga markförhållanden och geografiskt läge. Med den skala på ytjordvärmeenheter som idag används är effekterna av ytjordvärmeuttag lokala och med stor säkerhet reversibla. Förändringarna som äger rum drabbar enbart brukaren av marken, som kan bli begränsad i möjligheterna att få utbyte av den. De trädgårdsjordar, som ofta användes för ytjordvärmeuttag är i allmänhet redan tidigare kraftigt manipulerade. För att förbättra situationen för dagmaskpopulationen finns eventuellt möjligheten att undvika fräsning av jorden och att använda organiska gödselmedel, vilket har en positiv effekt på dagmaskpopulationen (Edwards & Lofty, 1977).

Det går inte att från de hittills utförda undersökningarna vid Hacksta uttala sig om vilka återverkningar den minskade dagmaskpopulationen och den därmed minskade dräneringen av marken har för själva ytjordvärmeutvinningen. Ytterligare undersökningar skulle kunna ge underlag för att beräkna dessa återkopplingseffekter.



En buske av *Thuja occidentalis* 'Smaragd' i N-ytan. 'Smaragd' är bäst i O-ytan men vissa buskar av sorten har god utveckling även i de andra försöksleden. (Juli 1980 - Roland Svensson)

6 MARK- OCH GRUNDVATTEN VID YTJORDSVÄRMEUTTAG

I samband med ytjordvärmeuttag kan en inverkan på vattnet i marken väntas. I naturjordar i Sverige genomlöper vatteninnehållet en årscykel med högt vatteninnehåll på våren följt av en upptorkning under sommaren (Skoglund, 1973 och Lundin, 1979). Denna upptorkning bör fördröjas av den nedkylning av marken som värmeuttaget antas medföra. Dessutom kan vattnets dräneringsbanor ändras av tjäskjutning. Detta kan medföra ökat eller minskat markvatteninnehåll.

6.1 Markvattenmätningar

Vattenhalten i marken bestämdes vid tre stationer på varje försöksyta vilka ligger i en svag sluttning. Stationerna placerades i en mittlinje i ytans längsriktning med en station på mitten och de två övriga halvvägs mot ytans kortsidor (Fig. 1). Av de tre stationerna på varje yta utnyttjades den mellersta till huvudstation medan de övriga utnyttjades som extensivstationer.

Vattenhalten bestämdes på varje dm-nivå till 0.5 m djup och dessutom på djupen 0.75 m, 1.0 m och 1.5 m. Bestämningar gjordes normalt en gång/månad men med kortare intervall under sommaren. Vattenhalten bestämdes enligt neutronåterspridningsmetoden (Bell och Mc Culloch, 1966) med en sond av typ Wallingford (Pitman, 1973) i permanenta mätrör (Lundin, 1974).

En del mätproblem kunde inte undvikas:

1. Mätapparaten var ur funktion under två perioder. Den ena perioden inföll 1978, under förundersökningarna före värmeuttag, vilket invercade menligt på beräkningarna.
2. Mätrören rörde sig vertikalt så att mätnivåerna ändrades. Ändringarna justerades dels i fält och dels vid beräkningarna.

6.2 Grundvattennivåobservationer

Grundvattennivåns läge bestämdes i fyra punkter inom försöksområdet. Dessa punkter fanns i de hörn som bildades av markvattenstationerna på området (Fig. 1).

Bestämning av grundvattenståndet gjordes i samband med markvattenmätningarna. Under perioden 26/7 1978 t o m augusti 1979 fungerade grundvattenrören ej tillfredsställande, p g a att rörens perforering slammades igen. Rören byttes ut 1979.

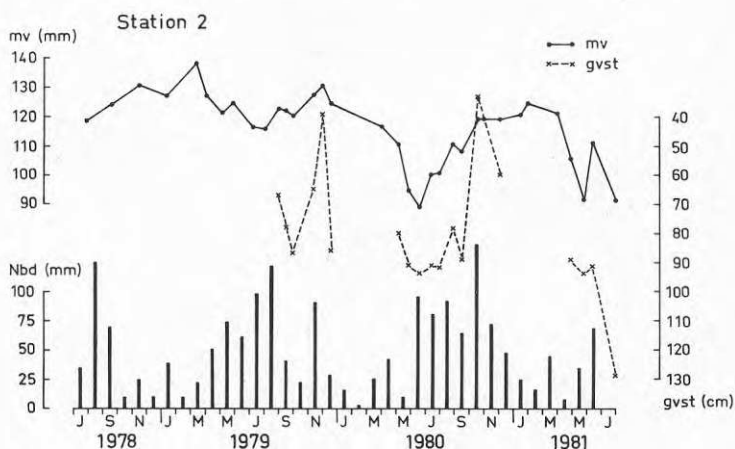
Grundvattenrören utgjordes av 22 mm Ø VP-rör installerade till ca 2.5 m djup. Mätning gjordes manuellt med klucklod.

6.3 Beräkningsmetoder

Markvattenhalten bestämdes i volymsprocent för varje nivå. Vattenhaltsvärdena omräknades till vatteninnehåll (mm) och summerades för olika nivåer.

Vattenhalten vid stationerna på samma nivå på de olika ytorna antogs normalt, d v s utan värmeuttag, variera på likartade sätt. Skillnaderna mellan stationerna under perioder utan värmeuttag och under perioden april-juni, då värmeuttaget minskade kraftigt och upptorkning vidtog, jämfördes. Till referensperioder, alltså perioder utan värmeuttag eller påverkan därav, valdes hösten 1978 och aug-sept 1979 och 1980.

6.4 Vattenförhållandenas årsmåner

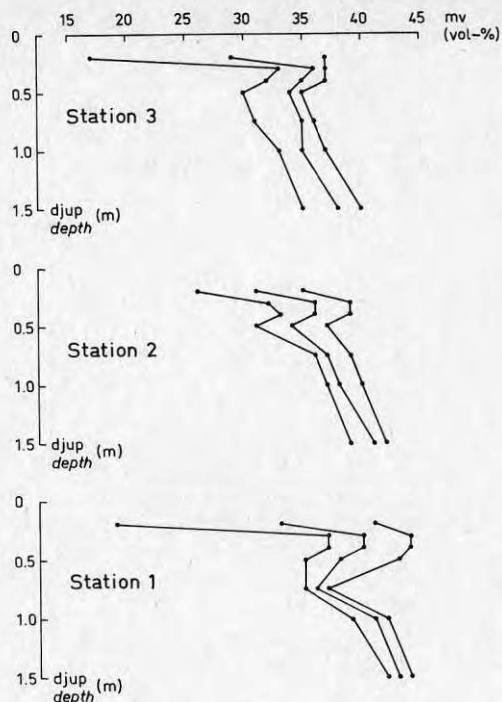


Figur 20. Nederbörd, Nbd (mm), markvatteninnehållet i nivåerna 0.10-0.45 m, mv (mm) och grundvattenstånd under markytan, gvst (cm) vid den mellersta stationen (nr 2) på 0-ytan.

Nederbörden varierade under året med ett minima under vintern och ett maxima under sommaren. Augusti månad hade ofta hög nederbörd med i medeltal 113 mm för de tre åren 1978-80. Nederbördsförhållandena till trots visade markvattenhalt och grundvattenstånd ett minima under sommaren ofta i juni. Högsta vattenhalten nåddes under perioden november till mars (Fig. 20). En upptorkning inträffade alltså under april-juni då också värmeuttaget upphörde.

6.5 Markvattnet på försöksytorna

Markvattenhalten varierade på försöksytorna. En lägsta vattenhalt nåddes i markytan nära nivåer och en högsta på 1.5 m djup. Variationen var störst i markytan nära nivåer med i medeltal ca 17 volymsprocent på 0.2 m djup, medan den på

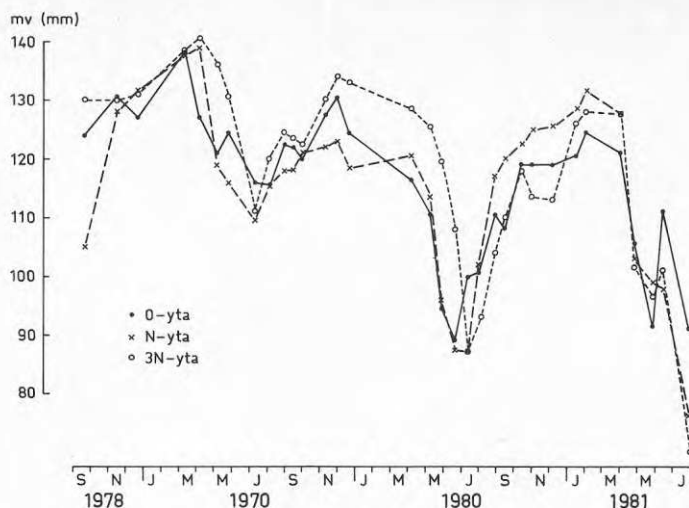


Figur 21. Markvattenhalten, min., medel och max., vid de tre stationerna på 0-ytan.

Tabell 7. Markvatteninnehållet (mm), medelvärde \bar{x} , och standardavvikelse, S_x , i övre, mellersta och nedre delen av 0-ytan för hela försöksperioden.

Djup (m)	Höjdläge på försöksytan					
	Övre		Mellan		Nedre	
	\bar{x}	S_x	\bar{x}	S_x	\bar{x}	S_x
0.1 -0.45	117	11	120	7.6	130	15
0.45-0.55	38	2.4	34	1.8	34	1.5
0.70-0.80	35	1.8	37	1.1	36	0.8
0.95-1.05	41	1.2	38	1.2	35	1.3
1.45-1.55	43	0.7	41	1.3	39	0.7

1.5 m djup endast var ca 3 volymsprocent. En relativt hög vattenhalt nåddes på 0.3-0.4 m djup medan 0.5 m visade en relativt låg vattenhalt (Fig. 21). Vattenhaltsvariationerna under försökstiden var störst vid den lägst belägna stationen och minst vid den högst belägna (Tab. 7).



Figur 22. Vatteninnehållet, mv, i markskiktet 0.1-0.45 m på 0-, N- och 3N-ytorna under period sept. 1978 - juli 1981.

Tabell 8. Medelvatteninnehåll (mm) före värmeuttag i skikten 0.1 - 0.45 m och 0.1 - 1.5 m vid de olika höjdlägena på de tre ytorna.

Höjdläge	Nivå och yta					
	0.1 - 0.45 m			0.1 - 1.5 m		
	0	N	3N	0	N	3N
Övre	124	115	122	505	494	508
Mitten	127	117	130	527	493	546
Nedre	134	119	132	541	529	555

Tabell 9. Linjär regression av markvatteninnehållet, 0.1 - 0.45 m, för N- och 3N-ytan under två tidsperioder med 0-ytan som oberoende variabel.

Yta	Period	a_0	a_1	\bar{x} (mm)	\bar{y} (mm)	r	n
N	1978-1981	-3.9	1.03	116	115	.86	33
N	april-maj/juni	12	0.9	112	113	.87	9
3N	1978-1981	-4.9	1.06	116	118	.82	33
3N	april-maj/juni	28	.82	110	118	.71	11

Vattenhalten var i regel högre vid de lägst belägna stationerna och lägre vid högre belägna (Tab. 8). Stationerna på 0-ytan och 3N-ytan visade snarlika värden under referensperioden medan N-ytan hade något lägre vatteninnehåll. Skillnaderna mellan ytorna var som mest ca 10%.

