

Miljø-, avlings- og kvalitetseffekter av jordpakking og jordløsning i potet og gulrot

Ref. nr. 201306955

Eldrid Lein Molteberg, NIBIO Apelsvoll

Prosjektrapport del 1: Mål og resultater

Med intensiv drift og stadig tyngre maskiner er jordpakking et stort og økende problem. Våte forhold og kjøring til ugunstige tider, noe som er vanlig i produksjon av poteter og grønnsaker, forsterker problemet. Det samme gjør utstrakt bruk av steinstrenglegging og fresing. Jordpakking øker jordas fasthet og senker luftvolumet, noe som hemmer rotvekst og opptak av vann og næring. Dette reduserer utnyttelsen av næringsstoffer og bidrar til økt utvasking, samtidig som faren for overflateavrenning øker.

Blant de mange faktorer som påvirker vekst og utvikling av kulturplanter er det få som kan anvendes innenfor ett dyrkingsår. Blant disse er art/sort, næringsforsyning, vanning og jordløsning.

Dette prosjektet har sett på betydningen av jordløsning på plantevekst, produktkvalitet og miljø. Deler av prosjektet har sett på jordløsning ved ulik grad av jordpakking. Jordløsning har tidligere gitt positive men svært varierende utslag i tidligere forsøk i både Norge, Sverige og Danmark.

Prosjekt mål:

Bedre avling og redusert miljøbelastning i potet og gulrot dyrking gjennom fysisk jordløsning.

Delmål 1: Økt kunnskap om betydningen av jordpakking og jordløsning på rotvekst og næringsstoffbehov i potet og gulrot (feltforsøk)

Delmål 2: Undersøke og demonstrere effekten av jordløsning på utnyttelse av næringsstoffer i potet (storskalafelt)

Forsøksopplegg

Aktiviteten i prosjektet har samlet bestått av 12 storskalafelt med og uten jordløsning i ulike viktige regioner for potet dyrking, samt et fastliggende felt på Apelsvoll med ulike kombinasjoner av jordpakking og jordløsning til potet og gulrot. Storskalafeltene var finansiert av Landbruksdirektoratet, mens det fastliggende feltet i hovedsak ble finansiert med strategiske midler fra NIBIO. Her ble midlene fra Landbruksdirektoratet brukt til å studere betydningen av ekstra nitrogengjødsling på effekten av jordpakking og mekanisk løsning. Hovedformålet med det tilgrensende prosjektet var å studere rotutvikling for poteter og gulrot.

Del 1: Feltforsøk med jordpakking og jordløsning i potet og gulrot – betydning for rotvekst og næringsstoffbehov

Det ble brukt forsøksopplegg med tre faktorer og fire gjentak; jordpakking på tvers i storruter, og jordløsning og gjødsling på langs. Feltet på Apelsvoll lå fast i 3-år med veksling mellom potet og gulrot på rutene. Dette ble gjort for å kunne studere akkumulerte effekter av behandlingene.

Tabell 1 angir viktige dyrkingsopplysninger for dette feltet, sammen med data for storskalafeltene i del 2.

Halve feltet ble pakket hjul- hjul med tung traktor (5,6 tonn) og 1,3 bars lufttrykk så snart det var kjørbart, men før opptørking av jorda. Deretter ble det frest, fårer ble hyppet opp og sorten Folva ble satt med 30 cm avstand. Løsningen foregikk med Dalbo Ratoon lånt fra Haugsveen & Fjeldstad, til ca 35 cm dybde. Ved høsting ble det gjort avlingsregistreringer og tatt ut prøver til analyse av størrelsesfordeling og kvalitet.

Del 2: Storskalafelt med jordløsning i potet

Det ble hvert år i 2013-2015 gjennomført fire storskalautprøvinger av jordløsning i nylig sette potetåkere på ulik jord. Jordløsner ble kjørt i deler av åkeren, og det ble merket fire høsteruter pr behandling på 2 rader*6m. Her ble avlingen registrert og det ble tatt ut prøver til analyser av størrelsesfordeling og kvalitet.

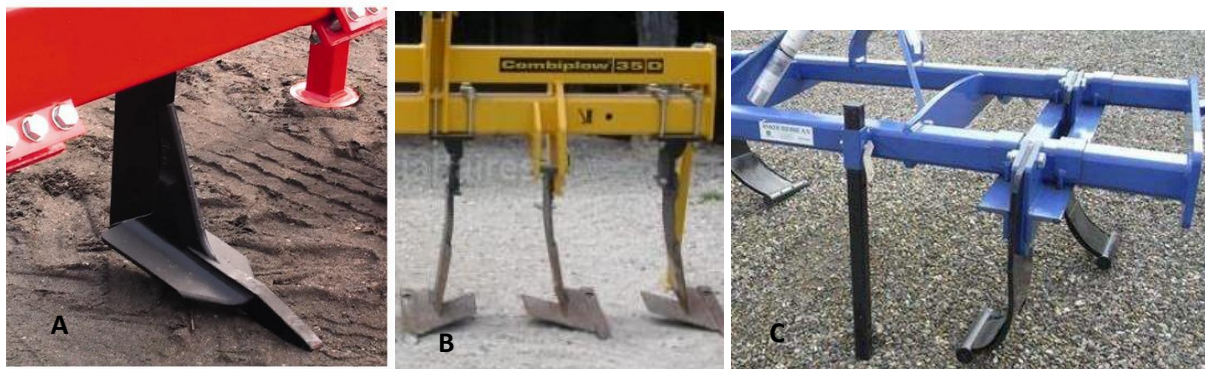
Tabell 1 inneholder viktige opplysninger om de ulike feltene som inngår i undersøkelsene (inkudert det fastliggende potetfeltet på Apelsvoll). Med unntak av feltet på Apelsvoll lå feltene på silt, sandig silt eller siltig sand.

