

Resultatrapport for prosjekt 321616: RessursRetur – Ny vanndampsteknologi omdanner biologisk forurensede jordmasser og planteavfall til nye ressurser (kortnavn: RessursRetur)

Bakgrunn og mål for prosjektet

Store mengder jord infisert av planteskadegjørere går tapt ved utbygging av infrastruktur, og planteavfall fra import og produksjon av grønnsaker mister sin ressursverdi fordi det ofte inneholder organismer som det er forbudt å spre til naturen og landbruket. Det er lite forskningsbasert kunnskap om effekt av damping under vakuum for å sanere jord og planteavfall med innhold av planteskadegjørere. Hovedmålet med prosjektet var et innovativt dampeanlegg for å behandle jordmasser og planteavfall infisert med uønskede fremmede planter og planteskadegjørere slik at massene kunne gjenbrukes.

Fem delmål presenteres og vurderes nedenfor i forhold til oppnådde resultater i Hovedaktiviteter (H) og Underaktiviteter (U).

Oppnådde resultater (mot mål)

*Delmål 1: Finne dødelige doser (temperatur × varighet) i det innovative dampeanlegget for jord infisert med: a) utvalgte uønskede plantearter med ulike formeringsmåter (frø, vegetative organer), b) hvilesporer av soppene *Sclerotinia* spp. og *Stromatinia cepivora*, og c) potetecystenematoder (PCN) og rotgallnematoder.*

I **H 1** har vi studert hvordan utvalgte arter fra tre organismegrupper (planter, sopp og nematoder) nedgravd i jord eller kompostblanding, reagerer på ulike temperaturer og varigheter. Forsøkene ble gjennomført ved bruk av et stasjonært forskningsdampeanlegg (dampeboks) fra SoilSteam. For å finne den effektive temperaturen som dreper formeringsmateriale vurderte vi fem måltemperaturer: 60, 70, 80, 90 og 99 °C, med en behandlingsvarighet på 3 minutter. For 60 °C ble det gjort to varianter: én med 3 minutter direkte damping i dampeboksen, og én der dette ble fulgt av 24 timer restvarme i dekkematerialet. To dampemetoder ble testet: 1) direkte damping (i dampeboksen) av formeringsmateriale nedgravd i dekkematerialet (jord eller kompostblanding) og 2) eksponering til restvarme der formeringsmateriale var ikke til stede under damping, men ble kun utsatt for restvarme i dekkematerialet (i isoporkasser) etter dampingen var avsluttet. Begge metodene hadde effekt på skadegjørerne, men de dødelige dosene (temp. × varighet) var forskjellig for ulike organismer og arter innen hver organismegruppe. For at metoden skal være effektiv er det avgjørende at hele jordmassen eller planteavfallet varmes jevnt opp. Metode 1 ble brukt i videre forsøk for å teste effekt av damp i ulike jordtyper (organisk og sandig jord).

I **U 1.1.1** og **U 1.1.2** ble totalt 41 populasjoner fra 23 fremmede invaderende plantearter og ugras med frø eller vegetative formeringsorganer inkludert i forsøkene. Resultatene viser at damping kan være en effektiv metode for å drepe formeringsorganer hos uønskede plantearter, men effekten varierer mellom arter. Den høyeste dødeligheten ble oppnådd ved dampemetode 1 (behandling med 99 °C i 3 minutter eller 60 °C i 3 min. etterfulgt av eksponering til 24 timers restvarme i dekkematerialet). For å oppnå 90 % frødødelighet måtte *Heracleum mantegazzianum* (kjempebjørnekjeks) eksponeres for 67 °C i tre minutter, mens *Impatiens glandulifera* (kjempespringfrø) krevde 70 °C. Mer hardføre arter som *Avena fatua* (floghavre), *Echinochloa crus-galli* (hønsahirse) og *Solidago canadensis* (kanadagullris) som krevde ca. 78 °C. Den mest motstandsdyktige arten i forsøket var *Lupinus polyphyllus* (hagelupin), hvor nær 100% dødelighet først ved temperaturer over 100 °C. Det ble ikke observert forskjeller i dødelighet for plantedeler som ble behandlet i organisk jord og sandig jord, men tiden for å oppnå måltemperatur var betydelig lengre i sandig jord enn i organisk jord. Dette skyldes sannsynligvis at organisk jord er mer porøs og dermed lettere lar dampen trenge gjennom.