6.6 Värmeuttagets inverkan på markvattnet

I grova drag samvarierade vatteninnehållet på de tre ytorna väl med varandra under försöksperioden. (Tab. 9). Vissa skillnader kunde dock märkas. Framst märktes förhöjd vattenhalt på N- och 3N-ytorna i slutet av ytjordvärmeuttaget d v s i början av upptorkningsperioden. För N-ytan fanns förhöjda vattenhalter kortare tid än för 3N-ytan. Tidsperioden för N-ytan var april-maj och 3N-ytan april-juni (Fig. 22).

Dessutom var vattenhalten under vintern högre på N- och 3N-ytorna än på 0-ytan. Detta kunde troligen hänföras till tjälbildning och ackumulation av vatten till iskroppen.

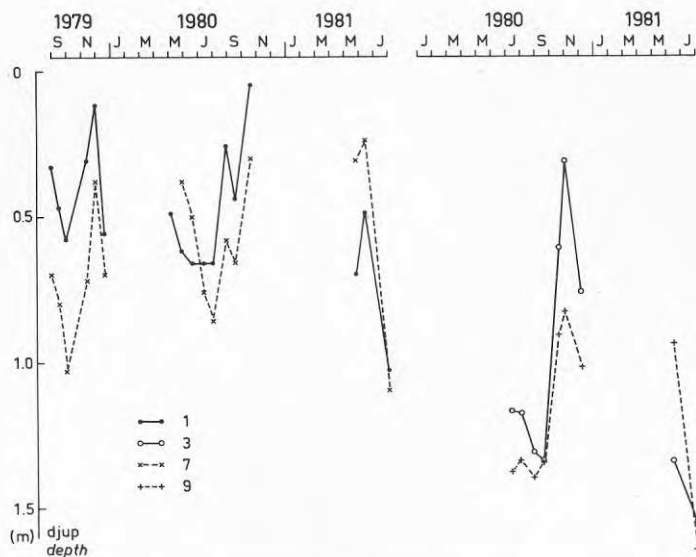
Ytterligare en möjlig effekt som accentuerats med försöksåren var en snabbare och mer omfattande upptorkning i slutet av sommaren. Denna kunde orsakats av bättre dränering genom sprickbildning i sin tur orsakad av den omfattande tjälningen. På 0.75 m djup var vattenhalten i medeltal för 1980 och 1981 5 volymsprocent lägre på N-ytan och 4 volymsprocent lägre på 3N-ytan jämfört med 1978 och 1979.

De förhöjda markvattenhalterna under upptorkningsperioden märktes främst i ytliga marknivåer. Med djupet i marken avtog förhöjningen även om den återfanns ända till ett djup av 1.5 m (Tab. 10). Förhöjningen var mestadels liten jämfört med det normala markvatteninnehållet men några stationer visade öknings av 5 och 11 volymsprocent. På N-ytan var förhöjningen mindre än på 3N-ytan och uppgick för markskiktet 0.1-0.45 m till 2 mm. Motsvarande värde för 3N-ytan var 7 mm. För hela markprofilen från 0.1-1.5 m var förhöjningen 10 mm på N-ytan och 29 mm på 3N-ytan.

Det måste dock påpekas att en stor variation i resultaten gör dessa osäkra. Detta beror till stor del på bristande förundersökningar.

Tabell 10. Förhöjning av vatteninnehåll (mm) på de två försöksytorna under perioden april-juni. Resultatet från huvudstationerna anges tillsammans med variationen (inom parentes) över hela ytan.

Djup (m)	Yta	
	N	3N
0.15 - 0.25	1 (1 - 11)	5 (2 - 5)
0.25 - 0.35	1 (0 - 3)	3 (0 - 3)
0.35 - 0.45	1 (0 - 1)	1 (0 - 1)
0.45 - 0.55	0 (0 - 1)	3 (0 - 3)
0.70 - 0.80	0 (0 - 1)	0 (0)
0.95 - 1.05	0 (0 - 1)	3 (0 - 3)
1.45 - 1.55	2 (0 - 2)	3 (0 - 3)
0.10 - 0.45	2 (2 - 18)	7 (4 - 7)
0.1 - 1.50	10 (0 - 10)	29 (0 - 29)



Figur 23. Grundvattenståndet inom försöksytorna. Station 1 och 3 på 0-ytan samt station 7 och 9 på 3N-ytan.

6.7 Grundvattenståndsvariationer

Grundvattennivån varierade över försöksområdet från markytan till 1.6 m djup. Ytligast var grundvattnet i de lägre partierna med en variation mellan markytan och 1.1 m djup medan de högre partierna hade en variation från 0.3 m till 1.6 m. Högst återfanns grundvattnet under hösten för att i olika omfattning avsänkas från ytliga nivåer på våren till djupare under sommaren. De ytliga nivåerna på våren kunde inte bestämmas beroende på tjälningen.

Någon säker ändring i grundvattennivån orsakad av värmeuttaget kunde inte konstateras. Den eventuella effekt som fanns var obetydlig. Möjligen kunde en fördröjning i vattennivåns avsänkning under försommaren skönjas (Fig. 23). Under maj-juni låg grundvattenytan ca 0.5 m högre på 3N-ytan jämfört med 0-ytan.

6.8 Sammanfattning

I samband med ytjordvärmeuttag bestämdes markvattenhalt och grundvattennivå. Markvattenhalten bestämdes enligt neutronåterspridningsmetoden vid tre stationer på varje försöksyta. Grundvattennivån följdes vid fyra stationer - en i vardera av försöksområdets fyra hörn.

Bestämning av värmeuttagets inverkan på vattenhalten genomfördes som jämförande studier. Härvid utnyttjades en referensyta och två försöksled. Dessa omfattade normalt värmeuttag och enligt planerna 3 gånger normalt uttag (se 4.2). Effekten av värmeuttag bestämdes genom jämförelse av skillnaden i markvatteninnehåll mellan försöksleden och referensyta under tidsperioder utan direkt inverkan av värmeuttag och under perioder då påverkan av värmeuttag väntades.

Ytjordvärmeuttagets inverkan på markvattnet visade sig vara liten. Under upptorkningsperioden på våren och försommaren hade ytorna med värmeuttag högre vattenhalt än referensytan. Normalytan hade förhöjda värden under april-maj med i medeltal 2 mm i skiktet 0.1-0.45 m under markytan och 10 mm i skiktet 0.1-1.5 m. Tre gånger normalytan hade under april-juni 7 mm högre vattenhalt i skiktet 0.1-0.45 m och 29 mm i 0.1-1.5 m.

Under sommaren återgick förhöjningen till normalvärdet. Efter något år visade det sig att lägre vattenhaltsvärden än normala nåddes under sensommaren med 5 volymsprocent på normalytan och 4 volymsprocent på 3 gånger normalytan på 0.75 m djup.

Under vintern föreföll en förhöjning av vattenhaltsvärdena att inträffa på ytjordvärmeytorna.

Grundvattenståndet visade liten påverkan av ytjordvärmeuttag men möjligen kunde en fördröjd avsänkning om 0.5 m skönjas under maj-juni.



Prydnadsbuskarnas utveckling i 3N-ytan juli 1981. I förgrunden rikt blommande buskar av ölandstok. I mitten norsk brudspiraea och längst bort paradibuske. (Roland Svensson)



Bilden visar kraftiga sprickor i 3N-ytan den 20 maj 1980. Genom tjälbildningen har marken höjts längs slangarna och sprickor uppstått. (Roland Svensson)

7 YTJORDVÄREMUTTAGEETS EFFEKTER PÅ PRYDNADSVÄXTER

7.1 Odlingsbetingelser och försöksuppläggning

Hacksta ligger inom klimatzon II nära gränsen till zon III enligt den zonindelning, som användes inom hortikulturen (Ullström, 1961).

Försöksområdets förutsättningar för växtodling har ingående beskrivits i kapitel 3. Marken på försöksytorna är en styv mellanlera, delvis täckt med ett ytligt lager av gyttjelera. Jorden är näringsrik med cirka 6.5 i pH-värden. På försöksarealerna fanns tidigare äldre fruktträd i ogräsbemängd gräsvall. Träden röjdes våren 1978, varefter marken plöjdes upp och trädades under sommaren. Sådd av gräs och plantering av övriga växter utfördes under hösten 1978.

Ogräsbekämpning medelst herbicider har ej gjorts varken före eller efter sådd och plantering. Den korta perioden mellan plöjning och plantering var otillräcklig för att genom mekanisk jordbearbetning utrota det fleråriga ogräset. Med hänsyn till ogräsfloran var därför utgångsläget för växtmaterialet ej det allra bästa. Genom upprepad manuell bekämpning av ogräset har dock detta kunnat hållas under någorlunda kontroll bland prydnadsbuskarna. Förmodligen har ej ogräsfloran inverkat negativt på buskarnas utveckling. I de gräsbesådda ytorna utgjorde däremot tvåhjärtbladiga växter och ej insådda gräsarter ett markant inslag i parcellerna redan första vegetationsperioden efter sådd.

En av förutsättningarna beträffande växtmaterialet var att i första skedet testa flera olika grupper av prydnadsväxter. För att få med ett brett sortiment planterades växterna i endast två block. Sett ur statistisk synpunkt hade det varit önskvärt med minst tre eller helst fyra upprepningar. Men då hade vi varit tvungna att minska sortimentet på de begränsade försöksytorna.

7.2 Växtmaterial

Fyra grupper av prydnadsväxter ingår i försöket. Det är gräs, rosor, lövfällande prydnadsbuskar och barrväxter. Med undantag av gräset är övriga växtslag vegetativt förökade.

Principen vid växtvalet var att prova sorter, som normalt utvecklar sig bra inom klimatområdet. Hela skalan från nätt och jämnt härdiga till fullt härdiga är emellertid representerad. Eftersom försöksperioden var kort valdes främst växter med relativt snabb utveckling från plantering till blomning. Vidare utvaldes allmänt odlade sorter med högt prydnadsvärde.

7.2.1 Gräs

RÖDSVINGEL (*Festuca rubra* L.)

Sorter: 'Barfalla' och 'Koket'

Rödsvingel är en mångformig art, som förekommer vildväxande i hela landet. Den är ett värdefullt gräsmattegräs och ingår i de flesta gräsfröblandningar. Sortskillnaderna är betydande inom arten beträffande sådana viktiga odlings-egenskaper som övervintringsförmåga, skottäthet och sjukdomsresistens. Både 'Barfalla' och 'Koket' har god övervintringsförmåga och bildar täta, uthålliga gräsmattor.

ÄNGSGRÖE (*Poa pratensis* L.)

