



UPPSALA
UNIVERSITET



UPTEC W 20035

Examensarbete 30 hp
Juni 2020

Är frekvent mockning av hästthagar en effektiv åtgärd mot fosforläckage?

En studie om förbättrad gödselhantering
i hästthagar för minskad fosforbelastning

Elsa Malmer

Sammanfattning

Är frekvent mockning av hästhagar en effektiv åtgärd mot fosforläckage?

Elsa Malmer

Östersjön är drabbad av övergödning på grund av en för stor näringstillförsel av bland annat fosfor. Fosfortillförseln till Östersjön domineras av vattendrag och bidrag från Sverige är den tredje största källan av fosfor. När hästar går ute i mindre hagar, främst under vinterhalvåret, gödslas hagarna med näringsämnen från gödsel och urin. Näringsämnena som hamnar i hagen riskerar att föras bort med vatten genom ytavrinning. Dessutom riskerar marken bli mättad på fosfor, dvs inte kunna binda fosfor, vilket medför ett fosforläckage till närliggande vattendrag, och i slutändan till haven. I den här studien studerades effekten av att gödsel i rasthagar mockas upp samt hur nederbörd påverkar hur fosfor lakas ur gödsel. En litteraturundersökning samt en fältstudie i tre delar genomfördes i syfte att undersöka om mockning är en effektiv åtgärd mot fosforläckage. Studien genomfördes på en gård med två hästar i en hage på 0,09 hektar. Fältstudiens första del fokuserade på hur mycket gödsel och fosfor som mockades upp ur hagen vid daglig mockning, veckovis mockning samt mockning efter en månad. Fältundersökningen av mockning i hagen visade att daglig mockning förde bort 78 % av gödseln ur hagen och 73 % av fosfor från hagen, vilket motsvarar 5,5 g fosfor per dag och häst. Att mocka dagligen jämfört med månadsvis förde bort 80 kg mer gödsel och maximalt 85 g fosfor ur hagen jämfört med månadsmockning. För daglig mockning jämfört med månadsmockning reducerades gödselbelastningen med 60 kg gödsel och maximalt 65 g fosfor. Trots att hagen mockades noggrant gick det inte att få upp mer än 36 % gödsel efter en månad. Del två i studien studerade fosformängden i gödselhögar som legat ute i fält i totalt två månader. Där studerades även nederbörd och temperatur som faktorer som kan påverka läckaget. Provtagning av gödsel i cylindrar visade att efter 8 veckor fanns endast 25 % av fosfor kvar och det fanns ett svagt samband mellan nederbörd i fält och fosformängd. Sist genomfördes en kort bevattningsstudie i laboratorium med fokus på urvattning av fosfor vid kraftigt regn. Bevattningsstudien visade att det sker ett läckage av fosfor från gödsel vid regn. Efter ett regn motsvarande 100 mm visar resultaten att cirka 40 % av fosfor i hästgödseln lakades ur.

Nyckelord: Hästgödsel, Övergödning, Mockning, Fosforläckage, Hästhagar, Östersjön, Frekvent mockning

Institutionen för mark och miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, Lennart Hjelmns väg 9, Box 7014, 750 07 Uppsala, Sverige

Abstract

Is Frequent Removal of Horse Manure from Paddocks an Efficient Measure for Phosphorous Leakage?

Elsa Malmer

The Baltic Sea suffers from eutrophication caused by a large nutrient supply of phosphorous and nitrogen. The supply is dominated by waterborne phosphorous and Sweden is the third largest source of phosphorous to the Baltic Sea. Horses normally spend time outside in smaller paddocks during the winter season where they fertilise the soil with nutrients from the manure. Added phosphorous to the soil increases the risk of phosphorus-rich surface runoff from the paddock. In addition, the soil risks being saturated with phosphorus, which results in a phosphorus leakage to nearby watercourses, and eventually to the seas.