I **U 1.2** ble damping testet på hvileknoller (sklerotier) fra *Sclerotinia sclerotiorum* (storknolla råtesopp) og *Stromatinia cepivora* (løkhvitrate) der hvileknollene ble pakket i finmasket nylonposer, dekket med jord eller en kompostblanding (løkavfall, hestemøkk og treflis), plassert i dampeboksen og utsatt til seks dampedoser (60 – 99°C og kontroll). Resultatene viser at temperaturer over 60 °C i 3 minutter var tilstrekkelig for å uskadeliggjøre *S. cepivora* mens *S. sclerotiorum* krevde 98 °C i 3 minutter (dampemetode 1). Best resultat ble oppnådd ved 60 °C i 3 minutter etterfulgt av 24 timers restvarme i dekkematerialet (metode 1 og 2). I tillegg har vi testet seks lavere temperaturer (35 – 60 °C og kontroll) i tre minutter i et laboratoriet forsøk på *S. cepivora* og 60°C i 3 minutter var den maksimale temperaturen soppen tåler.

I U 1.3 ble det utført forsøk for å undersøke overlevelse og infeksjonspotensialet til PCN-artene *Globodera rostochiensis* og *G. pallida* og rotgallnematoden *Meloidogyne hapla* etter eksponering for damp. Jord ble brukt som dekkmateriale. Nematodenes overlevelse ble undersøkt i et klekkeeksperiment rett etter damping, mens infeksjonspotensialet etter eksponering for damp ble testet i pottforsøk (biotest). Resultatene viser at ved 3 minutters eksponering (metode 1) overlevde *G. rostochiensis* temperatur opp til 67 °C, men hadde ingen reproduksjon ved eksponering over 65 °C. *G. pallida* hadde tilfeller av overlevelse helt opp til 92 °C, men ingen reproduksjon over 79 °C, mens *M. hapla* måtte eksponeres for 97 °C før alle individene døde og 78 °C for å hindre reproduksjon. Ved eksponering for restvarme (metode 1) viste resultatene at 54 °C var tilstrekkelig for å hindre både overlevelse og infeksjon av *G. rostochiensis*, mens *G. pallida* overlevde temperaturer opp til 66 °C og evne til reproduksjon helt opp til 60 °C. *M. hapla* viste ingen reproduksjon eller overlevelse ved eksponering for 65 °C.

Delmål 2: Måle og sammenligne innhold av løkhvitrate i kompost av løkavfall med og uten forbehandling i det innovative dampeanlegget.

I H 2 ble to småskala forsøk utført i lukket varmekomposteringsystem (tromler) på Ås. Dampbehandlet løk med sklerotier (60 °C i 3 minutter) og ubehandlede løk med sklerotier ble brukt i komposteringsforsøk. Sklerotiene ble lagt i kompostblandingen og prøver ble tatt etter termofil- og modningsfase for å teste overlevelse og infeksjonsevne. Resultatene viser at damping kombinert med lukket kompostering effektivt desinfiserer løkavfall kontaminert med *S. cepivorum*. Komposteringsdelen av forsøket ble gjentatt i fullskala kompostranker der sklerotier ble plassert i midten av kompostranker med løkavfall og undersøkt for overlevelse, både etter termofil fase (>55 °C) og etter påfølgende modningsfase (>3 mnd.). Dette forsøket bekreftet at kompostering var også tilstrekkelig for å drepe soppen som befinner seg i midten av ranken.

Delmål 3: Måle kvalitet og bruksegenskaper i dampet jord og dampet kompostert løkavfall.