Sorter: 'Sving' och 'Sydsport'

Ängsgröen förekommer allmänt vildväxande i hela landet på ängsmark, vägkanter och allsköns kulturpåverkad mark. Den är vårt hårdigaste grönytegräs. Liksom hos rödsvingel är sortskillnaderna betydande. 'Sving' härstammar från Norrbotten och har i försök haft god utveckling i Norrland. 'Sydsport' kan betraktas som en av de värdefullaste ängsgröesorterna och har god uthållighet i gräsmattor framför allt i landets södra och mellersta delar (Svensson, 1978).

RÖDVEN (*Agrostis tenuis* Sibth.)

Sorter: 'Boral' och 'Highland'

Rödven är vildväxande i större delen av landet. Arten är ej så näringskrävande som ängsgröe och rödsvingel utan kan etablera täta bestånd även på tämligen mager mark. En av nackdelarna hos rödvenen är, att den i klippta grönytor ofta angripes kraftigt av snö mögel (*Fusarium nivale* (Fr.) Ces.). Endast ett fåtal sorter av rödven finns i marknaden. 'Boral' bildar skottrika gräsmattor och har relativt god övervintringsförmåga. 'Highland' är däremot ej odlingsvärd i vårt land. Den levererades i stället för en annan beställd sort. När detta upptäcktes, var det för sent att ersätta 'Highland' med en odlingsvärd sort av rödven.

TURFTIMOTEJ ELLER VILDTIMOTEJ (*Phleum bertolonii* DC.)

Sorter: 'Evergreen' och 'S 50'

Som vildväxande är turftimotej tämligen vanlig på torra backar i södra och mellersta Sveriges slättbygder. Den är sällsynt i urbergstrakter och saknas helt i Norrland. Arten togs med därför att den växer även vid så låg temperatur som +4-5°C (Petersen, 1981). Inom turftimotejsortimentet är det endast små skillnader i odlingsvärde mellan sorterna. 'Evergreen' och 'S 50' betecknas som hårdiga och odlingsvärda i Götaland och Svealand.

7.2.2 Rosor

Samtliga rossorter anges som hårdiga inom den klimatzon, där försöket är utlagt.

'Allotria' är en hårdig, blomrik floribundaros med orange-röda blommor.

'Nina Weibull' är en av de hårdigaste floribundarosorna. Den har fyllda, mörkröda blommor i stora klasar.

'Peace' tillhör de storblommiga rosorna. Den är en välkänd, hårdig ros, som introducerades i marknaden redan 1945. Blommorna är ljusst gula med svagt rosa kanter.

'Lichterloh' förs till gruppen remonterande buskrosor. Den blir ej så hög som flertalet övriga sorter inom gruppen. Lichterloh är en synnerligen hårdig, blomrik sort. De sammetsröda, halvfyllda blommorna har god hållbarhet.

7.2.3 Blommande, lövfällande prydnadsbuskar

Denna grupp av prydnadsväxter kallas i regel för enbart prydnadsbuskar i plantskolekatalogerna.

ÖLANDSTOK (*Potentilla fruticosa* L.)

Sitt naturliga utbredningsområde har ölandstoken på norra halvklotet. I vårt land förekommer den vildväxande förutom på Öland även på Gotland i Heinums socken. För övrigt finns naturliga bestånd på vitt skilda lokaler. Himalaja, Nordamerika, Pyrenéerna, västra Irland och norra England är exempel på områden, där ölandstoken kan påträffas. Ölandstoken har länge odlats som prydnadsväxt, varför många varieteter och sorter finns i marknaden.

'Goldfinger' är en relativt ny sort, som numera är den mest odlade av de gula sorterna. Den är synnerligen odlingsvärd genom sin rika blomning och stora, guldgula blommor. Blomningen pågår länge under hösten. 'Goldfinger' uppges som hårdig inom zonerna I-III. I pågående sortförsök har 'Goldfinger' god utveckling även i Norrland, varför odlingsgränsen kan utsträckas till åtminstone zon I-V.

PARADISBUSKE (*Kolkwitzia amabilis* Graebn.)

Arten har sitt naturliga utbredningsområde i Kina. Enligt SPF:s Växtatlas (Ullström, 1961) är paradibusken hårdig inom zon I-IV samt i gynnsamma lägen inom zon V. *Kolkwitzia amabilis* är en rikblommig, vacker buske med rosa blommor. I allmänhet är dock blomningen relativt svag under de första åren efter plantering.

NORSK BRUDSPIREA (*Spiraea x cinerea* Zab.) 'Grefsheim'

Hybriden *Spiraea x cinerea* uppkom omkring 1880. Till denna hybrid förs numera 'Grefsheim'. Sorten 'Grefsheim' upptäck-

tes i en norsk plantskola 1949. Det är en hårdig (zon I-IV), rikblommig sort med vita blommor.

TRÄDGARDSPRAKTTRY (*Weigela x hybrida*) 'Bristol Ruby'

Till *Weigela* hör en mängd olika sorter. 'Bristol Ruby' är en av de mest odlade sorterna i vårt land. Den har mörkröda, klockliknande blommor. I södra Sverige bildar 'Bristol Ruby' vackra, blomrika buskar. Den betecknas som hårdig inom zon I-III.

7.2.4 Barrväxter

EN (*Juniperus communis* L.)

Artens utbredningsområde sträcker sig från norra och centrala Europa över norra och västra Asien till Korea och Japan samt förekommer även i Nordamerika. *J. communis* är en ytterst variabel art. Många varieteter och sorter odlas.

'Repanda' kommer ursprungligen från Irland och introducerades i handeln på 1930-talet. Idag är den mycket vanlig i odling. Det är en dvärgform med krypande, rundad, regelbunden växt. Den bildar mycket täta, skottrika buskar. 'Repanda' är en frisk sort och uppges vara hårdig i zon I-V.

HYBRIDIDEGRAN (*Taxus x media* Redh. (= *baccata x cuspidata*))

Hybrididegranen uppkom i USA omkring 1900. Till denna hybrid förs flera av de för närvarande mest odlade sorterna av *Taxus*.

'Hicksii' har odlats sedan början av 1900-talet. I handeln förekommer både honliga och hanliga kloner. Sorten har ett upprätt växtsätt och blir 2-3 ggr högre än bred. Den uppges hårdig i zon I-IV. Sortens utveckling i pågående sortförsök tyder på att den klarar sig bra även i öppna, soliga lägen.

TUJA (*Thuja occidentalis* L.)

Arten har sitt naturliga utbredningsområde i Kanada och USA. Till *T. occidentalis* hör en mängd olika sorter.

'Smaragd' är en av de i vårt land mest odlade sorterna av tuja. Den är utvald i Danmark omkring 1950. Sorten har ljusgröna barr och pyramidalt växtsätt. Den uppges vara hårdig inom zon I-IV.

7.3 Skötsel

Riktlinjerna för skötseln har varit att behandla alla försöksytorna på samma sätt samt att skapa så bra växtbetingelser som möjligt för växtmaterialet. Manuell bekämpning av ogräset har utförts i rosor, prydnadsbuskar och barrväxter under hela vegetationsperioden. Med undantag av den vattning, som gjordes i samband med plantering, har

varken gräs eller andra växter vattnats under torkperioder. Gräsytorna klipptes regelbundet under hela vegetationsperioden. Antalet klippningar anpassades efter tillväxt och rådande väderlek. Allt gräsklippet samlades och bortfördes. Tidigt på våren spreds 5 kg fullgödselmedel per 100 m². Under maj-augusti övergöddes 3 ggr med kalksalpeter, varje gång 2 kg per 100 m². I början av september tillfördes 3 kg fullgödselmedel per 100 m².

Under hösten kupades jorden upp kring rosorna. På våren utjämnades marken mellan plantorna och rosorna beskars. Genom kraftig nedfrysning i samtliga försöksled har ingen individuell beskärning av sorterna kunnat tillämpas. Samtliga sorter har skurits ned till en höjd av 5-10 cm.

En del av de prydnadsbuskar och barrträd, som planterades hösten 1978, dog under den första vintern. Alla utgångna plantor ersattes hösten 1979. Därefter har inga döda buskar ersatts med nytt växtmaterial. För övrigt har skötseln av prydnadsbuskarna och barrträden förutom ogräsbekämpning främst bestått i borttagning av döda skott och grenar under vår och höst.

7.4 Bedömningar

I försök med gräs och andra prydnadsväxter på friland finns i regel ingen skörd, som kan mätas, vägas eller sorteras efter vissa kvalitetsnormer. Vid värdering av egenskaper användes främst mer eller mindre subjektiva graderingar. Detta är givetvis en brist men tillämpas allmänt över hela världen i bl a gräsförsök och andra försök med trädgårdsväxter.

Vissa egenskaper bedömdes enligt en 10-gradig skala med siffran 0 som lägsta och 9 som högsta i positiv riktning. Denna skala användes bl a för gradering av övervintringsförmåga, resistens mot sjukdomar, helhetsintryck, täthet (gräs) och blomrikedom (prydnadsbuskar).

Hos rosorna registrerades blomrikedomen genom att rosorna klipptes av och räknades varannan vecka från blomningens början, tills den upphörde på hösten.

Vidare noterades datum för sådana fenologiska fenomen som begynnande och avslutad blomning och vegetation. Samtliga buskars höjd och bredd mättes varje år på hösten, när tillväxten upphört.

Innan försöket med gräs avslutades hösten 1981 uppskattades i procent hur stor del av parcellerna, som täcktes av insått gräs, annat ej insått gräs, tvåhjärtbladiga växter samt oöväxt mark.

7.5 Försöksresultat

Tabell 11. Grässets övervintringsförmåga, täthet och helhetsintryck. Medeltal av bedömningar 1979-81.

Försöksled Art/sort	Övervintrings- förmåga	Täthet	Helhets- intryck
0-yta			
Rödsvingel 'Barfalla'	3.8	5.0	5.0
Rödsvingel 'Koket'	4.5	4.7	4.9
Ängsgröe 'Sving'	5.5	5.0	5.3
Ängsgröe 'Sydsport'	5.8	5.8	6.0
Rödven 'Boral'	4.0	4.1	3.5
Rödven 'Highland'	2.0	3.2	2.8
Turftimotej 'Evergreen'	5.0	4.2	3.7
Turftimotej 'S 50'	5.3	4.3	3.9
Medeltal	4.5	4.5	4.4
N-yta			
Rödsvingel 'Barfalla'	3.3	4.6	4.6
Rödsvingel 'Koket'	3.8	4.7	4.9
Ängsgröe 'Sving'	5.5	5.0	5.4
Ängsgröe 'Sydsport'	5.5	5.6	5.7
Rödven 'Boral'	2.8	3.7	3.3
Rödven 'Highland'	1.0	3.4	2.9
Turftimotej 'Evergreen'	3.5	3.9	3.5
Turftimotej 'S 50'	3.5	3.9	3.7
Medeltal	3.6	4.4	4.3
3N-yta			
Rödsvingel 'Barfalla'	2.8	5.1	5.0
Rödsvingel 'Koket'	3.3	5.3	5.2
Ängsgröe 'Sving'	5.5	4.9	5.3
Ängsgröe 'Sydsport.'	5.0	6.0	5.8
Rödven 'Boral'	2.3	3.9	3.6
Rödven 'Highland'	0.8	3.1	2.7
Turftimotej 'Evergreen'	5.0	4.7	4.2
Turftimotej 'S 50'	4.5	4.4	3.9
Medeltal	3.7	4.7	4.5

7.5.1 Grässets utveckling

Bedömningar av övervintringsförmåga, täthet och helhetsintryck är sammanställda i tabell 11. Den första vintern efter sådd övervintrade gräset praktiskt taget utan skador. Inga skillnader mellan försöksleden konstaterades. Under vintrarna 1979-80 och 1980-81 har däremot gräset drabbats av kraftig utvintring i hela försöket. I genomsnitt fick ytor med ytjordvärmeuttag lägst poängen. En viss försening av tillväxten i N-ytan och 3N-ytan kan också ha medverkat till den lägre poäng i övervintringsförmåga. Skillnaderna i övervintring mellan arterna är betydande. Ängsgröen övervintrade bäst och rödvenen sämst.