In this study, the effect of removing manure from the paddocks through mucking was studied. Precipitation were monitored in relation to the amount of phosphorous in manure. A literature review combined with a field study in three parts were conducted to examine whether mucking was an effective measure against accumulation of phosphorus in the soil. The study took place in a 0,09 hectare paddock with two horses during two months. The first part of the field study focused on how much manure and phosphorus could be mucked out of the paddock during daily mucking, weekly mucking and mucking after one month. The results showed that daily mucking removed 78 % of the manure and 73 % of the phosphorous, which corresponds to 5,5 g of phosphorus per day and horse. Daily mucking, compared to monthly, removed 80 kg more manure from the paddock. Daily mucking compared to weekly removed 60 kg more manure. Although the paddock was thoroughly cleaned, it was not possible to get more than 36 % of the manure after one month.

Part two in the study examined the amount of phosphorous in manure piles that were left in the field for a total of two months. Sampling of manure, in cylinders, showed that after eight weeks only 25 % of the phosphorous remained in the manure. The rest was considered lost. Lastly, an irrigation study was carried out in a laboratory. The test focused on phosphorous leakage from the manure in case of heavy rain. The irrigation study showed that the phosphorous leaked during rainfall. After a rain equivalent to 100 mm, the results showed that about 40 % of the phosphorus in horse manure leaked.

Keywords: Horse manure, Eutrophication, Mucking, Phosphorous leakage, Horse paddocks, the Baltic Sea

Department of Soil and Environment, The Swedish University of Agricultural Sciences, SLU, Lennart Hjelm's väg 9, Box 7014, 750 07 Uppsala, Sweden

Förord

Det här examensarbetet för Civilingenjörsprogrammet i Miljö- och Vattenteknik omfattar 30hp vid Uppsala Universitet. Handledare var Marie Albinsson på Ecoloop och examensarbetet var en del av Ecoloops projekt *Åtgärder för att minska övergödning från hästgårdar* som Ecoloop genomför på uppdrag av Race For The Baltic. Ämnesgranskare var Helena Aronsson vid institutionen för mark och miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet, och examinerator Monica Mårtensson vid Uppsala Universitet.

Jag vill rikta ett stort, varmt tack till min handledare Marie Albinsson för engagemang och vägledning i examensarbetet. Ett tack även till Mats Johansson och alla medarbetare på Ecoloop AB som i stort och smått hjälpt till under arbetets gång. Ni har bidragit med en fantastisk arbetsmiljö (även över Teams) och spännande diskussioner. Tack till min akademiska handledare och ämnesgranskare Helena Aronsson för expertstöd i gödselfrågan och för logistiskt stöd i fältarbetet. Ett stort tack även till Marc Klaus för engagemang och hjälp med mockning i hagen. Ett tack till gårdsägare Johanna Lagercrantz och Lennart Sund för ett fantastiskt samarbete där jag fick komma ut och samla gödselprover på er gård. Ett lika stort tack till hästägarna som fört logg över hästarnas timmar i hagen samt delat med sig av foderstatberäkningar. Jag vill också tacka min barndomsvän Jacob Månsson som mitt i en världspandemi med 25 minuters förvarning lät mig flytta in en vecka för att genomföra fältstudien i Stockholm.

Tack även till alla som intresserat sig för arbetet på möten under våren och alla som delat med sig av sin kunskap i hästfrågan!

Elsa Malmer, Uppsala 2020

Copyright © Elsa Malmer, Institutionen för mark och miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet.

UPTEC W 20035, ISSN 1401-5765. Publicerad digitalt vid institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2020.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Om hästägare i Sverige mockade sina rasthagar dagligen skulle de belastas med 73 % mindre fosfor än om hagarna lämnades orörda. Hur ofta hagarna mockas har i den här studien visat sig ha stor betydelse för hur mycket fosfor som går att få bort från hästhagen. Om en hage med två hästar mockas dagligen minskas gödselbelastningen per månad med 80 kilogram gödsel per häst jämfört med att mocka en gång per månad. Det motsvarar lite mer än ett normalstort badkar (150 liter) med gödsel per månad. Om man antar lite grovt att det är ungefär ett badkar per häst och månad skulle det i Sverige innebära mer än 355 500 badkar gödsel per månad som samlas in vid bättre gödselhantering, givet 355 500 hästar i Sverige. Resultatet av studien visar att mockningsfrekvensen är viktig eftersom oavsett hur noga en hage sköts, blir alltid en del (cirka en femtedel) av gödseln kvar i hagen.