I forsøkene ble det brukt tre ulike typer jordløsner; Dalbo Ratoon, Agrisem combiplow og HE-VA combitiller med bedformer (tabell 1). Prinsippet er det samme ved at skjær går ned og under fåra slik at fårene «løftes» under kjøring, men det er noe ulik utforming av skjærene.

Heva subtiller (A) er en grubber med en v-form som begrenser trekkraftbehovet. Tannspissen har et 200 mm vingeskær som løfter og løsner jorden.

Agrisem combiplow (B) har en tannvinkel på 9°. Den løfter jorden vertikalt med en rullende bølgebevegelse

Dal-Bo Ratoon (C) er en grubber med to sett tannrekker med avstand på 75 cm. Grubberen krever 20 Hk per tann og løsner 1,2 m per tannsett. Den kan leveres med steinutløser.



Dybden som ble brukt i feltene varierte noe, men var mellom 30 og 40 cm for alle felt, dvs alltid under ploglaget (tabell 1). Det var stor variasjon i tidspunktet for løsning, men operasjonen ble for 11 av 15 felt utført innen 13 dager etter setting. Tabell 1 beskriver videre sort og veksttid, gitt ved datoene for setting og vekstavslutning. Kolonnen for nedbør siste 10 dager før løsning sier noe om fuktighetsforholdene ved løsning.

Tabell 1. Grunnopplysninger om jordløsningsfeltene

Felt	Jordtype	Sort	Utstyr/ca cm løsnedybde	Sette-dato	Ant. vekst-døgn	Regn 10 d. før løsn., mm	Ant. d. setting-løsning
Apelsvoll 2013	Lettleire	Folva	Dalbo/35	31.5	115	40	12
Apelsvoll 2014	Lettleire	Folva	Dalbo/35	20.5	92	14	13
Apelsvoll 2015	Lettleire	Folva	Dalbo/35	9.6	93	8	13
Elverum 2013	Siltig sand	Peik	Dalbo/40	5.5	129	15	39
Rena 2014	Silt	Mandel	Dalbo/30-40	22.5	104	20	6
Rena 2015	Silt	Mandel	Dalbo/35	5.6	93	56	0
Solør 2013	Sandig silt	Innovator	Agrisem/40	4.6	105	24	2
Solør 2014	Siltig sand	Innovator	Agrisem/40	27.4	148	1	6
Solør 2015	Sandig silt	Innovator	Agrisem/40	7.5	145	34	2
Kvelde 2013	Sandig silt	Asterix	Dalbo/40	1.6	97	26	11
Målselv 2013	Sandig silt	Gulløye	HE-VA/35-40	31.5	95	0	12
Målselv 2014	Sandig silt	Gulløye	HE-VA/30-35	4.6	90	0	6
Målselv 2015	Sandig silt	Gulløye	HE-VA/30-35	7.6	107	13	23
Stjørdal 2014	Siltig sand	Asterix	Agrisem/40	21.5	125	20	51
Stjørdal 2015	Siltig sand	Saturna	Agrisem/40	6.5	ca 130	41	69

Resultater avling og kvalitet

Del 1: Fastliggende felt på Apelsvoll med jordpakking og jordløsning i potet og gulrot

a. Potet

Tabell 2 og 3 viser resultater fra det fastliggende jordarbeidingsfeltet i potet i gjennomsnitt for tre år.

Tabell 2. Resultater for fastliggende pakkefelt på Apelsvoll, potet 2013-2015. Avling og kvalitet (P% gitt ved P%<30).

	Total avling kg/daa	Avl >40 mm	<40 mm, %	40-50 mm, %	50-60 mm, %	60-70 mm, %	>70 mm, %	Tørrstoff, %	Grønt, vekt%	Vekstsprekk vekt%	Misform, vekt%
Gjødsel. 9kg N	3739	3385	9,5	43,8	39,5	6,9	0,3	21,4	6,6	1,8	2,4
Kontroll	3661	3286	10,4	48,1	35,9	5,6	0	21,5	3,6	0,6	1,4
Løsnet	3825	3525	8,0	42,2	43,4	6,1	0,3	21,3	8,2	2,4	2,4
Pakket	3558	3221	9,4	44,0	39,1	7,2	0,3	21,5	7,3	2,7	2,9
Pakk.+løsn.	3912	3507	10,2	40,9	39,7	8,4	0,7	21,3	7,2	1,5	3,0
Gjød. 13kg N	4333	3987	8,0	40,6	40,5	9,9	1,0	20,9	7,6	0,8	2,2
Kontroll	4259	3916	8,0	44,6	38,9	7,7	0,6	20,8	6,5	0,4	1,8
Løsnet	4398	4038	8,1	38,9	39,7	13,1	0,3	20,9	10,3	0,6	1,5
Pakket	4165	3796	9,1	40,4	38,9	11,3	0,4	21,0	5,9	0,8	3,3
Pakk.+løsn.	4509	4198	6,8	38,3	44,6	7,7	2,6	21,0	7,8	1,4	2,3
P% Gjødsel	0	0	2,7	3,8		1,0	9,4	0	31	6,2	62
P% Pakking				10			8,6			28	2,4
P% Løsning	0,2	0,1	17	0,8	2,1		11		1,4		

Tabell 2. Resultater for fastliggende pakkefelt på Apelsvoll, potet 2013-2015. Skurv i % overflatedekning eller 1-9, hvor 9 er best (P% gitt ved P%<30)