H 3 omfattet hovedsakelig aktiviteter som har bidratt til å produsere data i H 2. Aktiviteten inkluderte planlegging og gjennomføring av komposteringsforsøk i tromler på Ås, der lukket kompostering ble gjennomført. Det var fokus på oppfølging av komposteringsprosess, vurdering av temperaturutvikling og nedbrytning. Videre ble det bidratt til planlegging og praktisk gjennomføring av komposteringsforsøk i ranker hos Toten Løkpakkeri med oppfølging av parametere og hygieniseringseffekt. I tillegg sammen med Lindum og SoilSteam ble det forberedt et mindre dampforsøk på en større dampmaskin, hvor tre plantearter ble behandlet. Det var en god erfaring å kjøre plantemateriale gjennom maskinen, men forsøket inkluderte kun små mengder av formeringsmateriale og det var ikke tilstrekkelig til å evaluere effekten av damping. Effekten av damping på jord ble vurdert med observasjoner av anlegg i drift hos SoilSteam. Fare for pakking og tap av jordstruktur ble vurdert og mulige tiltak for å redusere risiko for struktureltap ble diskutert og gjennomgått med driftsoperatører og ansvarlige ved SoilSteam. Det ble pekt på at innblanding av moden hage-/parkompost i dampet jord ville være en rask og kostnadseffektiv løsning for å reetablere et aktivt mikrobefunn dersom dette skulle være ønskelig for framtidige kunder.

Delmål 4: Modifisere dampeanlegget og vurdere produksjonspotensialet

I H 4 har SoilSteam utviklet fullskala dampmaskiner basert på erfaringer fra prosjektet. Prototypen S30, testet i 2022, hadde en kapasitet på 3–5 tonn/time. Markedsanalyser og dialog med bransjeaktører avdekket hvilke operasjonelle faktorer og produksjonskapasitet som er avgjørende. Dette styrte designet av en ny maskin med tekniske forbedringer. Den nye modellen (20–25 tonn/time) ble utviklet i 2022–2023 og fire maskiner ble produsert (tre er solgt og i drift). Det er vesentlige forskjeller i hvilke jordvolum de ulike aktørene har behov for å behandle. Dette understreker viktigheten av å tilby dampmaskiner i riktig størrelse for å møte interessen og de praktiske behovene i næringen på en best mulig måte. SoilSteam har nå en strategi om å starte salg av maskiner internasjonalt. Her settes det ytterligere krav til forskning og dokumentasjon, men forskningsarbeidet som allerede er gjort legger et veldig godt fundament for den videre veksten.

Delmål 5: Optimal gjennomføring og styring av prosjektet og formidling av resultater

Prosjektet har hatt god styring og effektiv koordinering (U 5.1), og både administrative og faglige mål ble ivarettatt. I U 5.2 har alle partnere aktivt formidlet informasjon om prosjektet og resultater gjennom møter

med næringsaktører, forvaltning og forskningsmiljøer, samt via nettsider, intervjuer og populærvitenskapelige og vitenskapelige publikasjoner.

FoU oppgaver og sentrale miljøer involvert

Prosjektet har hatt tydelig fordeling av FoU-oppgaver mellom involverte institusjoner. Soil Steam International AS har hatt ansvar for prosjektgjennomføringen, mens NIBIO har ledet prosjektet faglig. Hans Kristian Westrum (Soil Steam) har vært prosjektansvarlig og Wiktoria Kaczmarek Derda (NIBIO) har vært prosjektleder.

NIBIO har hatt ansvar for gjennomføring av alle forsøk. Næringspartnere (Soil Steam International AS, Lindum AS, Toten Løpkakeri AS, Larvik Løk AS og Statens vegvesen) har bidratt med forsøksutstyr (dampeboks), forsøksmateriale (jord og planteavfall) og personell til gjennomføring av forsøkene. De har også deltatt i formidling av prosjektet og resultater. NMBU har bidratt med fagkompetanse innen fremmede plantearter og parasittære nematoder, mens NLR Innlandet har deltatt i prosjektmøter med innspill knyttet til sanering av løkavfall.

Prosjektets styringsgruppe, med representanter fra forsknings- og finansieringspartnere har hatt jevnlige møter gjennom prosjektperioden, i tillegg til årlige prosjektmøter.