När gödsel hamnar i hagen läcker fosfor ut ur gödseln och ned i marken. Näringsämnen som hamnar i marken binds både upp i marken och tas upp av växter som använder sig av fosfor för att växa. I en hage där hästarna trampar omkring har växtlighet svårt att få fäste, och fosfor tas inte upp. Den ökade ansamlingen av fosfor i marken är orsaken till att marken tillslut inte kan ta upp mer. Då stannar inte fosfor i jorden utan riskerar istället att hamna i närliggande vattendrag. I ett hypotetiskt scenario där inget läckage från gödsel till mark sker, skulle 80 kilogram gödsel reduceras från hagen vid daglig mockning jämfört med månadsvis mockning. Det motsvarar maximalt 85 gram fosfor. Som jämförelse är det lika mycket fosfor som en lantbrukare skulle enligt lag få sprida på ungefär 40 kvadratmeter åkermark per år, från bara den lilla hagen som användes i den här studien. Nu vet vi dock att fosfor läcker ut ur gödsel innan den går att få upp ur hagen. En bevattningsstudie i laboratorium bekräftade att ett läckage faktiskt sker, och det ganska direkt. Efter ett skyfallsregn på 100 mm förlorade gödseln 40 % av fosfor. Det bekräftades även genom att lägga ut gödsel i fält i två månader där fosformängden studerades efter att gödseln utsatts för väder och vind. Den gödsel som oundvikligen blir kvar i hagen vid frekvent mockning förlorar alltså sin fosfor oberoende av om hästarna trampar runt i den eller inte. Studien bekräftar även att det är extra viktigt att mocka mer frekvent vid nederbörd.

Det viktiga näringsämnet fosfor behövs i det svenska lantbruket och är dessutom en ändlig resurs. Fosfor är ett grundämne som finns fritt i naturen, men också i uppbyggnaden av våra celler. Eftersom fosfor finns naturligt är det inte förren naturen får för mycket fosfor som den skadas. Idag finns det ett överskott av fosfor i haven och ett underskott i jordbruket. Så istället för att fortsätta tillföra fosfor till känsliga ekosystem, borde vi ta tillvara på fosfor. Östersjön, ett av världens mest förorenade hav, är känsligt för tillskott av just fosfor. Fosfor bidrar till övergödning och det främsta tecknet på hur dåligt havet mår är den årliga algbloomingen. Bidrag från Sverige är idag dessutom den tredje största källan till vattenburen fosfor till Östersjön. Länderna kring Östersjön har gått samman med ambitiösa mål kring miljöarbetet för varje land. Samarbetet går under Helsinkikonventionen och har som mål att återställa Östersjön till en god ekologisk status innan 2021.