Tabell 12. Procentuell täckning i gräsytor av insätt gräs, örtogräs, ej insätt gräs samt obeväxt mark. Bedömning hösten 1981.

Försöksled Art/sort	Insätt gräs	Ört- ogräs	Ej insätt gräs	Obeväxt mark
0-yta				
Rödsvingel 'Barfalla'	45	35	7	13
Rödsvingel 'Koket'	48	27	10	15
Ängsgröe 'Sving'	62	33	5	0
Ängsgröe 'Sydsport'	74	20	4	2
Rödven 'Boral'	35	55	8	2
Rödven 'Highland'	5	60	33	2
Turftimotej 'Evergreen'	15	62	22	1
Turftimotej 'S 50'	13	60	26	1
Medeltal	37.1	44.0	14.4	4.5
N-yta				
Rödsvingel 'Barfalla'	43	30	15	12
Rödsvingel 'Koket'	45	28	15	12
Ängsgröe 'Sving'	63	30	5	2
Ängsgröe 'Sydsport'	69	25	4	2
Rödven 'Boral'	28	56	10	6
Rödven 'Highland'	4	79	17	0
Turftimotej 'Evergreen'	13	68	17	2
Turftimotej 'S 50'	10	67	20	3
Medeltal	34.4	47.9	12.9	4.9
3N-yta				
Rödsvingel 'Barfalla'	53	25	7	15
Rödsvingel 'Koket'	63	20	7	10
Ängsgröe 'Sving'	62	36	2	0
Ängsgröe 'Sydsport'	76	20	2	2
Rödven 'Boral'	30	55	8	7
Rödven 'Highland'	5	65	25	5
Turftimotej 'Evergreen'	15	58	25	2
Turftimotej 'S 50'	8	42	40	10
Medeltal	39.0	40.1	14.5	6.4

I fråga om täthet och helhetsintryck visar medeltalen inga skillnader mellan försöksleden. Vid bedömning av täthet togs hänsyn dels till skotttäthet, dels till hur stor del av parcellen, som täcktes av det insådda gräset. Vad helhetsintrycket är kan vara svårare att definiera. Det kan betraktas som en sammanfattning av en gräsyttas värde som gräsmatta. Alla faktorer som inverkar såväl negativt som positivt påverkar poängens storlek. Exempel på sådana faktorer är tidighet, ogräsmängd och missfärgning på grund av torka eller sjukdomsangrepp. Helhetsintrycket är den bedömning, som snabbast ger utslag mellan försöksled. I försöket har helhetsintrycket bedömts varje månad under maj t o m september. Skillnaderna mellan försöksleden var störst tidigt under våren. Då fick kontrolledet högst poäng. Under sommaren och hösten visar medeltalen ytterst

små skillnader och N-ytan och 3N-ytan fick i flera bedömningar något högre poäng än 0-ytan.

Innan gräsförsöket avslutades hösten 1981, uppskattades i procent hur stor del av parcellerna, som täcktes av insått gräs, örtogräs (= tvåhjärtbladiga ogräs), ej insådda gräsarter samt obeväxt mark. Dessa bedömningar redovisas i tabell 12. Beträffande procenten insått gräs visar medeltalen små skillnader. De överensstämmer mycket bra med medeltalen för täthet och helhetsintryck. I tabell 12 kan vidare klart utläsas vilka arter och sorter, som haft bäst uthållighet. Både rödvenen och turftimotejen hade kraftigt invaderats av örtogräs och andra gräsarter. 'Highland' var i det närmaste helt utgången i samtliga parceller. Genomgående bäst täckning hade ängsgröen och rödsvingeln. Bäst bestånd av ängsgröesorterna hade 'Sydsport'. Beträffande rödsvingeln är skillnaderna mindre mellan sorterna. I 3N-ytan hade dock 'Koket' bättre täckning än 'Barfalla'. Andelen örtogräs var störst i N-ytan och minst i 3N-ytan.

Sommaren 1980 påbörjades vägning av gräsklippet för att utröna hur uttag av ytjordvärme inverkar på produktionen av grönmassa.

Som framgår av tabell 13 erhöles störst mängd grönmassa i N-ytan under båda skördeperioderna. Differensen var störst under 1980 då gräsklippet endast vägdes under sensommaren och hösten. Under 1981 vägdes gräsklippet efter varje klippning. Vid den första klippningen i juni var det 23% mindre grönmassa i N-ytan jämfört med 0-ytan. Under följande klippningar skördades mest grönmassa i N-ytan.

Tabell 13. Gräsklippets vikt

Skördeperiod	Kg per 100 m ²			Vikt i relativa tal		
	0-yta	N-yta	3N-yta	0-yta	N-yta	3N-yta
3/8-4/10 1980	83.3	106.4	90.5	100	120	102
21/6-20/9 1981	122.3	129.8	116.4	100	106	95
Summa	210.6	236.2	206.9	100	112	98

7.5.2 Rosornas utveckling

I tabell 14 anges antal döda buskar vid växtperiodens slut under de tre år projektet pågått. Sex buskar planterades per sort och block. Detta blir totalt 48 rosor per försöksled. I tabellen valdes hösten som redovisningstidpunkt, därför att då är läget stabiliserat efter föregående vinters påfrestningar. Buskar med svaga livstecken under försommaren har antingen dött eller återhämtat sig någorlunda.

Tabell 14. Antal döda rosor hösten 1979, 1980 och 1981.

År/sort	Block	0-yta		N-yta		3N-yta	
		I	II	I	II	I	II
<u>Hösten 1979</u>							
Allotria		0	0	0	0	0	1
Samtliga av övriga sorter levde.							
<u>Hösten 1980</u>							
Allotria		0	0	0	0	3	1
Nina Weibull		0	0	0	0	0	2
Peace		0	1	5	3	5	4
Lichterloh		0	0	4	0	1	0
Antal döda/block		0	1	9	3	9	7
Antal döda i %/block		0	4	38	13	38	29
<u>Hösten 1981</u>							
Allotria		6	1	6	5	6	5
Nina Weibull		6	1	6	1	5	5
Peace		6	6	6	5	6	6
Lichterloh		5	0	6	0	5	0
Antal döda/block		23	8	24	11	22	16
Antal döda i %/block		96	33	100	46	92	67
Totalt antal döda i %		65		73		79	

Utgångsläget för rosorna var bra efter den första vintern. Samtliga levde i juni 1979, men i 3N-ytan var flera buskar svaga. Hösten 1979 var i hela försöket endast en planta utgången. Det var en svag buske av 'Allotria' som dött i 3N-ytan under sommaren. Vintern 1979-80 utvintrade många buskar på ytor med värmeuttag. Hösten 1980 var 12 rosor döda i N-ytan och 16 buskar i 3N-ytan. I 0-ytan var endast 1 buske död, men många rosor särskilt i block I var ytterst svaga.

Vintern 1980-81 utvintrade nästan samtliga av de återstående rosorna i block I. Hösten 1981 var totalt 96% av rosorna utgångna i block I och 49% i block II. Detta förhållande visar tydligt att växtbetingelserna för rosorna var klart sämst i block I. I september 1981 var totalt 65% av buskarna utgångna i 0-ytan, 73% i N-ytan och 79% i 3N-ytan. Antalet döda rosor var således störst på ytor med värmeuttag.

Av sammanställningen i tabell 14 framgår att skillnaderna var betydande mellan sorterna i block II. Hos 'Lichterloh' levde samtliga buskar hösten 1981 och sortens utveckling var acceptabel även i 3N-ytan. Som tvåa kom 'Nina Weibull' med 5 levande buskar i både 0-ytan och N-ytan. Buskarna i N-ytan var dock tämligen svaga och i 3N-ytan levde endast en buske. 'Allotria' var markant bättre i N-ytan än i de andra försöksleden. 'Peace' var utgången i hela försöket med undantag av en svag planta i N-ytan.

Tabell 15. Rosornas höjd i cm. Medeltal för samtliga buskar.

Försöksår	0-yta	N-yta	3N-yta
1979	68	71	64
1980	61	64	52
1981	72	68	67
Medeltal	67.0	67.7	61.0

Tabell 16. Visuellt bedömning av rosornas vegetativa utveckling vid olika tidpunkter under året i skala 0-9.

Tidpunkt	0-yta	N-yta	3N-yta
Den 13 juni 1979	4.9	3.7	2.6
Den 10 okt. 1979	6.9	7.1	6.4
Den 18 juli 1980	5.9	5.9	3.8
Den 22 aug. 1980	5.9	6.6	5.1
Den 24 juli 1981	7.3	6.0	5.5
Den 21 sep. 1981	7.1	5.1	5.2
Medeltal	6.3	5.7	4.8

Tabell 17. Begynnande blomning hos rosorna. I medeltalen för 1979 ingår samtliga buskar. I medeltalen för 1980 ingår Allostria, Nina Weibull och Lichterloh i block II och för 1981 ingår endast Lichterloh.

Försöksår	0-yta	N-yta	3N-yta
1979	15 juli	22 juli	7 augusti
1980	10 juli	12 juli	20 juli
1981	11 juli	9 juli	16 juli
Medeltal	12 juli	14 juli	25 juli

Rosornas höjd har mätts varje höst. Resultaten av mätningarna är sammanställda i tabell 15. Rosbuskarna var genomgående svagast i 3N-ytan. Både 1979 och 1980 var buskarna högst i N-ytan men lägre än i 0-ytan under 1981. Även om differenserna är små mellan 0-yta och N-yta, överensstämmer höjdmätningarna väl med blomrikedom och övriga bedömningar.

I tabell 16 redovisas visuella bedömningar av rosornas vegetativa utveckling vid olika tidpunkter under året. Varje buskes storlek har bedömts i skala 0-9. Av sammanställningen framgår att vid bedömning i juni 1979 och i juli 1980 fick 0-ytan högre eller samma poäng som rosorna i de andra försöksleden. När bedömningen upprepades senare

under växtperioden, hade rosorna i N-ytan inte bara växt ifatt utan var även kraftigast. Samma mönster upprepades ej under 1981. Rosorna var vid båda bedömningarna bäst i 0-ytan. Detta förhållande återspeglas i blomskörden.