Informasjon om prosjektet kan finnes på følgende web-side:

<https://www.nibio.no/prosjekter/ressursretur-ny-vanndampsteknologi-omdanner-biologisk-forurensede-jordmasser-og-planteavfall-til-nye-ressurser?locationfilter=true>

H 1: *Kvantifisere effekten av damping av jord på utvalgte uønskede organismer, leder I. Fløistad og W. Kaczmarek-Derda.*

I perioden 2021–2023 ble det gjennomført en rekke semifeltforsøk på Ås ved bruk av en stasjonær dampeboks. Disse forsøkene var nødvendige for å teste dampebehandlingens effekt på ulike uønskede organismer i underaktivitetene (U1.1.1, U1.1.2, U1.2 og U1.3). SoilSteam har levert forsøksutstyr og deltatt i gjennomføringen. Lindum har levert jord og Toten Løpkakeri har levert løkavfall til forsøkene. NIBIO har hatt ansvar for forsøksplanlegging og gjennomføring, samt dataanalyse og formidling av resultater.

U 1.1.1 og U 1.1.2 *Effekt på plantearter med ulike formeringsorganer, leder Z. Bitarafan.*

I tillegg til planlegging og gjennomføring av dampeforsøk har NIBIO utført overlevelsesforsøk i veksthus, analysert data og formidlet resultater. SoilSteam, Lindum og Statens vegvesen har bidratt til formidling av resultater.

To gjentak av ett forsøk med frøartene *H. mantegazzianum* og *S. canadensis* ble gjennomført i samarbeid med prosjektet IAS/EcoSystemCare i 2021–2022.

U 1.2 *Effekt på hvilesporer av soppen Sclerotinia spp., leder B. A. Tadesse*

I tillegg til planlegging og gjennomføring av forsøk har NIBIO utført overlevelsesforsøk i laboratorium, analysert data og formidlet resultater. SoilSteam, Toten Løpkakeri og Larvik Løk har bidratt til formidling av resultater.

U 1.3 *Overlevelse og infeksjonspotensiale til planteparasittære nematoder, leder M. S. Vennatrø.*

I tillegg til planlegging og gjennomføring av dampeforsøk har NIBIO utført overlevelsesforsøk i laboratorium, analysert data og formidlet resultater. SoilSteam har bidratt til formidling av resultater.

H 2 *Effekt av damping av løkavfall til kompost på løkhvitråde, leder B. A. Tadesse.*

SoilSteam har levert forsøksutstyr og deltatt i gjennomføringen. Toten Løpkakeri har levert løkavfall til forsøkene, har etablert og gjennomført forsøk i komposteringsranker. NIBIO har hatt ansvar for forsøksplanlegging, gjennomføring av dampeforsøk og komposteringsforsøk i tromler, deltatt i forsøk med komposteringsranker, utført dataanalyse og formidling av resultater. Laboratorieforsøk med varmtvann er utført i samarbeid med prosjektet IPV-Løkhvitråde.

H 3 *Jord- og kompostkvalitet etter damping, leder E. Jøner*

NIBIO har hatt ansvar for å planlegge og gjennomføre komposteringsforsøk i tromler på Ås og fullskala feltforsøk med komposteringsranker sammen med Toten Løpkakeri for å produsere data i H2. I tillegg har NIBIO bidratt til et dampeforsøk av jord hos Lindum med bruk av en større maskin fra SoilSteam og vurdert jordkvalitet etter dampbehandling på SoilSteams demonstrasjonsanlegg.

H 4 *Modifisere dampeanlegget og vurdere produksjonspotensialet, leder C. Arnoldussen (2021), T. Glemming (2022), S. Eftang 2023-2024 og H.K. Westrum (2025).*

Kun SoilSteam har hatt ansvar for H4.

H 5 Prosjektledelse, koordinering og formidling av resultater, leder W. Kaczmarek-Derda
NIBIO har hatt ansvar for U 5.1 og alle partnere har bidratt til å gjennomføre 5.2.