Resultatet från den här studien kan vara ett stöd för hästägare som vill bidra till minskat läckage av fosfor till närliggande miljö. Enligt den här undersökningen är mockning en effektiv åtgärd för minskad fosforbelastning i hagen. Det kan bidra till att skapa en vetenskaplig bakgrund till det nya miljöintresset för hästnäringen. Frågan uppmärksammades i februari 2020 i en statlig utredning om stärkt lokalt åtgärdsarbete kring övergödning. Utredningen underströk behovet av mer underlag och hållbara lösningar för småskalig hästhållning. I det här arbetet har just en sådan småskalig hästhållning studerats, i en mindre hage med två hästar. Fältstudien delades in i tre delar: En fältundersökning för mockningsfrekvens, en del där gödsel som legat i fält provtogs under två månader och sist en bevattningsstudie i laboratorium. Parallellt med studien diskuterades miljöarbete kring häst med utvalda aktörer inom hästnäringen. Det framgick att det behövs mer kunskap samt att det ofta saknas ekonomiska medel till förbättringar för miljön. Vanligtvis beräknas gödselbelastningen på hagen efter antagandet att hälften av gödsel hamnar där. I den här studien vistades hästarna i hagen en tredjedel av dygnet och hästarna antogs gödsla jämt över dygnet. Det gav en mindre belastning än de schablonverktyg som används inom jordbruksverket.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Syfte och mål	2
1.2	Frågeställning	2
1.3	Avgränsningar	2
2	Bakgrund	3
2.1	Varför studera fosforläckage i hagar?	3
2.2	Hästhållningen i Sverige	3
2.2.1	Utfodring och gödsel	4
2.2.2	Hållbar hästhållning	5
2.2.3	Mockning	6
2.3	Fosfor	7
2.3.1	Fosfor i gödsel	8
2.3.2	Fosfor i hage	8
2.3.3	Beräkningar av fosforbelastning i hagar	9
2.3.4	Spridningsvägar	9
2.3.5	Retention	10
2.4	Östersjön	10
2.4.1	HELCOM	10
2.4.2	Fosfor är en ändlig resurs	11
2.5	Lagstiftning gällande häst	11
2.5.1	Rådande lagstiftning för gödsling av jordbruksmark	12
2.5.2	EU-direktiv	12
2.5.3	Lagring av hästgödsel	13
2.6	Faktorer som påverkar näringsläckage	13
2.7	Åtgärder och rekommendationer för näringsläckage från hagar	14
2.8	Statlig utredning: stärkt lokalt åtgärdsarbete kring övergödning	15
2.9	Ekonomiska perspektiv på gödselhantering	15
2.10	Statistiska tester	16
2.10.1	Shapiro-Wilks test	16
2.10.2	Pearson korrelation	16
3	Metod	16
3.1	Dialog med olika aktörer inom hästnäringen	17
3.2	Fältundersökning mockning	17
3.2.1	Provtagningsplats	17
3.2.2	Mockningsfrekvens och provtagning	18
3.2.3	Hur mycket gödsel hamnar i hagen?	21
3.2.4	Hur mycket fosfor hamnar i hagen?	22
3.2.5	Beräkningar mockning i hagen	23
3.3	Cylinderprovtagning i fält	24
3.3.1	Beräkningar cylinderproverna	26
3.4	Bevattningsstudie	26
3.4.1	Uppställning	26

3.4.2	Kalibrering	27
3.4.3	Regnsimulering på gödsel	28
3.5	Provtagning och analys	28
3.5.1	Torrsubstans	29
3.5.2	Totalfosfor	29
3.5.3	Mätosäkerhet hos analysmetod	29
4	Resultat	30
4.1	Fältundersökning av mockning i hage	30
4.1.1	Uppmockad gödsel ur hagen	30
4.1.2	Uppmockad fosfor ur hagen	31
4.2	Provtagning av gödsel i cylindrar	32
4.2.1	Fosfor och regn	33
4.2.2	Fosfor och temperatur	34
4.3	Bevattningsstudie	34
4.3.1	Fosfor och regnmängd, i fält och regnsimulator	35
5	Diskussion	36
5.1	Fältundersökning av mockning i hage	36
5.1.1	Fosforkoncentration för olika mockningsintervall	36
5.1.2	Den höga fosforhalten i veckoproverna	37
5.1.3	Hypotetiskt scenario: inget läckage	38
5.1.4	Representativa prover	38
5.2	Provtagning av gödsel i cylindrar	39
5.3	Bevattningsstudie	39
5.4	Nollproven	40
5.5	Foderstat	40
5.6	Antaganden	41
5.7	Ekonomiska aspekter	41
5.8	Metodval	42
5.9	Studiens relevans	43
5.10	Framtida studier	44
6	Slutsatser	45
7	Referenser	46
8	Bilagor	50

1 Inledning

Hantering av djurgödsel i hagar har på senare tid fått mycket fokus på grund av den ökade risken för ansamling av fosfor i marken. Mer tillförd fosfor till marken ökar risken för fosforläckage och därmed för tillförsel av näringsämnen i närliggande vattendrag. På sikt når näringen haven, inklusive Östersjön. Sverige är idag den tredje största källan som bidrar med vattenburen fosfor till Östersjön och åtgärdsarbetet för att minska tillförseln pågår runtom i landet. Stockholms Universitets Östersjöcentrum gav i maj 2019 ut en rapport där de påpekar att bland åtgärdsförslagen mot övergödning från land är det viktigt att inkludera hästnäringen i gödselhanteringsarbetet och erbjuda rådgivningsprogram (Stockholms Universitet 2019). I februari 2020 publicerades en statlig utredning som för första gången pekar ut förbättrad gödselhantering i hästhagar som en potentiell lokal åtgärd för minskad övergödning i Östersjön (SOU 2020:10 2020).