Datum för påbörjad blomning är sammanställd i tabell 17. Många faktorer inverkar på blomningens början bl a sortens anlag för tidig blomning. En annan viktig faktor är buskarnas vitalitet dvs om de är svaga eller har en för sorten normal vegetativ utveckling. Svaga buskar blommar betydligt senare än kraftiga. Våren 1979 levde samtliga rosor, varför utgångsläget var detsamma i alla försöksleden. Medeltalen för begynnande blomning sommaren 1979 gäller samtliga rosbuskar i hela försöket.

Som redan nämnts dog många rosor vintern 1979-80 i ytor med värmeuttag. Plantförlusterna var störst i block I samt av sorten 'Peace'. I 0-ytan var endast en buske död, men många levande buskar var svaga i synnerhet i block I och av 'Peace'. Vid framräkning av medeltalen för påbörjad blomning under 1980 uteslöts 'Peace' i hela försöket samt dessutom alla övriga sorter i block I. Därmed ger medeltalen en riktigare bild av de verkliga tidighetsskillnaderna mellan försökleden och 0-ytan missgynnas ej. Datum för påbörjad blomning för 1981 grundar sig på utvecklingen hos 'Lichterloh' i block II. Av övriga sorter levde endast enstaka buskar i 3N-ytan och många var även döda i N-ytan.

Som framgår av medeltalen i tabell 17 var skillnaderna störst mellan försöksleden sommaren 1979. Då begynte rosorna blomma 7 respektive 23 dagar senare på ytor med värmeuttag. Under 1980 och 1981 var differenserna i tidighet små mellan 0-ytan och N-ytan. I 3N-ytan försenades blomningen under alla försöksåren. Förseningen förstärktes av att många buskar var svaga i detta led.

Skörden av rosor redovisas i tabell 18. Betydande skillnader i blomskörd mellan försöksåren kan konstateras. I kontrollerdet var blomskörden lägst första året och högst andra året efter plantering. Första växtperioden efter plantering blommar rosorna i regel svagt. Därefter blir blomningen rikligare under de närmaste åren. Detta förutsätter dock att rosorna ej utvintrar eller försvagas på annat sätt t ex genom parasitangrepp.

Blomningen har under alla försöksåren varit svagast i 3N-ytan både totalt och i medeltal per buske. I relation till 0-ytan har blomskörden stadigt minskat. År 1979 utgjorde den ca 2/3 och 1981 ca 1/3 av antalet blommor i kontrollerdet.

Relationerna mellan 0-ytan och N-ytan har växlat. Första sommaren resultat var oväntat. Då gav N-ytan 32% fler blommor än 0-ytan. Under 1980 och 1981 erhöles totalt 5 respektive 44% fler blommor i kontrollerdet. Nedgången i N-ledet berodde på att många plantor utvintrat. I medeltal per blommande buske gav N-ytan flest blommor 1979 och 1980 men mindre än 0-ytan 1981.

Tabell 18. Total blomskörd av rosor under 1979, 1980 och 1981.

	0-yta	N-yta	3N-yta
<i>1979</i>			
Block I	392	480	285
Block II	584	811	384
Totalt	976	1291	669
Relativtal	100	132	69
Medeltal/buske	20.3 (48)*	26.9 (48)*	14.2 (47)*
<i>1980</i>			
Block I	554	458	330
Block II	1648	1644	851
Totalt	2202	2102	1181
Relativtal	100	95	54
Medeltal/buske	46.9 (47)*	60.1 (35)*	36.9 (32)*
<i>1981</i>			
Block I	3	0	15
Block II	1198	671	390
Totalt	1201	671	405
Relativtal	100	56	34
Medeltal/buske	70.6 (17)*	61.0 (11)*	40.5 (10)*

* = antal blommande buskar

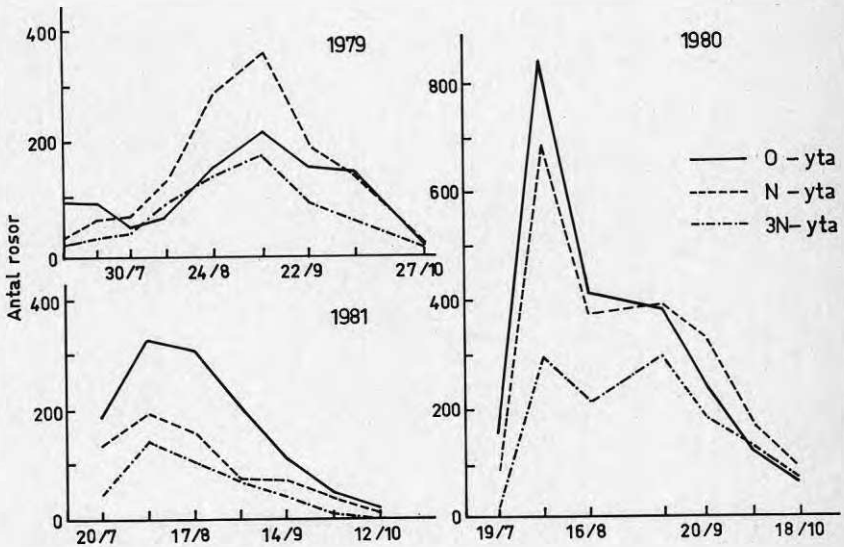
Som tidigare betonats var det stora skillnader i växtbetingelser mellan blocken. Detta förhållandet framstår tydligt i tabell 18. Redan första året skördades betydligt färre blommor i block I än i block II. Differenserna mellan blocken har efterhand blivit allt större.

I tabell 19 redovisas antal skördade blommor i medeltal per år och sort. Av medeltalen framgår att sortskillnaderna är mycket tydliga. Den storblomminga sorten 'Peace' blommade svagt i hela försöket. Under 1981 gav 'Allotria' få blommor även i 0-ytan. De härdigaste sorterna 'Lichterloh' och 'Nina Weibull' har hävdats sig bäst. 'Lichterloh' skiljer sig markant från de andra sorterna genom att den varje år blommat rikligast i N-ytan. Även i 3N-ytan har 'Lichterloh' blommat tämligen rikligt.

Rosorna har räknats 7-9 ggr per år under juli t o m oktober. Skördens storlek och fördelning under året åskådliggörs i figur 24. Av figur 24 framgår att blomningen sommaren 1979 blev något försenad på ytor med värmeuttag. Vid blomräkning den 10 och 20 juli var blomningen nämligen rikligast i 0-ytan. Därefter erhöles flest rosor i N-ytan fram tills i början av oktober. Blomningens höjdpunkt inföll i slutet av augusti och början av september. Detta är senare än under de följande åren. Blomningen blir normalt något försenad första växtperioden efter plantering. Väderleken under sommaren kan också ha bidragit till förseningen.

Tabell 19. Antal skördade rosor per sort och år. Inom parentes anges antalet blommande buskar.

Sort/år	Antal rosor i medeltal per buske		
	0-yta	N-yta	3N-yta
Allotria, 1979	26.7 (12)	20.4 (12)	20.5 (11)
Allotria, 1980	61.5 (12)	63.0 (12)	41.9 (8)
Allotria, 1981	22.0 (5)	1.0 (1)	12.0 (1)
Medeltal	36.7	28.1	24.8
Nina Weibull, 1979	17.3 (12)	18.4 (12)	9.2 (12)
Nina Weibull, 1980	50.9 (12)	46.5 (12)	28.6 (10)
Nina Weibull, 1981	107.2 (5)	42.6 (5)	28.0 (2)
Medeltal	58.5	35.8	21.9
Peace, 1979	8.5 (12)	8.0 (12)	6.1 (12)
Peace, 1980	10.5 (11)	23.7 (3)	3.0 (3)
Peace, 1981	-	-	-
Medeltal	9.5	15.9	4.6
Lichterloh, 1979	28.9 (12)	60.8 (12)	21.7 (12)
Lichterloh, 1980	61.5 (12)	89.6 (8)	50.1 (11)
Lichterloh, 1981	79.3 (7)	91.4 (5)	48.1 (7)
Medeltal	56.6	80.6	40.0



Figur 24. Antal skördade rosor vid olika tidpunkter under 1979, 1980 och 1981.

Under andra försöksåret blommade rosorna rikligast under början av augusti. I juli och augusti skördades mest rosor i 0-ytan och i september - oktober gav N-ytan högst skörd. Vid blomräkning i oktober var blomskörden t o m något högre i 3N-ytan än i kontrollområdet. Detta tyder på goda växtbetingelser på ytor med värmeuttag under sensommaren och hösten.

Även under tredje året inföll blomningens höjdpunkt i första delen av augusti. Blomningen var genomgående rikligast i 0-ytan och svagast i 3N-ytan.

7.5.3 Prydnadsbuskarnas utveckling

Per försöksled planterades totalt sex buskar med tre buskar i varje block. Inga plantor av *Kolkwitzia* och *Spiraea* dog första vintern efter plantering hösten 1978. *Potentilla* och *Weigela* etablerade sig däremot dåligt. Som framgår av tabell 20 måste många av de utplanterade buskarna ersättas hösten 1979. Uttryckt i procent ersattes 39% av *Potentilla* och 50% av *Weigela*.

Ingenting tyder på att värmeuttaget medverkat till plantförlusterna, eftersom antalet döda plantor var minst i N-ytan. Som utgångsmaterial användes krukodlade plantor. Krukan utgör en viss barriär mot vattenavrinning. När växten planteras ut, tas krukan bort och en del vatten försvinner ut i markjorden. Resultaten kan bli en så kraftig uttorkning av krukklumpen, att växten dör. Detta torde vara den viktigaste orsaken till de stora plantförlusterna hos i varje fall *Potentilla*.

I tabell 21 redovisas antalet döda prydnadsbuskar hösten 1981. Av *Potentilla* och *Spiraea* lever samtliga buskar. *Weigela*-sorten 'Bristol Ruby' har utvintrat i samtliga försöksled. I 0-ytan och N-ytan är *Kolkwitzia*-buskarna utgångna i block I, medan två svaga buskar i samma block fortfarande lever i 3N-ytan. Antalet döda buskar är således minst i 3N-ytan. Hittills tycks inte uttag av yttjordvärme ha inverkat negativt på buskarnas överlevnad. Bedömningarna av övervintringsförmågan i skala 0-9 visar inte heller några skillnader mellan försöksleden.

Subjektiv bedömning av buskarnas vegetativa utveckling anges i tabell 22. Buskarna i 3N-ytan erhöll genomgående lägst poäng. De hårdigaste växtslagen - *Potentilla* och *Spiraea* - har dock haft god tillväxt även i detta led. Medeltalen för samtliga arter visar inga skillnader mellan 0-ytan och N-ytan. *Kolkwitzia* hade dock markant bäst tillväxt i N-ytan, medan *Potentilla* fick högst poäng i 0-ytan.

Prydnadsbuskarnas höjd i cm hösten 1981 är sammanställd i tabell 23. Medeltalen visar, att skillnaderna är relativt små mellan försöksleden. Den största avvikelsen gäller *Kolkwitzia amabilis*, som var påtagligt högre i N-ytan än i de andra försöksleden.

Tabell 20. Utgångna prydnadsbuskar som ersattes med nya plantor hösten 1979.