Vurdering av prosjektgjennomføring og ressursbruk

Vi har utført en rekke forsøk og fått ny kunnskap om damp under vakuum som en metode for ikke-kjemisk bekjempelse av planteskadegjørere i jordmasser og planteavfall. Det har vært begrenset mulighet for å gjennomføre forsøk for vurdering av jord- og kompostkvalitet etter damping pga. uforutsigbar lokalisering og driftsavbrudd på de dampriggene som det var planlagt å bruke. Slike vurderinger ble derfor begrenset til observasjoner av ikke-eksperimentell art. Det ble isteden fokusert på sammenliknende undersøkelser av damping og kompostering, som utgjør de reelle alternativene for avfallseiere innen grøntsektoren, og som samtidig sikret en sterkere involvering av disse i prosjektet. Fullskala rankekompostering med datalogging og trygg bruk av høyrisikabelt smittemateriale i samarbeid med bedriftspartnere kunne på denne måten gjennomføres og ga svært verdifulle data i H2.

Forventet betydning/nytteverdi av resultatene

Prosjektet RessursRetur har bidratt til utviklingen av Norges første i sitt slag innovative dampeanlegg for ikke-kjemisk bekjempelse av planteskadegjørere. Anlegget er tilpasset et nytt, lite kartlagt bruksområde som er håndtering av jordmasser og planteavfall med biologisk forurensning. Prosjektet har dokumentert at damp under vakuum er en effektiv metode for bekjempelse av planteskadegjørere som uønskede plantearter, sykdomsfremkallende sopp og parasittære nematoder. Dette har åpnet for at ressursgjenvinning og trygg gjenbruk av biologisk forurensede masser kan prioriteres fremfor deponering.

Prosjektet har styrket kompetansen blant prosjektdeltakerne innen ikke-kjemisk bekjempelse og varmebehandling, og har bidratt til økt forståelse for dampebehandling som metode for å kontrollere planteskadegjørere i jordmasser og planteavfall. I tillegg har prosjektet fremmet samarbeid mellom næringsliv og forskningsmiljøer, og lagt et grunnlag for videre tverrfaglig utvikling.

På samfunnsnivå har prosjektet bidratt til økt bærekraft i massehåndtering og styrking av den sirkulære bioøkonomien gjennom trygg gjenbruk av jord og planteavfall. Det har også betydning for forbedret matsikkerhet ved å redusere risikoen for spredning av planteskadegjørere og bidra til å redusere miljøbelastningen knyttet til deponering. Prosjektet støttet flere av FNs bærekraftsmål, særlig mål 12 (ansvarlig forbruk og produksjon), mål 15 (liv på land) og mål 9 (innovasjon og infrastruktur), og representerer et viktig skritt mot mer bærekraftige løsninger for håndtering av biologisk forurensede masser.

Planer for formidling og utnyttelse av resultatene

Det har vært stort fokus på formidling underveis i prosjektet med en egen arbeidspakke. Utførte formidlingstiltak er rapportert i NFR-portal. Resultatene underveis har blitt formidlet til aktører i næringen som er involvert i problematikken rundt jordflytting og håndtering av kontaminert løkavfall, til beslutningstakere og til forskningsmiljøer både nasjonalt og internasjonalt. Dette har skjedd gjennom foredrag på fagmøter og konferanser, samt møter med næringsaktører og forvaltning (ca. 100 stk). I tillegg er resultatene formidlet gjennom vitenskapelige publikasjoner (4 stk), populærvitenskapelige artikler (4 stk) og oppslag i massemedia (12 stk). Resultatene ble også presentert på et sluttseminar den 3. september 2025, hvor ca. 70 deltakere var påmeldt.

Resultater som forventes ferdigstilt etter prosjektets slutt

Følgende vitenskapelige publikasjoner i fagfellevurderte tidsskrift forventes ferdigstilt etter prosjektets slutt (tentative titler, forfattere og tidsskrift):

Combining Steaming and composting to disinfect onion waste contaminated with *Sclerotinia cepivorum* causal agent of onion white rot. B. Asalf, TA. Justad, P.A. Rivier and E. Joner. Sendt inn til *Acta Horticulture*, 2025. Under minor revision.

Stationary soil steaming to disinfect onion waste and soil contaminated by onion white rot. B. Asalf, TA. Justad, WB. Therese, et al. *European journal of plant pathology*.

Evaluation of thermal treatment for inactivation of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* in infested soil. Forfattere; M. S. Vennatrø, S. Rossman, J. P. Øyen and S. Haukland. *Agricultural Science and Technology*.