Hur hästhagar sköts idag varierar i Sverige. I en studie av Parvage (2015) konstaterades att fem av sju gårdar som undersöktes aldrig mockar sina hagar och de två återstående mockade hagarna vartannat år. Jorden i hästhagar får då enligt Parvage (2015) i genomsnitt ett tillskott av 60 kg fosfor per hektar och år, det vill säga tre gånger mer än vad som tillåts om man skulle gödsla en åkermark med organiska gödselmedel (Parvage 2015). I projektet av stiftelsen BalticSea2020 estimerades att 50 % av fosfor i hagarna kan tas bort med hjälp av daglig mockning (Owenius 2015). Den estimeringen är dock inte validerad med data. Många hästägare idag vet därför inte hur stor effekt mockning skulle kunna ha och saknar incitament till att städa hagar. Hästhållningen använder 300 000 hektar mark, vilket motsvarar 10 % av Sveriges totala jordbruksmark. I hela EU brukas 4 % av jordbruksmarken av hästnäringen. Trots det studeras sällan hästhagarnas påverkan på närliggande vattenkvalitet (Parvage 2015).

I det här arbetet undersöktes mockning som åtgärd för minskad fosforbelastning i hästhagar och hur den kan anpassas för bästa möjliga effekt. Fosfor i gödsel studerades och utvärderades genom en litteraturstudie, ett fältarbete och en kontrollerad studie i laboratorium. Här undersöktes vilken mockningsfrekvens som är mest effektiv samt hur nederbörd påverkar läckage av gödsel i hagar.

1.1 Syfte och mål

Det övergripande syftet var att utreda om mockning är en effektiv åtgärd mot fosforbelastning i hästhagar. Det gjordes genom att kvantifiera hur mycket fosfor som kan föras bort från hagen vid olika mockningsfrekvenser, samt genom att undersöka hur fosforinnehållet i gödseln som ligger kvar i hagen påverkas av regn och temperatur. Hagen som undersöktes var en så kallad vinterhage som används från oktober till maj.

Målsättningen var att utveckla och i fält testa en metodik för hästgödselhantering som både besvarade utvalda frågeställningar och dessutom kan replikeras och spridas efter projektet. Delmål i projektet var att:

- göra en syntes av dagens kunskapsläge om hästgödsel och dess hantering, i kontakt med hästnäringen.
- utveckla en metodik för att i fält mäta och beräkna hur mycket fosfor som kan föras bort ur hagen via effektiv mockning.

1.2 Frågeställning

För att uppfylla syftet ställdes följande frågeställningar:

- Hur mycket fosfor samlas in i hästhagar vid olika mockningsfrekvenser?
- Hur påverkas hästgödselns innehåll av fosfor över tid när den lämnas kvar i hagen?
- Hur påverkas fosfor i gödsel av regnmängd?

1.3 Avgränsningar

För att genomföra projektet har följande avgränsningar valts:

- Fokus i denna studie var vad som händer ovan marken, det vill säga hur mycket fosfor som kan föras bort ur hagen och inte vad som händer med fosfor i marken.
- Fältstudien genomfördes endast på en gård.
- Studien genomfördes i mars, april och maj. Rasthagarnas skick varierar under de månader de användes (oktober till maj) och den här studien täckte inte in alla vintermånader.

2 Bakgrund

2.1 Varför studera fosforläckage i hagar?

När hästar vistas i hagar gödslas marken kontinuerligt med näringsrik gödsel. Om gödsel tillåts ligga kvar i hagen bryts den så småningom ned i marken och det sker en ansamling av näringsämnen i jorden. När marken successivt binder fosfor, mätas så småningom markens bindningskapacitet och fosforläckaget riskerar att börja öka (Liu 2013). En viktig faktor i läckagerisken är därför hagens ålder. En markyta som har använts som hästhage en längre tid löper större risk för läckage då bindingskapaciteten i marken minskar i takt med fosfortillförseln. Att hästarna trampar runt i hagen ger dessutom en direkt risk för läckage eftersom partiklar hamnar i rörelse. Den långsiktiga belastningen av fosfor leder så småningom till ett ökat läckage av löst fosfor (Schoumans & Groenendijk 2000). Naturliga ekosystem som får en för stor tillförsel av fosfor blir påverkade negativt och det främsta exemplet på det är övergödningen i Östersjön. Att detta är ett problem just i hästhagar beror på att när fosfor appliceras på mark, i exempelvis jordbruket, tas den vanligtvis upp av växter. I små, och ofta obevuxna hästhagar appliceras ett överskott fosfor som istället för att tas upp av växter, blir kvar i marken eller urlakas. Fosfortillförseln i hagen utgör alltså en långsiktig risk för fosforläckage (Withers et al. 2003).