Växtslag	0-yta	N-yta	3N-yta
Potentilla 'Goldfinger'	2	3	2
Kolkwitziya amabilis	0	0	0
Spiraea 'Grefsheim'	0	0	0
Weigela 'Bristol Ruby'	4	1	4
Totalt	6	4	6

Tabell 21. Döda prydnadsbuskar hösten 1981.

Växtslag	0-yta	N-yta	3N-yta
Potentilla 'Goldfinger'	0	0	0
Kolkwitziya amabilis	3	3	1
Spiraea 'Grefsheim'	0	0	0
Weigela 'Bristol Ruby'	6	6	6
Totalt	9	9	7

Tabell 22. Visuellt bedömning av prydnadsbuskarnas vegetativa utveckling. Medeltal av 6 bedömningar under 1979-81.

Växtslag	0-yta	N-yta	3N-yta
Potentilla 'Goldfinger'	6.9	6.1	5.9
Kolkwitziya amabilis	6.0	7.5	5.4
Spiraea 'Grefsheim'	7.3	7.5	6.9
Weigela 'Bristol Ruby'	4.4	4.2	3.2
Totalt	6.2	6.3	5.4

Tabell 23. Prydnadsbuskarnas höjd i cm hösten 1981.

Växtslag	0-yta	N-yta	3N-yta
Potentilla 'Goldfinger'	95	83	90
Kolkwitziya amabilis	96	117	96
Spiraea 'Grefsheim'	95	89	93
Medeltal	95.3	96.3	93.0

Våren 1979 var buskarnas lövsprickning tydligt försenad på ytor med värmeuttag. En sådan markant fördröjning har ej konstaterats under 1980 och 1981. Den starkt försenade lövsprickningen våren 1979 berodde sannolikt på att mer värme än normalt för årstiden togs ut under våren och försommaren.

Tabell 24. Fenologiska noteringar samt blomrikedom hos *Potentilla* och *Spiraea*. Medeltal 1979-81.

Egenskap	0-yta	N-yta	3N-yta
Begynnande vegetation	15 maj	18 maj	19 maj
Avslutad vegetation	28 okt.	28 okt.	28 okt.
Begynnande blomning, <i>Potentilla</i>	27 juni	27 juni	28 juni
Avslutad blomning, <i>Potentilla</i>	30 okt.	30 okt.	30 okt.
Begynnande blomning, <i>Spiraea</i>	23 maj	24 maj	24 maj
Avslutad blomning, <i>Spiraea</i>	5 juni	6 juni	5 juni
Blomrikedom, <i>Potentilla</i>	6.2	5.7	6.2
Blomrikedom, <i>Spiraea</i>	2.1	2.3	2.0

Av medeltalen i tabell 24 framgår, att buskarna börjat vegetera något senare i N-ytan och 3N-ytan än i 0-ytan. Övriga fenologiska data i tabellen visar endast smärre avvikelser utan praktisk betydelse. Beträffande blomningens intensitet är skillnaderna små mellan försöksleden. Ölandstoken blommade rikt i alla led, medan norsk brudspirea hittills blommat ytterst svagt. Paradisbuskens blomning har nått och jämnt börjat. Endast en buske per försöksled blommade svagt under 1981.

7.5.4 Barrväxternas utveckling

Juniperus och *Taxus* etablerade sig någorlunda bra första året efter plantering hösten 1978. Inga buskar av dessa växtslag har ersatts. De relativt stora buskarna av *Thuja* hade svårt att klara den första vintern. Döda och svaga plantor byttes ut mot nytt plantmaterial hösten 1979. I 0-ytan ersattes 1 planta, i N-ytan 3 och i 3N-ytan 3 plantor. Plantförlusterna var således störst på ytor med värmeuttag. De nyplanterade buskarna etablerade sig tillfredsställande. Hösten 1981 levde samtliga exemplar av barrväxterna.

Städsegröna växter skadas ofta under vintern genom fysiologisk uttorkning. Skadorna uppkommer framför allt under soliga perioder, då marken fortfarande är tjälad. Växterna kan ej ersätta det vatten, som avdunstar från barr och blad. Skadorna visar sig på våren genom intorkade skott, grenar och i svårare fall kan hela plantan vara död.

I försöket har skadorna på barrväxterna genom fysiologisk uttorkning hittills varit mindre än befarat på ytor med värmeuttag. Bedömning av övervintringsförmågan enligt sammanställning i tabell 25 visar, att skillnaderna mellan försöksleden var små beträffande *Juniperus* och *Taxus*. Däremot skadades *Thuja*-sorten 'Smaragd' betydligt kraftigare i N-ytan och 3N-ytan.

Bedömning av helhetsintrycket redovisas i tabell 26. Rätt utförd ger denna bedömning en förhållandevis god bild av plantornas utseende och tillväxt. 'Repanda' har ungefär likartad utveckling i samtliga försöksled. 'Hicksii' har i

Tabell 25. Barrväxternas övervintringsförmåga bedömd i skala 0-9. Medeltal för åren 1979-81.

Växtslag	0-yta	N-yta	3N-yta
Juniperus com. 'Repanda'	5.7	5.4	5.5
Taxus x media 'Hicksii'	4.5	5.2	4.1
Thuja occ. 'Smaragd'	6.7	4.6	3.9
Medeltal	5.6	5.1	4.5

Tabell 26. Helhetsintrycket bedömt i skala 0-9. Medeltal av fem bedömningar 1979-81.

Växtslag	0-yta	N-yta	3N-yta
Juniperus com. 'Repanda'	5.4	5.6	5.4
Taxus x media 'Hicksii'	4.1	4.9	3.4
Thuja occ. 'Smaragd'	6.4	5.7	4.0
Medeltal	5.3	5.4	4.3

Tabell 27. Barrväxternas höjd (bredd hos Juniperus) i cm hösten 1981.

Växtslag	0-yta	N-yta	3N-yta
Juniperus com. 'Repanda'	88	99	91
Taxus x media 'Hicksii'	72	74	63
Thuja occ. 'Smaragd'	123	92	85
Medeltal	94.3	88.3	79.7

genomsnitt fått högst poäng i N-ytan. Det var framför allt under 1979 och 1980, som Taxusplantorna hade bäst tillväxt i detta led. Under 1981 har differenserna i det närmaste utjämnats mellan 0-ytan och N-ytan. 'Hicksii' var svagast i 3N-ytan. 'Smaragd' var klart bäst i 0-ytan och sämst i 3N-ytan.

Barrväxternas höjd hösten 1981 framgår av tabell 27. Mätningarna överensstämmer väl med de subjektiva bedömningarna. I genomsnitt var plantorna lägst i 3N-ytan. Thuja-buskarna var påtagligt kraftigare i 0-ytan än i de andra försöksleden.

7.6 Diskussion och sammanfattning

Inledningsvis är det viktigt att framhålla energiuttagets storlek. Detta blev nämligen mindre än planerat på grund av tekniska svårigheter och värmepumpens otillräckliga kapacitet. I N-ytan planerades ett normalt värmeuttag per arealenhet och 3 ggr normalt uttag i 3N-ytan. Om 1N betecknar ett normalt energiuttag per ytenhet under ett normalår, blir värmeuttaget i N-ytan 0,82 N, 0,92 N och 0,88 N under de tre uppvärmningssäsongerna. Motsvarande storheter i 3N-ytan är 1,93 N, 2,47 N och 1,48 N. I 3N-ytan var det således endast under uppvärmningssäsongen 1979-80, som uttaget närmade sig det planerade (se 4.2). Detta förhållande är viktigt att ha i åtanke, när växtmateriallets utveckling i 3N-ytan diskuteras. Sannolikt hade växterna i 3N-ytan utvecklats ännu sämre, om det planerade energiuttaget hade kunnat genomföras.

En annan faktor, som i viss mån balanserat det lägre energiuttaget och i varje fall inverkat negativt på växtmateriallets utveckling, är klimatet under de tre år projektet pågått. Samtliga vegetationsperioder har varit kallare och mer nederbördsrika än normalt. Särskilt rabattrosor är känsliga för kall och regnig väderlek och reagerar genom dålig tillväxt och svag blomning. Arsskotten hos Weigela-sorten 'Bristol Ruby' avmognade ej. De frostskadades varje år och till slut utvintrade buskarna helt i samtliga försöksled. Det höga grundvattenståndet under vissa perioder har inverkat starkt menligt på växternas överlevnad.

Det onormalt höga värmeuttaget inverkade mer eller mindre negativt på flertalet av de i försöket ingående prydnadsväxternas tillväxt och blomning. Mest negativt reagerade rosorna. Deras blomning blev både försenad och betydligt svagare i 3N-ytan. Detta var ej oväntat, eftersom rosorna är känsliga för låg marktemperatur. De flesta prydnadsbuskarna samt *Juniperus communis* 'Repanda' har hittills haft ungefär samma utveckling både i 0-ytan och 3N-ytan. Beträffande gräset var skillnaderna tämligen små mellan försöksleden. 3N-ledet tilldelades dock något lägre poäng i övervintringsförmåga och under 1981 var viktsmängden gräsklipp 5% lägre än i 0-ytan. Betecknande är att de hårdigaste sorterna haft en relativt god tillväxt även i 3N-ytan. Detta gäller ängsgröesorterna 'Sving' och 'Sydsport', rossorten 'Lichterloh', *Potentilla fruticosa* 'Goldfinger', *Spiraea x cineria* 'Grefsheim' och *Juniperus communis* 'Repanda'. Skillnaderna mellan växternas utveckling i 0-ytan och 3N-ytan var minst hos de hårdigaste sorterna och störst hos de mindre hårdiga.

Relationerna mellan 0-ytan och N-ytan har varit annorlunda. Särskilt under 1979 och 1980 var tillväxten och blomningen hos flera växter bättre i N-ledet än i kontrollerledet. Mängden gräsklipp var störst i N-ledet under de år detta samlades och vägdes. Trots att rosornas blomning var försenad i N-ytan, erhöles 32% fler blommor i detta led än i 0-ytan under 1979. Även under 1980 gav N-ytan flest rosor per buske, men totalt blev skörden lägre genom att 12

buskar utvintrat i N-ytan och endast 1 buske i 0-ytan. Bland prydnadsbuskarna har *Kolkwitzia amabilis* haft klart bäst tillväxt i N-ledet.

Av försöksresultaten framgår således, att i synnerhet under högsommaren och hösten har tillväxten i flera fall varit bäst i N-ytan. Detta kan bero på att uttag av ytjordvärme påverkat vissa processer i marken, som varit gynnsamma för växternas tillväxt. Värmeuttaget har orsakat ökad tjälbildning. I synnerhet på styv lerjord är tjälning en betydelsefull markfysikalisk process: Tjälbildning ger efter upptining bättre jordstruktur och ökar genomsläpligheten för vatten och luft.

En annan mycket betydelsefull process för växtodling är den sprickbildning, som äger rum i styv lerjord under torra somrar. Genom sprickbildning på djupet i lerjord ökar genomsläpligheten för vatten och luft. Rötterna kan genom att följa sprickorna tränga djupt ned i marken. Höstvetete kan t ex i lerjord tränga ned till ett djup av 258 cm (Wiklert, 1961). Framför allt i 3N-ytan men även i N-ytan har kraftig sprickbildning genom uttorkning konstaterats. Tjälning och sprickbildning genom uttorkning är processer, som sannolikt bidragit till den goda tillväxten hos vissa sorter i N-ytan.