	Skurv 1-9	Flatskurv, %	Vorte- skurv, %	Svartskurv sklerot, %	Svartsk.- arr, %	Sølv- skurv, %	Svartprikk , %
Gjødsling 9 kg N	7,1	4,7	0,1	1,0	0,75	0,03	0,19
Kontroll	7,6	2,8	0,1	0,8	0,6	0,06	0,2
Løsnet	7,0	4,3	0,0	1,4	0,6	0,01	0,2
Pakket	6,8	6,5	0,3	0,8	0,8	0,0	0,2
Pakk.+løsn.	6,8	5,3	0,2	1,1	1,1	0,03	0,3
Gjødsling 13 kg N	7,1	4,2	0,2	0,8	0,43	0,04	0,40
Kontroll	7,3	3,4	0,2	0,3	0,3	0,03	0,4
Løsnet	7,2	5,0	0,1	0,8	0,5	0,04	0,3
Pakket	6,9	4,5	0,3	0,7	0,4	0	0,6
Pakk.+løsn.	7,1	3,8	0,2	1,4	0,5	0,08	0,3
P% Gjødsel				27	0,7		1,3
P% Pakking	7,4	19	17		8,7		
P% Løsning				1,3	15		

Gjødsling med 4 kg nitrogen ekstra ga i middel for tre år en avlingsøkning på 600 kg, samtidig med økende andel store knoller. Tørrstoffinnholdet ble redusert med 0,5%-enheter, med økende forskjell over tre år (0,1-0,5-0,8%-enheter de tre årene, ikke vist). Det var en liten men statistisk sikker reduksjon i mengden vekstsprekke (alle 3 år) og svartskurv (funnet i 2 år), og tilsvarende økning i svartprikk (kun funnet i 2013). Det var lite bløttråte, tørråte eller indre feil og ikke sikre utslag.

Ekstra pakking hadde relativt mindre effekt enn gjødsling på avling og kvalitet, men andelen misformede knoller viste i gjennomsnitt en sikker økning fra 1,8 til 2,9% ved pakking. Dersom det bare sammenlignes pakking av uløsnede ledd (tabell 4) er det sterk tendens til økte forekomst av både flatskurv, misform og vekstsprekke etter pakking.

Tabell 5 viser utseende etter siste års dyrking i fastliggende felt. Det var tendenser til mørkere farge (mer brun enn gul) i ruter som var pakket uten løsning.

Tabell 4. Ytre og indre feil i uløsnede ledd, - effekt av jordpakking i middel for 2013-2015

	Skurv 1-9, 9 er best	Flatskurv, % av overflata	Misform, vekt %	Vekstsprekke, vekt %
Kontroll	7,4	3,1	1,6	0,5
Pakket	6,9	5,5	3,1	1,7
P% pakking	6,2	10	6,4	4,5

Tabell 5. Helhetsvurdering av knollutseende desember 2015 (9 er beste helhet og mest gul).

	Helhet 1-9		Farge 1-9	
	9 kg N	13 kg N	9 kg N	13 kg N
Middelverdi	8.0	8.3	8.1	8.4
Kontroll	8.5	8.3	8.8	8.8
Løsnet	8.3	8.3	7.8	8.5
Pakket	7.3	8.5	7.8	8.0
Pakk.+løsn.	8.0	8.0	8.3	8.3

*P=3,5% samspill pakking*løsning ved vurdering av farge, ellers ikke sikre effekter på 5% nivå

Tabell 6 viser separate avlingseffekter av gjødsling, pakking, løsning og år på totalavling.

I middel for andre behandlinger ga jordløsning en avlingsøkning på 251 kg (gjennomsnitt av 152 og 349 kg), tilsvarende 6,2%. Tilsvarende for avling over 40 mm er 263 kg (ikke vist). Effekten av jordløsning på avling var større for pakkede ledd (350/344 kg for hhv totalavling/>40mm) enn for upakkede ledd er (hhv 152 og 180 kg). Løsning økte andelen grønne knoller, og mest i leddene som ikke var pakket (tabell 2).

Tabell 6 for total avling viser en økende effekt av løsning for de tre årene. Løsningseffekten øker mest over år for pakkede ledd. Kolonnen med middel for begge gjødselmengdene viser tilnærmet lik effekt av løsning for upakkede og pakkede ruter i 2013 (+96/98 kg, tilsvarende 2,5%), mens det i 2014 var dobbelt så stor effekt på pakkede ruter (+292 kg (7,1%) mot 140 kg (3,3%)), og i 2015 tre ganger større effekt på ruter med akkumulert pakking over tre år (658 kg, 18%) enn for upakkede ruter (220 kg, 5,7%).

Kolonnene i tabell 6 der 9 og 13 kg N er gitt hver for seg, viser at forskjellen mellom svak og sterk gjødsling varierte mellom år, med ca 1000 kg mer for 4 kg N ekstra i 2013 til ca 370 kg høyere avling i snitt i 2014 og 2015. Avlingseffekten på løsning var i 2015 tilnærmet den samme for de to gjødslingsnivåene, noe som kan tyde på at effekten av jordløsning ikke påvirkes systematisk av ekstra nitrogengjødsling.

Pakking viste seg å ikke ha udelt negativ effekt på avling og kvalitet når det ble kombinert med løsning. Særlig går dette fram av tallene for 2015, da ledd med kombinasjonen pakking og løsning fikk ca 6% høyere avling enn kontrollen både ved 9 og 13 kg N. Tallene for uløsnede ledd i 2014 og 2015 (-3,3 til -6,3%) tyder imidlertid på avlingsreduksjon over tid om det ikke gjøres tiltak.

En annen interessant sammenligning tyder at det akkumulerte avlingstapet av jordpakking (uten løsning) over tre år er større enn den positive effekten av ekstra gjødsling. Vi ser av tabell 6 at pakket ledd med 13 kg N (uløsned) i 2015 ga 3845 kg/daa, noe som er på nivå med eller lavere enn begge de løsnede leddene med 9 kg N/daa. De første årene (2013 og delvis 2014) ga alle ledd med 13 kg N høyere avling enn leddene med 9 kg N.