När gödsel- och jordpartiklar som innehåller fosfor sätts i rörelse av hästtramp och det dessutom tillförs nederbörd finns risk för tillfälligt, direkt läckage via ytavrinning. Då riskerar inte bara fosfor att hamna i marken utan kan direkt transporteras till närliggande vattendrag. Forskning indikerar att ytavrinningen kan under vissa förhållanden stå för den största delen av näringsläckage till ytvatten eftersom nederbörden interagerar direkt med partiklarna i gödsel och jord (ibid.). Läckagerisken skulle potentiellt minska om fosfor, dvs gödsel, fördes bort från hagen före nederbörd. SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut) gör modellberäkningar för olika scenarion från IPCC (International Panel on Climate Change). Enligt SMHI:s prediktioner kan Sverige komma att få mildare vintrar (SMHI u.å.[b]). Då riskerar leriga hagar och ofrusen mark att bli ett återkommande fenomen för den svenska hästhållningen att förhålla sig till. Det är just under sådana förhållanden som risken för ytavrinning och läckage är som störst.

Ytterligare en anledning att studera fosforläckage är att fosfor är en ändlig resurs som istället för att skapa problem i ekosystem skulle kunna användas mer hållbart. Om gödsel får ett ekonomiskt värde kan det finnas ett större incitament att samla in gödsel även från hagen och både minska läckagerisken samt använda den som en resurs i exempelvis jordbruket. Hästgödsel kan t.ex. användas som gödsel på ekologiska odlingar ¹

2.2 Hästhållningen i Sverige

I Sverige består hästsektorn av ett stort antal förhållandevis små hästgårdar som tillsammans har en stor betydelse för hur marken används på landsbygden. Enligt jordbruks-

¹Margaretha Bendroth, hästrådgivare vid Hushållningssällskapet i Sjuhärad, träff för hästnäringen i Heby, 2020-02-02.

verkets statistik från 2016 fanns då ungefär 355 500 hästar i Sverige som tillsammans producerar ungefär 2,7 miljoner ton gödsel och urin per år. Majoriteten av hästarna finns i Skåne, Västra Götalands- och Stockholms län. Samma undersökning visar att 76 % av alla hästar i Sverige finns inom större tätorter eller tätortsnära områden. Det innebär 36 hästar per 1000 invånare i Sverige (Jordbruksverket 2017). Enligt jordbruksverkets statistik har hästar i Sverige tillgång till 0,2 hektar rasthage per häst, dvs 5 hästar per hektar (Kielen et al. 2016).

2.2.1 Utfodring och gödsel

Hästgödsel, eller stallgödsel, är ett samlingsbegrepp för träck, vatten, urin och strömedel i olika proportioner. Hästens gödsel innehåller olika mängder gödande näringsämnen som beror på vad hästen äter och hur den rör sig. Hästens fosforbehov är ungefär 1 g fosfor per 100 kg häst och dag (Jansson 2013). Enligt jordbruksverket utsöndrar en vuxen häst lika mycket näring som den får i sig via fodret, förutsatt att hästen inte ökar i vikt (Malgeryd & Persson 2013). Ett examensarbete vid SLU visar positiva linjära samband mellan fosforintaget genom foder och koncentrationen av fosfor i ett slumpmässigt stickprov på gödsel. Samma studie visar att en stor del av fosfor i hästträck är vattenlöslig och kan därför utgöra en läckagerisk. Studien visar fosforbalansen för tvååriga hästar där hästar, som inte fått mineraltillskott, intar 17,5 gram fosfor per dag utsöndrar 17 gram fosfor per dag. Hästarna som fått mineraltillskott och intar 32 g fosfor per dag, utsöndrar 30,3 g fosfor per dag (Jansson, Holtenius & Ragnarsson 2014). För en väldigt ung häst, eller en häst som är dräktig eller ger di ser situationen annorlunda ut. Växtnäringsinnehållet i träck och urin kan dock variera kraftigt mellan hästar. Fosforinnehållet kan till exempel ibland vara högre än vad som framgår av jordbruksverkets beräkningar då många hästar överutfodras med mineralfoder (Malgeryd & Persson 2013).