Även om växtmaterialet i N-ytan utvecklats bättre än väntat har också bakslag noterats. Rödvenen hade kraftigare utvintringsskador i N-ytan jämfört med kontrolledet. Differenserna mellan leden är dock störst då det gäller rosorna. Fler rosor har dött i N-ytan. Tendensen tycks vara, att rosorna blir allt sämre och sämre i relation till 0-ytan. Detta gäller ej 'Lichterloh', som fortfarande har god utveckling. *Kolkwitzia amabilis* är fortfarande kraftigast i N-ytan, men skillnaderna mellan 0-ytan och N-ytan minskade under 1981. Bland barrväxterna har *Thuja occidentalis* 'Smaragd' svagare utveckling i N-ytan än i kontrolledet.

En viss fördröjning av växternas tillväxt under våren och försommaren har iakttagits på ytor med värmeuttag. Denna var särskilt påtaglig våren 1979, då ett onormalt högt värmeuttag gjordes under våren och försommaren. Men även under 1980 och 1981 har en viss försening varit märbar. Även ogräsen kan ibland ge upplysningar om skillnader mellan försöksled. Sålunda noterades den 20 maj 1980 tydliga differenser i maskrosens florala utveckling. Många maskrosor blommade i 0-ytan, några i N-ytan och endast en i 3N-ytan. Vid första klippning av gräset i juni 1981 vägde gräsklippen 23% mindre i N-ledet än i kontrolledet. Rosornas blomning har varje år varit något försenad på ytor med värmeuttag.

Särskilt rosornas utveckling visar tydligt, att skillnaderna i växtbetingelser mellan block I och II varit mycket påtagliga. Sommaren 1981 levde endast tre svaga plantor i block I mot 37 i block II. *Kolkwitzia amabilis* var i block I helt utgången i 0-ytan och N-ytan, medan två svaga

plantor levde i 3N-ytan hösten 1981. De sämre växtbetingelserna i block I beror främst på högt vattenstånd under vinterhalvåret. Den nederbördsrika hösten 1980 stod block I under en period delvis under vatten. Många prydnadsbuskar bl a rabattrosor är ytterst känsliga för högt vattenstånd. Även i block II dog många rosor under vintern 1980-81. Plantförlusterna på 0-ytan i block II överensstämmer dock väl med resultat från sortförsök med rabattrosor på två mellansvenska lokaler - Rånna (zon III) och Ultuna (zon III). På dessa lokaler var 33 respektive 26% av rosorna döda hösten 1981 (Svensson, R., opublicerade resultat). De flesta buskarna dog under vintern 1980-81. På kontrollytan i block II i Hacksta var 33% av rosorna döda hösten 1981.

7.7 Slutsatser

Som framgått av försöksresultaten påverkar värmeuttag prydnadsväxternas överlevnad och tillväxt. På ytor med normalt uttag har de minst hårdiga sorterna påverkats negativt, medan fullt hårdiga sorter hittills i vissa fall haft bättre tillväxt än på ytor utan värmeuttag. Växtvalet är därför synnerligen viktigt. Beträffande gräset är skillnaderna små mellan försöksleden. Särskilt sorter med svag övervintringsförmåga har dock drabbats av något kraftigare utvintringsskador. Därför rekommenderas att använda marknadens hårdigaste grässorter på ytor med värmeuttag och för övrigt ge gräset goda växtbetingelser, om högklassig gräsmatta önskas.

I fråga om rosor, prydnadsbuskar och barrträd tycks negativa effekter kunna elimineras genom att använda hårdiga växter. Ligger t ex en lokal i zon III bör sorter planteras, som är fullt hårdiga i zon IV-V.

Tre år är emellertid en alltför kort period för att projektet skall kunna ge ett tillfredsställande svar på hur uttag av yttjordvärme på sikt påverkar vedartade prydnadsväxternas utveckling. Därför är det viktigt att fortsätta uppföljningen av växtmateriallets tillväxt i Hacksta. Möjligheter finns också att komplettera försöket med fler arter. Genom nyplantering bör undersökas om några förändringar uppstått i marken, som inverkar på etableringen av vedartat växtmaterial, under de år yttjordvärme tagits ut.

8 SAMMANFATTNING

Projektet har omfattat ett fullskaleförsök, där effekterna av ytjordvärmeuttag på såväl de fysikaliska som de biologiska markprocesserna studerats samtidigt som en noggrann uppföljning av olika trädgårdsväxters odlingsvärde skett. För de tekniska kontrollen av värmepump, rörnedläggning och värmeuttagets reglering har ansvaret legat på ett särskilt projekt (781045-3) som här inte närmare berörs.

Försöksområdet är beläget i en före detta frukträdgård invid Hakesta gård, Hacksta sn, Enköpings kommun (Lat. $59^{\circ}33'$, Long $17^{\circ}24'$). Marken är en styv mellanlera som kan anses vara representativ för stora delar av Sveriges lerområden, där villabebyggelse ofta förekommer. Tre försöksytor om vardera 8×30 m har använts. En yta, 0-ytan, har utgjort kontrollyta där inget värmeuttag skett. Vid den andra ytan, N-ytan, har värme uttagits strax under normal praxis för konventionella anläggningar vilket motsvarar cirka $100 \text{ MJ m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ ($28 \text{ kWh m}^{-2} \text{ år}^{-1}$). Från den tredje ytan, 3N-ytan, planerades ett tre gånger så stort värmeuttag men av tekniska orsaker kunde endast i genomsnitt cirka $200 \text{ MJ m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ uttas.

Försöket anlades under våren 1978 och har pågått till och med vegetationssäsongens slut 1981. Under 1978 gjordes en del förundersökningar med plantering och provtagningar. Från och med vintern 78/79 har värme uttagits med hjälp av värmepump.

De markkemiska undersökningarna har under försöksperioden inte kunnat påvisa några förändringar i de växtnäringstillgängliga ämnena vid olika värmeuttag. Tillförsel av handelsgödselmedel har skett under vegetationsperioden. Dessa mängder har inte i nämnvärd grad förändrat markens adsorptionsförhållanden av olika ämnen.

De markfysikaliska undersökningarna har omfattat såväl ett intensivt mätprogram av temperaturer som teoretiska analyser med hjälp av en fysikalisk simuleringsmodell. Den endimensionella modellen har kunnat reproducera de observerade marktemperaturerna utgående från ansatta markegenskaper, meteorologiska standardvariabler och värmeuttagens storlek och tidsfördelning.

Hittills har inte några för ett fortsatt värmeuttag negativa förändringar av markens fysikaliska egenskaper kunnat konstaterats. En fortsatt uppföljning av studierna i Hacksta är dock nödvändig för att med säkerhet kunna spåra eventuella långsiktiga trender.

Modellens styrka ligger i att den kan tillåta generaliseringar till andra klimatsituationer, värmeuttag och marktyper. En test med ett oberoende observationsmaterial är dock nödvändig innan någon högre grad av generalitet skall kunna hävdas.

Effekterna av ett värmeuttag kan liknas med en förflyttning av marken till nordligare breddgrader samtidigt som de ovanjordiska delarna av ekosystemet stannar kvar i de sydligare trakterna.

Utgående från modellberäkningar av temperatursummor för marken kan konstateras att ett normalt värmeuttag i Hacksta motsvarar två klimatzoners förflyttning mot norr medan ett tre gånger så stort uttag motsvarar fyra klimatzoners förflyttning. Markens kapacitet som värmelager motsvarar mer än tre gånger normalt värmeuttag om vi bortser från effekter på de biologiska processerna.

De markbiologiska undersökningarna visar entydigt att den biologiska aktiviteten avtar vid ett värmeuttag. Förändringarna är kraftiga och de har hela tiden förstärkts under försöksperioden. Daggmaskpopulationen och dess aktivitet har minskat kraftigt och då främst stora djuplevande arter. Nedbrytningen av organisk substans och därigenom också omsättningen av näringsämnen går långsammare. Detta tillsammans kan innebära att den skenbara förflyttningen av marken mot norr kan vara mer dramatisk än vad som beräknats utgående från förändrade marktemperaturförhållanden. Effekterna kan dock troligen motverkas genom användning av organiska gödselmedel och genom att undvika onödig mekanisk jordbearbetning.

Tendenserna i de avtagande maskpopulationerna är likartade i N- och 3N-ytorna även om hastigheten i förloppen är olika. Det går därför inte att förutsäga vilka eventuella kvalitativa eller kvantitativa skillnader mellan dessa ytor som kommer att kvarstå. Man kan möjligen förmoda, eftersom de flesta lokaler med ytjordvärme har en lokal karaktär, att effekterna är reversibla om ytjordvärmeuttaget upphör.

Mark- och grundvattenundersökningarna påvisade inga stora effekter av ytjordvärmeuttaget på markens hydrologiska förhållande. Under upptyningsperioden under våren och försommaren hade främst ytan med det större värmeuttaget en högre vattenhalt än referensytan. Under sommaren återgick förhöjningen till normalvärden. En liten fördröjning av grundvattnets avsänkning kunde skönjas på 3N-ytan under försommaren.

Växtodlingsförsöken har utgjort den mest omfattande och arbetskrävande delen av undersökningen. Fyra grupper av prydnadsväxter har ingått i försöken gräs, rosor, lövfällande prydnadsbuskar och barrväxter. Principen vid växtvalet har varit att prova sorter, som normalt utvecklar sig bra inom klimatområdet i fråga. Dock har hela skalan från nätt och jämt härdiga till fullt härdiga växter varit representerade.

Resultaten visar att värmeuttaget på ytorna i de flesta fallen har haft stor betydelse för prydnadsväxternas överlevnad och tillväxt. På ytor med normalt värmeuttag har de minst härdiga sorterna påverkats negativt, medan fullt härdiga sorter hittills i vissa fall haft bättre tillväxt

än på kontrolllytan. I de flesta fallen tycks de negativa effekterna kunna elimineras genom att använda växter med härdighet för mer nordligt belägna odlingszoner.

Slutligen måste framhållas att tre vegetationsperioder med överskott av nederbörd och stundom väsentliga temperaturunderskott måste ha bidragit till varierande odlingsresultat. Mot bakgrund av detta och av att biologiska och markfysikaliska system reagerar med en stor tröghet bör försöken pågå i ytterligare tre år.