Tabell 6. Effekter av gjødsling, pakking, løsning og år på totalavling (kg/daa).

	9kg N		13 kg N		Middel gjødsling		Eff. av pakking,%	
	Upakket	Pakket	Upakket	Pakket	Upakket	Pakket	9kg	13 kg
2013 - løsning	-123	-26	315	222	96	98		
2013-uløsned	3342	3396	4191	4274	3767	3835	+1,6	+2,0
2013-løsned	3219	3370	4506	4495	3863	3933	+4,7	-0,2
2014 - løsning	430	432	-150	152	140	292		
2014-uløsned	3954	3825	4577	4376	4265	4100	-3,3	-4,4
2014-løsned	4384	4257	4427	4528	4405	4392	-2,9	+2,3
2015 - løsning	186	656	254	660	220	658		
2015-uløsned	3686	3452	4008	3845	3847	3649	-6,3	-4,1
2015-løsned	3873	4109	4262	4505	4068	4307	+6,1	+5,7
Middel tre år	164	354	140	345	152	349	0	+0,2
Middel uløsned	3661	3558	4259	4165	3960	3861		
Middel løsned	3825	3912	4398	4509	4112	4211		

b. Gulrot

Resultatene fra 2013 er for sorten Natalja, de to neste årene et gjennomsnitt av Natalja og Triton. I 2015 var røttene små og ble bare sortert i friske og frasorterte, mens de 2013 og 2014 ble delt opp i grenede og sprukne.

Tabell 7 viser effekter av løsning, gjødsling og pakking i ulike år. For behandling 'upakket' var avlingsnivået generelt høyere ved 9 enn 13 kg N. For salgbar avling var 9 kg upakket+uløsnet høyest i alle tre år. Dette er i samsvar med tidligere undersøkelser som viser at gulrot ikke trenger mye gjødsel og kan respondere negativt på økt gjødsling.

Avlingsreduksjon av pakking på totalavling var i gjennomsnitt 441 kg eller 10,3%. For salgbar avling var tallene 390 kg (14,4%). Pakking ga størst reduksjon ved behandling med løsning i 9 kg N i 2013 og ved 9 kg N med/uten løsning i 2015 (hhv 43% og 37% avlingstap). Også ved 13 kg N i 2015 var tapet betydelig, om enn noe mindre (18-26%). Avlingstapet etter pakking var noe mindre når det ble gjødslet med 13 kg N enn ved 9 kg N, noe som tyder på at økt gjødsling kan kompensere noe for avlingstap ved pakking. Dette gir seg også utslag i at pakkede ledd viser avlingsøkning fra 9 til 13 kg for fire av seks kombinasjoner, mens det oftest er avlingstap ved økt gjødsling for upakkede ledd.

Løsning, som alle år ble gjennomført kort tid etter såing, ga store avlingstap i 2013, moderate tap i 2015 og en liten økning i total og salgbar avling for 13 kg N i 2014. I 2014 økte mengden frasortert i alle ledd, noe som primært skyldtes forgrenede røtter.

Resultatene tyder på at avlingstap ved pakking til en viss grad kan kompenseres med økt tilførsel av N-gjødslingen. Likevel var det kun ett av tre år (2014) det i pakket jord lønnte seg avlingsmessig å kombinere økt N-gjødsling og løsning etter setting, kontra å normalgjødsle uten løsning. Til regnestykket kommer også gjødselkostnader, kostnader med jordløsning og utvasking av nitrogen. Resultatene viser at det er for stor risiko forbundet med jordløsning av gulrot etter såing, da dette forstyrrer spireprosessen.

Tabell 7. Effekter av gjødsling, pakking, løsning og år på totalavling (kg/daa).

	9kg N		13 kg N		% tap v/ pakking	
	Upakket	Pakket	Upakket	Pakket	9 kg N	13 kg N
2013 - løsning						
2013-uløsnet	7144	6891	6732	6477	-3.5	-3.8
2013-løsnet	6518	3717	5261	5021	-43.0	-4.6
2014 - løsning						
2014-uløsnet	3898	3918	3337	3469	0.5	4.0
2014-løsnet	4047	3870	4202	4692	-4.4	11.7
2015 - løsning						
2015-uløsnet	2063	1287	1859	1378	-37.6	-25.9
2015-løsnet	1818	1148	1552	1276	-36.9	-17.8
Middel 2013-15	4248	3472	3824	3719	-20.8	-6.1

Tabell 7. Effekter av gjødsling, pakking, løsning og år på avling (kg/daa) av salgbare og utsorterte røtter.

	Salgbar				Utsortert			
	9kg N		13 kg N		9kg N		13 kg N	
	Upakket	Pakket	Upakket	Pakket	Upakket	Pakket	Upakket	Pakket
2013 - løsning								
2013-uløsnet	5142	4840	4281	4000	2002	2051	2451	2478
2013-løsnet	4347	2273	3297	3253	2172	1444	1965	1768
2014 - løsning								
2014-uløsnet	2752	2491	2038	2076	1101	1331	1269	1316
2014-løsnet	2086	1944	2164	2330	1855	1779	1954	2220
2015 - løsning								
2015-uløsnet	1541	938	1319	1066	398	279	421	301
2015-løsnet	1486	870	1288	978	294	259	246	283
Middel 2013-15	2892	2226	2398	2284	1304	1191	1384	1394
Middel uløsnet	3145	2756	2546	2381	1167	1220	1380	1365
Middel løsnet	2640	1696	2250	2187	1440	1161	1388	1424

Del 2: Storskalafelt med jordløsning i potet

Tabell 8 viser avlingsnivå og effekt av jordløsning på avling og størrelse i gjennomsnitt for 14 av de 15 feltene beskrevet i tabell 1. Feltet i Stjørdal 2015 er holdt utenfor gjennomsnittet, grunnet sterkt avvikende resultater og svært sen jordløsning (69 dager etter setting). I middel for 14 av 15 felt viser resultatene en avlingsøkning ved jordløsning på 3,2% for totalavlinga, og på 6,6% (227 kg i middel) for fraksjonen over 40 mm. Forskjellene var statistisk sikre, det samme var reduksjonen i andelen under 40 mm, som i middel ble redusert fra 21,2 til 19,1% (ikke vist). Økningen i andel 50-60mm var fra 26,6 til 29% (ikke statistisk sikker, dvs P%>5), mens andelen 40-50 mm og > 60 mm i gjennomsnitt var nokså stabil.

Tabell 8. Avlingsnivå og effekt av jordløsning på avling og størrelse i middel for 14 felt. Feltet i Stjørdal 2015 er ikke med i middelverdiene

	Total avling	Avl >40 mm	Kg/daa < 40 mm	Kg/daa 40-50 mm	Kg/daa 50-60 mm	Kg/daa60-70 mm	Kg/daa >70 mm
Uløsnet, kg/daa	4250	3438	805	1408	1234	632	170
Løsnet, kg/daa	4386	3664	711	1468	1351	712	145
Kg/daa endring	+137**	+226**	-94**	+60	+118	+80	-26
% endring	+3,2%	+6,6%	-4%	-0,9%	+1,0%	+1,0%	-1,0%

Tabell 9 viser tilsvarende tall for de ulike feltene, delt inn etter dyrkingssted. Effekten av jordløsning på avling og knollstørrelse varierte mellom felt og år.

Det var ingen eller svakt negativ effekt av jordløsning i middel for 2013, mens det var god effekt av løsning i 2014 og 2015. Dette gjelder på de fleste lokaliteter. Totalavlinga økte mest i 2015 (med unntak av Stjørdal), mens sorteringsutbyttet over 40 mm økte mest i 2014, knyttet til feltene på Rena og i Stjørdal og Målselv.

Sen jordløsning kan påvirke røttene negativt, noe som forklarer avlingstapene i Heradsbygd 2013 og Stjørdal 2015, med løsning henholdsvis 39 og 69 dager etter setting. Tabell 2 viser imidlertid at det ikke er noen god sammenheng mellom avlingsendring og tid mellom setting og løsning.

Nedbørsmengdene i perioden før løsning kunne ventes å ha betydning for resultatet, da tørre forhold under løsning er viktig for ikke å gi pakking i undergrunnen. Imidlertid er nedbørsmengdene før setting relativt like i 2013 og 2015 (tabell 1) og kan dermed ikke forklare forskjellene.

Effekten av jordløsning kan likevel være påvirket av været. For selv om august 2015 var varmere enn normalen, og særlig i Trøndelag og Nord-Norge, var våren og forsommeren relativt kjølig og fuktig i alle landsdeler. Dette kan ha bidratt til mer kompakt jord og dårligere forhold for rotvekst, og en positiv effekt på drenering og lufttilgang ved å jordløse. I 2014 var det varmt første halvdel av juni, og fra juli til ca 10. august. Det er derfor mer sannsynlig at nytteeffekten dette året kan knyttes til bedre rotutvikling som ga bedre nærings- og vannopptak i den varme perioden. Året med minst effekt av løsning, 2013, hadde til sammenligning mer jevne temperaturforhold, men med tørre forhold på Østlandet i juli.

Tabell 9. Avlingsnivå og effekt av jordløsning på avling og størrelse i ulike felt.

	Avling i uløstnet ledd, kg/daa		Effekt av løsning, % endring		Effekt av løsning på kg/daa i fraksjonene				Dager til løsning
	Total avling	>40 mm	Total avling	kg>40 mm	< 40 mm,	40-50 mm,	50-60 mm	>60 mm	
2013 Toten	3801	3439	+3	+3	0	-219	137	178	12
2014 Toten	4251	3929	+2	+3	-17	50	188	-128	13
2015 Toten	3748	3348	+12	+14	-47	-66	470	83	13
2013 Heradsbygd	5013	4458	-9	-7	-146	-203	-105	10	39
2014 Rena	3960	630	-9	+32	-477	87	21	0	6
2015 Rena	2425	1328	+7	+3	134	-34	60	0	0
2013 Kongsvinger	5663	5432	+1	-4	140	-215	-490	594	2
2014 Kongsvinger	5368	5361	+10	+10	-7	-99	122	521	6
2015 Kongsvinger	5586	5586	+9	+9	7	-60	913	-368	2
2013 Kvelde	4711	4063	+9	+7	87	384	-63	-8	11
2013 Målselv	3446	3224	-1	-5	116	472	-507	-125	12
2014 Målselv	3716	2000	+5	+36	-559	439	312	0	6
2015 Målselv	2967	1578	+7	+23	-168	136	241	0	23
2014 Stjørdal	4853	3761	+3	+13	-376	164	345	0	51
2015 Stjørdal	2732	1787	-23	-40	24	-177	-380	-102	69

Sammendraget for de fire regionene med felt i tre år (Tabell 10) viser at det var minst like sikker effekt i feltene på lettleire (Toten) som i de øvrige feltene med silt/sand. Effekten på lettleire var størst i 2015. En medvirkende årsak til dette kan være at det er et fastliggende felt med ekstra jordpakking om våren på deler av feltet i tre år. Selv om tallene som brukes her er middeltall av upakkede og pakkeledd indikerer resultatene at pakket lettleire kan ha god nytte av dyp løsning.