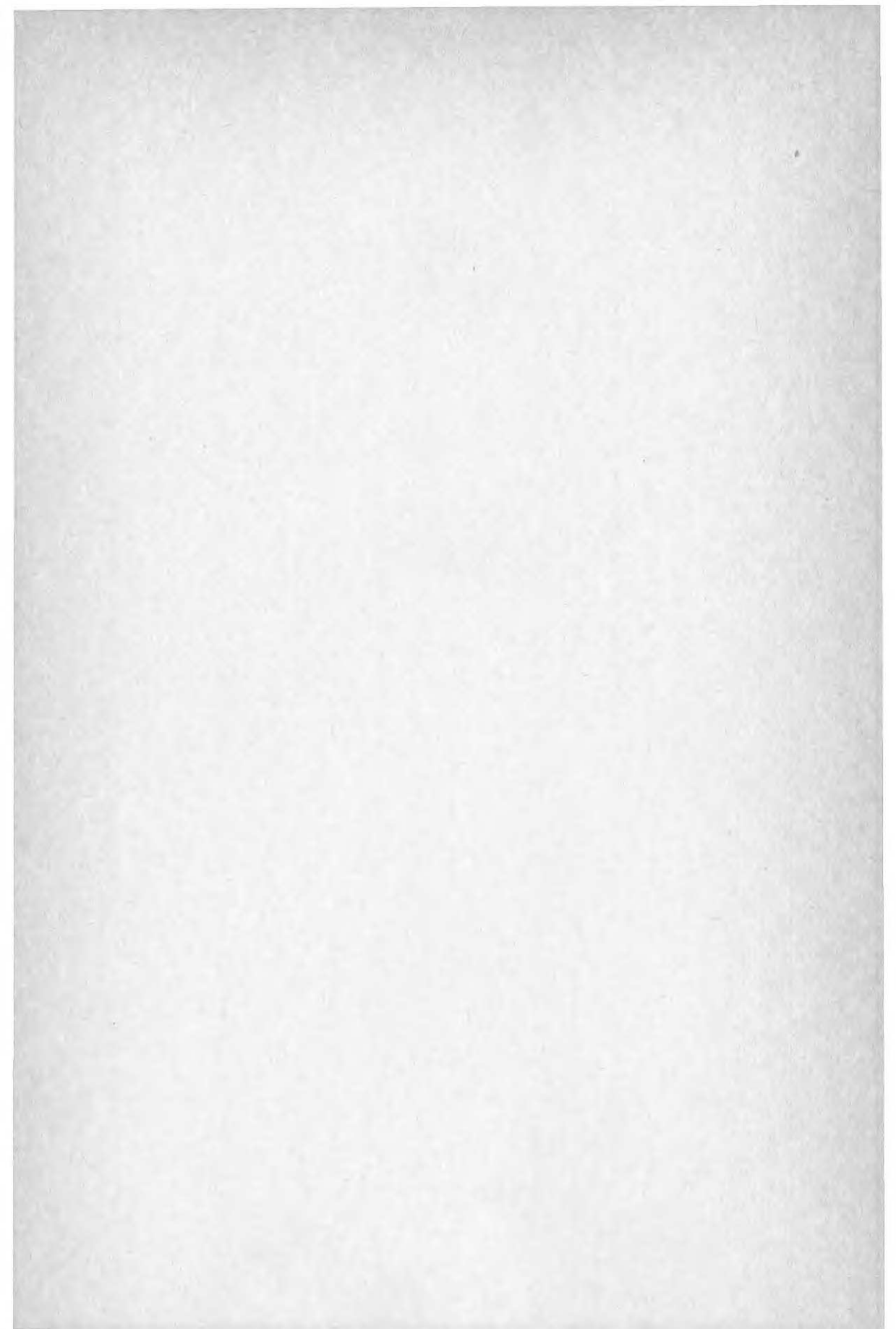
De föreliggande resultaten ger framför allt betänklighet kring de markbiologiska processerna som kraftigt störts av värmeuttaget. Effekterna av dessa störningar på markstruktur och odlingsbetingelser kan vara avsevärt fördröjda. Störningens betydelse varierar med säkerhet beroende på t ex markanvändning, ursprungliga markförhållanden, jordart och geografiskt läge.

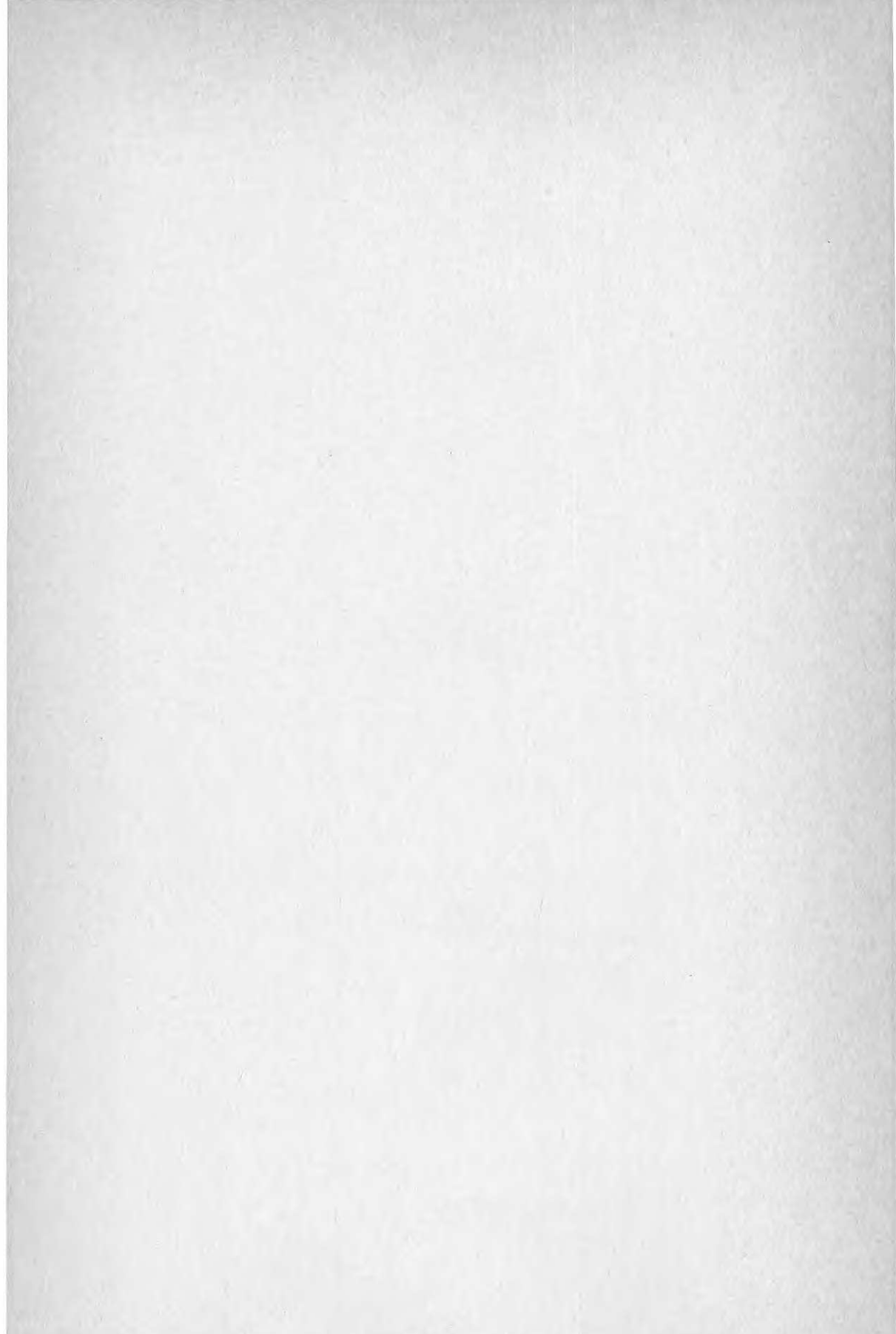
En samtidig studie av de här påvisade effekternas representativitet för andra marktyper och andra odlingszoner är nödvändig. Efter en sådan undersökning och efter sammanlagt sex vegetationsperioder i Hacksta kan man förvänta att sådana resultat föreligger som möjliggör säkrare rekommendationer - än vad som framlägges i denna rapport - för att motverka negativa odlingsbetingelser på mark där ytjordvärme uttages.

9 REFERENSER

- Andersson, S. & Wiklert, P. 1972. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. Grundförbättring 25 (2-3) s.53-143
- Bell, J.P. och McCulloch, J.S.G. 1966. Soil moisture estimation by the neutron method in Britain. Institute of hydrology 4. s.254-263.
- Brooks, R.H. & Corey, A.t. 1964. Hydraulic properties of porous media. - Hydrology Paper Nr. 3. Colorado State University, Fort Collins Colorado.
- Edwards, C.A. & Lofty, J.R. 1977. Biology of earthworms. 2:a uppl. Chapman and Hall, London, 333 s.
- Halldin, S., Jansson, P-E. & Lundkvist, H. 1979. Ecological effects of longterm soil heat pump use. - Proc. Nordic Symp. Earth Heat Pump Systems, Suppl. s.14-23, Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Jansson, P-E. 1980. Soil water and heat model. II. Field studies and applications. - Acta Universitatis Upsalien-sis. Abstracts of Uppsala. Dissertations from the Faculty och Sciences. 568. Uppsala.
- Jansson, P-E & Halldin, S. 1980. Soil water and heat model. Technical description. Barrskogslandskapet's Ekologi. TR:26. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Kersten, M.S. 1949. Thermal properties of soils. - Inst. of Technology, Engineering Exp. Station. Bull. No. 28. Minneapolis.
- Lofs-Holmin, A. 1979. A pot method for field experiments with earthworms. Rapport 6. Institutionen för ekologi och miljövård. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Lundin, L. 1974. Markvattenfysikaliska undersökningar i skog och på kalhygge. Uppsala Universitet för 3-betyg. Avd. f. hydrologi. Uppsala.
- Lundin, L. 1979. Kalhuggningens inverkan på markvattenhalt och grundvattennivå. Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära nr. 36. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Mogensen, H.P. 1980. The ground as a heat source for heat pumps-performance and reactions. Proceedings of the XV International Congress of Refrigeration, vol. 4, s.839-845. Venedig.
- Petersen, M. 1981. Gräsplaener principper & funktioner. (A/S L. Daehnfeldt.) Odense.

- Pitman, D.H. 1973. Model 604 A ratescaler. As used with the model 225 soil moisture probe. Instruction and service manual. Weybridge.
- Satchell, J.E. 1969. Studies on methodological and taxonomical questions. *Pedobiologia*, 9, s.5-20.
- Skoglund, E. 1973. Markvattenmagasinets storlek och variationer i olika delar av de mellansvenska landskapet. Inst. f. kulturteknik. KTH. Rapport 3:II. Stockholm.
- Svensson, R. 1978. Sortförsök med gräs till gräsmattor 1968-1976. Trädgård 139. Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Ullström, K-E. 1961. SPF:s växtatlas. Stockholm: Sveriges Pomologiska förening.
- Wiklert, P. 1961. Om sambandet mellan markstruktur, rotutveckling och upptorkningsförlopp. Grundförbättring 4, årg 14 p.221-239.
- de Vries, D.A. 1975. Heat transfer in soils. - I: de Vries, D.A. & Afgan, N.H. (red.) Heat and Mass Transfer in the Biosphere. I. Transfer Processes in Plant Environment, S.5-28. Washington D.C.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
780635-4 från Statens råd för byggnadsforskning till
Institutionen för skoglig marklära, Sveriges
lantbruksuniversitet, Uppsala.**

R51:1982

ISBN 91-540-3689-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700551

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 30 kr exkl moms