Tabell 10. Avling og størrelse for områder med felt i tre år (middel 2013-15)(P% oppgitt <30)

	Total avling kg/daa	Avl >40 mm kg/daa	% < 40 mm	% 40-50 mm	% 50- 60mm	% 60- 70mm	% > 70mm
Toten	P% 4,2	P% 1,7	P% 8,1	P% 1,3	P% 0,4		P% 21
Uløsnet	3933	3572	9,2	44,4	37,7	8,2	0,4
Løsnet	4138	3800	8,2	40,0	42,4	8,6	0,9
Solør	P% 3,9	P% 8,5	P% 5,5	P% 27	P% 27		
Uløsnet	5551	5491	1,0	10,3	32,4	41,5	14,8
Løsnet	5939	5822	1,7	8,0	36,3	43,0	10,9
Hedmark	P% 13						
Uløsnet	3603	2023	46,1	38,5	12,9	2,3	0
Løsnet	3439	2003	45,1	37,4	14,6	2,9	0
Målselv	P% 29	P% 6,3	P% 4,2	P% 0,7			
Uløsnet	3376	2267	33,4	42,4	19,8	4,5	
Løsnet	3495	2583	26,2	50,5	20,0	3,3	

I forhold til friskt ris ga løsning i 9 felt med registreringer en økning i andel friskt ris ved vekstavlutning i 4 felt (Kvelde, Vestfold 2013 + Målselv alle år), en svak reduksjon i 2 felt og samme andel friskt ris i 3 felt . Feltene med lavere andel friskt ris (Heradsbygd 2013 og Stjørdal 2015) hadde begge negativ avlingseffekt av løsning.

I middel for alle felt var det ingen effekt av jordløsning på tørrstoffinnhold. Det var imidlertid en statistisk sikker reduksjon i tørrstoffinnhold i gjennomsnitt for 2013 (1,8% i Solør, ellers 0,1-0,4 %-enheter) og for de tre feltene på Toten (0,3% i middel for år). 2014-feltene i Solør og Målselv hadde tendens til tørrstofføkning.

For de ulike kvalitetsfeilene var det utslag i enkeltfelt enkelte år. I middel for 14 felt var det tendens til at andelen misformede poteter økte (2,5 til 3,4%, P=15%). Andelen grønne knoller hadde tendens til økning med løsning i noen felt, men ble lavere med løsning i andre felt. Det var ingen endringer i andel vekstsprek. Løsning reduserte angrepet av flatskurv i Solør-feltene i 2014 og 2015 (middel for 3 år 7,7% av overflaten for uløsnet og 1,2% for løsnet, P=3%). Mengden flatskurv ble ikke påvirket i andre felt. For svartskurv ga løsning en liten økning i seks av feltene (P% 5-20), men det var under 2% overflatedekning i alle felt. To av feltene hadde en del indre defekter og sikker effekt av løsning på disse. I Målselv 2013 ble forekomsten av indre brunfleck redusert fra 11 til 3,5 vekt-% ved løsning, mens løsning i Stjørdal 2015 reduserte indre defekter fra totalt 43 til 28%. I potetene fra de løsnede rutene ble det funnet betydelig mindre brunfleck (sentralnekrose, redusert fra 41 til 10 vekt-%), samtidig som andelen rustflekker økte betydelig (fra 2,3 til 18%).

Miljøeffekter

Plantetilgjengelig nitrogen etter høsting

Det ble i de fleste potetfeltene målt innhold av plantetilgjengelig nitrogen (Nmin) i jorda rett etter høsting. Plantetilgjengelig nitrogen i jorda består av nitrat-nitrogen og ammonium-nitrogen, der summen blir benevnt som Nmin (mineralisert nitrogen). Nitratdelen utgjør gjerne fra 50 til 95 prosent, avhengig av gjødsling og forholdene for mineralisering.

I våre felt var det moderate nivåer av nitrogen etter høsting i de aller fleste felt (ca 300 µg /100 g tørr jord, tilsvarende 0,75 kg N). Det var ikke sikre forskjeller mellom løsnede og uløsnede ledd for noen

av de undersøkte storskalafeltene. Unntaket var noe høyere nitrogeninnhold i løsnet jord i Hedmark 2014, og generelt høye innhold av nitrat-N i Solør 2014 (>1100 µg eller 2,75 kg).

Tabell 11. Nitrogen i jord (0-20 cm) rett etter høsting 2013-2015, gitt som µg / 100 g. Effekt av dyp løsning. N=2 for storskalafelt (ved store sprik er begge målinger gitt). For Apelsvoll er de to verdiene hhv uten og med pakking (13 kg).

		NO3-N	NH4-N	Nmin	Vekt% vann
Apelsvoll 2013	uten løsning	196/246	117/132	313/378	13,8
	med løsning	230/204	150/105	380/309	13,7
Viken 2013	uten løsning	226/141	193/140	419/281	24,5/20,0
	med løsning	174/209	193/157	367/366	23,4/25,4
Apelsvoll 2014	uten løsning	276/130	85/109	361/239	20,5
	med løsning	251/147	96/93	348/240	19,4
Hedmark 2014	uten løsning	70/103	231/299	301/401	19,7/24,1
	med løsning	47/314	384/196	431/510	25,9
Solør 2014	uten løsning	2361/1278	122	2475/1408	30/34,6
	med løsning	1274/986	159/101	1433/1087	32,3/35,1
Nord 2014	uten løsning	186/78	176	364/252	8,4/15,0
	med løsning	97	178/221	278/315	17,1/24,4
Apelsvoll 2015	uten løsning	320/337	87/99	408/436	14,5
	med løsning	380/275	142/94	523/369	14,5
Hedmark 2015	uten løsning	54	230/75	281/132	14,8/10,0
	med løsning	35	141	176	14,5
Solør 2015	uten løsning	360/130	164/85	524/215	19,9
	med løsning	134	104	239	20,2
Stjørdal 2015	uten løsning	214/424	69/107	284/530	13,8/19,5
	med løsning	228	77	304	19,8
Nord 2015	uten løsning	95/150	87/108	182/258	21,5/18,8
	med løsning	247/123	124/110	371/232	19,9/16,8

På det fastliggende feltet på Apelsvoll ble det målt nitrogen i jord i de ulike kombinasjonene av pakking og løsning alle tre år (tabell 11 gir verdiene uten/med pakking for 13 kg N, 0-20 cm dybde). Det var ikke sikre forskjeller mellom jordarbeidingsledd i noen av årene. I 2013 ble begge gjødslingsnivåene analysert, og det var sikre forskjeller mellom 9 og 13 kg tilført N, med ca 20% høyere verdier for 13 kg N. Målinger i to dybder (0-20 og 20-60cm) i 2014 viste ca 50% lavere ammonium-N i dypere sjikt, men ellers ingen forskjeller.

Resultatene, med moderate nivåer av plantetilgjengelig nitrogen og ingen effekt av jordløsning, tyder på at jordløsning vanligvis ikke påvirker mengden lett utvaskbart nitrogen om høsten. Dette kan ha sammenheng med at mengde lett tilgjengelig nitrogen også påvirkes av andre forhold enn næringsopptak, ikke minst graden av mineralisering.

Infiltrasjonsegenskaper i jord

I feltene på Apelsvoll ble det etter siste forsøksår gjennomført infiltrasjonsmålinger for å se på evnen de ulike leddene har til å drenerer unna vann. Gode dreneringsegenskaper er viktig for å unngå overflateavrenning som tar med seg jord og næringsstoffer, og for å unngå at vann blir stående i forsøkninger i terrenget, med påfølgende drukning og avlings- og kvalitetstap.

Målingene er gjort ved å ta tiden på hvor raskt vannet synker i sylindere som er presset delvis ned i jorden, og som står under tilnærmet likt vanntrykk. Resultatene viser at det løsenede leddet uten pakking drenerer vannet rasket unna, mens leddet som bare er pakket drenerer vannet dårligst. Det ubehandlede leddet og leddet som både er pakket og løsnet har omtrent samme drenerende egenskaper.

CO₂-regnskap

Det er stor usikkerhet i de anvendte tallene, og dermed også til CO₂-regnskapet knyttet til jordløsning i potet. Oppsettet under gir imidlertid en pekepinn på kostnader og nytte knyttet til jordløsning i potet.

I forutsetningene er dieselforbruket for 1 daa hentet fra tyske beregninger. Utgangspunktet er traktor (67kw) + 3 skjærs plog (1,05m bred), som ved pløyedybde på 25 cm og middels jordmotstand bruker 2,4 l diesel/daa (KTBL 2002). Det beregnes et tillegg på 1l/daa for 10 cm dypere arbeidsdybde (ca. 0,1l diesel per ca dybde pr daa) (Moitzi et al. 2006). Videre beregnes 1 l diesel å tilsvare 2,8- 3.1 kg CO₂ ekvivalenter (CE) inkl. produksjon (<http://www.transportmiljo.no/tema/nokkeltall/vei/>).

Ekstrakostnadene (i CE) pr daa blir da:

Dieselforbruk for 35 cm løsneddybde: ca 3,4 l diesel,

- tilsvarende i CO₂-ekvivalenter pr daa = 9,5-10,5 CE pr daa

Beregninger gjort på karbon-footprint fra potetproduksjon i Skottland (Hillier et al. 2009) viser et omtrentlig utslipp på knapt 100 CE/daa/år for potet. Nitrogen-gjødsling utgjør største andelen av dette, gjennom produksjon og tap av lystgass. For potet er CO₂-utslippet relativt sett høyere enn for korn pr daa, mens utslippet pr kg vare blir mye lavere enn for korn.

Gevinsten av jordløsning (i CE) pr daa kan beregnes ut fra gjennomsnittlig avlingsøkning i prosjektet: Økning på 6,6% for en middelavling (> 40 mm) på 3400 kg = 224 kg potet

Dette innebærer at samme avling (3400 kg) med jordløsning kan produseres på 0,938 daa mot 1daa uten løsning. Med antatt utslipp på 100 CE-ekvivalenter pr daa og år tilsvarer dette en besparelse på ca 6,2 CE.

Med forbehold om usikkerhet i beregningsgrunnlaget og mangel på gode tall for ulike norske forhold viser beregningene at avlingsøkningen av potet med jordløsning langt på vei kompenserer for CO₂-utslipp forårsaket av ekstra jordarbeiding.

Økonomiske betraktninger

Økonomiske beregninger for mekanisk jordløsning tilsier kostnader på omkring 50-70 kr/daa. Thor Erik Stensbøl har beregnet kapasiteten for sin Agrisem Combiplow til 6 daa/time og kostnaden til 70 kr/dda (Berger 2014), mens danske beregninger bruker 40 kr/daa. Med en gjennomsnittlig brutto kg-pris for potet på ca 2 kr vil det kreve en meravling på 30-40 kg for at operasjonen skal betale seg. Dette tilsvarer ca 1,75% avlingsøkning på 2 tonn og 1% avlingsøkning på 3,5 tonn. I gjennomsnitt for 14 av de 15 forsøkene i dette prosjektet ble det oppnådd avlingsøkning på 6,6% for avling over 40 mm.

Diskusjon/oppsummering

Dyrking av poteter og rotvekster i utgangspunkt er en klimavennlig produksjon med lite utslipp av klimagasser pr kg produkt. For ytterligere å optimalisere produksjonen er det viktig å legge til rette for behandlinger som kan øke nitrogenutnyttelsen og gi størst mulig avling med samme mengde innsatsfaktor.

Jordpakking er en stor utfordring miljømessig og dyrkingsmessig. Pakket jord gir dårligere infiltrasjonsevne for vann og større fare for avrenning og gir også større tap av lystgass. Poteter vokser dårlig i pakket jord og tåler vassjuk jord dårlig. Dyp jordløsning er et tiltak som brukes for å bryte plogsålen, slik at potetplantens røtter kan strekke seg nedover og få tak i vann og næring i dypere jordlag, samtidig som overflødig vann lettere dreneres bort.

Våre resultater viser at jordløsning i middel for 15 potetfelt og 3 år har gitt drøyt 6% økt avling i fraksjonen over 40 mm, hvorav 6 felt hadde minst 10% avlingsøkning. Tilsvarende middeltall fra våre naboland er ca 7% i middel i Sverige (Ekelöf) og 3-5% i Danmark (Dam 2013). Jordløsning ga positiv effekt på alle undersøkte jordarter og det var kun svært sen løsning som tydelig hadde negativ effekt

For å oppnå ønsket resultat av jordløsning er det viktig at operasjonen utføres riktig. Best effekt oppnås etter setting, men før rotveksten har kommet godt i gang, dvs innen 1-2 uker. Samtidig er det viktig at jorden er tørr også nedover i profilen. Fra tidligere undersøkelser i Norge vet en at mekanisk jordløsning under ugunstige forhold kan skade jordstrukturen, enten ved at jorda blir mer ustabil eller ved at det medfører ytterligere jordpakking i dypere lag (Riley 1986). Kjøring senere i sesongen (hypping, sprøyting) vil delvis pakke fåra på nytt, men danske erfaringer med mekanisk ugrasrensing tyder på at mye av jordløsningseffekten likevel beholdes (Pedersen og Nielsen).

Erfaringer fra naboland tilsier at avlingsøkningen blir størst der det ikke vatnes og om jorda i utgangspunktet er pakket. Effekten forventes å være størst på sandjord. Løsning kan gi enkelte utfordringer ved høsting ved at knollene er ansatt noe dypere, samt at tung jord kan bli løs å kjøre på, særlig ved våte innhøstingsforhold.

For gulrot kan ikke praksisen med jordløsning etter såing anbefales, da dette forstyrres jorden rundt frøene for mye. Forsøkene i gulrot har ellers bekreftet at gulrot har lavt nitrogenbehov og ikke drar nytte av høye nitrogenmengder. I motsetning til potet tyder forsøkene i gulrot på at økning i N-mengdene til en viss grad kan kompensere for pakkeskader. Uavhengig av gjødslingsnivå og vekst vil imidlertid pakking forverre miljøkonsekvensene og begrense vekstenes avlingspotensiale. Økt gjødsling, i et forsøk på å kompensere avlingstapet ved pakking, vil derfor i alle tilfelle føre til ytterligere tap av næring gjennom luft, jord og vann.

I dette prosjektet var det i de fleste felt en positiv effekt av jordløsning på avling av potet. Utført riktig kan dyp jordløsning drar til bedre utnyttelse av tilført næring og redusert risiko for overflateavrenning og druknet avling. Imidlertid gir ikke resultatene belegg for å se på jordløsning som en quick-fix-metode for å løse utfordringene rundt jordpakking. Isolert sett øker metoden klimautslipp og behovet for drivstoff, samtidig som risikoen øker for enda alvorligere pakking i dypere jordlag og også for vanskelige innhøstingsforhold. Som tiltak for å oppnå gode dreneringsforhold i åkeren bør stimulering av grøfting betraktes som en mer bærekraftig strategi.

I forhold til jordpakking og jordløsning er det fremdeles uløste problemstillinger. Det ville for eksempel være nyttig å vite mer om omfanget av pakkeproblemer i norsk jordbruk generelt og potetdyrking generelt. Videreføring av fastliggende, langvarige felt med pakking og løsning vil også kunne gi økt kunnskap om langsiktige effekter. Videre mangler norske forsøk som sammenligner effektivitet og kraftbehov av ulike jordarbeidingsteknikker/utstyr. Norske studier av klimaeffekter knyttet til grøntproduksjoner ville også gi viktig kunnskap om effekter av ulike produksjonstiltak.

Referanser

Berger, H.C. 2014. Delte erfaringer med bruk av jordløsner. Omtale av prosjektet i Norsk Landbruk nr 4/2014, 38-40.

Dam, A. 2013. Jordløsning i stivelseskartofler. Plantekongres – produktion, plan og miljø, 32-33.

Ekelöf, J. <http://epi.lyckeby-industrial.com/Lyckeby101215/Templates/Normalpage.aspx?id=2592>

Hillier, J., Hawes, C., Squire, G, Hilton, A, Wale, S., Smith, P. 2009. The carbon footprints of food crop production. Int. J. Agricultural Sustainability 7(2) 107–118

KTBL. 2002. Taschenbuch Landwirtschaft. Kuratorium fuer Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.

Moitzi, G., Weingartmann, H., Boxberger, J. 2006. Effects of tillage systems and wheel slip on fuel consumption, Energy Efficiency and Agricultural Engineering- International Scientific Conference, Rousse, Belgia, p. 7.

Pedersen, H og C. Nielsen. Mekanisk ukrudtbekæmpelse i kartofler 2013. http://www.akv-langholt.dk/wp-content/uploads/2015/10/AKV_Mekanisk_ukrudtsbek_delrap13.pdf

Riley H, 1986. Forsøk med jordløsning ved bruk av Paraplow. Poster på NJF-seminar nr 99, Sigtuna, 28.-30.oktober