I Sverige har många hästar en beräknad foderstat, vilket innebär att hästens näringsbehov är beräknat och den får en kombination av foder som täcker det. I en enkätundersökning från 2018 svarade exempelvis 88 % av de tillfrågade ridskolorna att de har en beräknad foderstat på sina hästar (Sandstedt 2018). Det innebär att näringsinnehållets i gödseln kan uppskattas, vilket ger bättre kontroll på innehållet i hästarnas träck. Hur noggranna hästägare är med hästarnas foderstat var en av de punkterna som lyftes under Greppa Näringens konferens 2020-02-13. Foderstaten utgår från hästens vikt som ofta uppskattas grovt och ridskolor angav att de "fodrade med ögat". Att erbjuda rådgivning kring hästarnas foderbehov ansågs vara en aktuell åtgärd mot överutfodring (Kvarnmo 2020). I Greppa Näringens praktiska information till hästägare rekommenderar de träckprovsnalys på fosfor. När halten fosfor överstiger 8 g/kg TS (torrsubstans TS, se avsnitt 3.5.1) är det en indikation på att hästen överutfodras (Aronsson & Salomon 2017). Hur mycket fosfor en häst utsöndrar beroende på foderstat kan beräknas och presenteras i tabell 1.

Tabell 1: Jordbruksverket uträknade fosforinnehåll i träck och urin beroende på hästens foderstat och sysselsättning, En fritidshäst här räknas som en häst i lätt träning (ca en timmes arbete per dag och som väger ca 500 kg). En tävlingshäst är beräknad att ha samma vikt men röra sig ca tre timmar per dag och en ponny rör sig lätt/medel och väger 300kg (Malgeryd & Persson 2013).

	Fritidshäst		Tävlingshäst		Ponny	
	Foder per dag [kg]	Fosfor i träck och urin [kg/år]	Foder per dag [kg]	Fosfor i träck och urin [kg/år]	Foder per dag [kg]	Fosfor i träck och urin [kg/år]
Grovfoder	8	4,9	9	5,5	5,5	3,4
Havre	1,5	1,7	3	3,5	1	1,2
Betfor	0,2	0,1	0,3	0,1	0	0
Mineraler	0,075	1,1	0,075	0,7	0,05	0,7
Ströhalm	3	1,1	3	1,1	3	1,1
Summa		8,9		10,9		6,4

I studie från 2003 har data sammanställts över hur mycket kg gödsel en häst avger per dygn förutsatt att torrsubstansen är ungefär 15 %. En lätt arbetande häst som rids några timmar per vecka och väger mellan 400- och 600 kg gödslar 18,9-27,6 kg gödsel per dag vilket motsvarar 0,015-0,019 kg fosfor per dygn och häst (Lawrence, Bicudo & Wheeler 2003).

2.2.2 Hållbar hästhållning

Inom hållbart jordbruk är tumregeln att tillföra marken lika mycket näring som man tar bort från åkermarken vid skörd. För hästhållningen är det annorlunda eftersom man inte skördar hagarna, men tillför gödsel. Ett hållbarare kretslopp skulle till exempel kunna innebära bortföring av gödsel från hagar, byta mellan olika hagar för att låta marken täckas av gräs eller ställa krav på större hagar för mer spridning av gödsel. Hästnäringens nationella stiftelse (HNS) och Lantbrukarnas Riksförbund Häst (LRF Häst) arbetar med dessa frågor och har därför tagit fram en frivillig certifiering för verksamheter som bedriver hästhållning. Den har fått namnet Kvalitetsmärkt Hästverksamhet och bygger på lagkrav inom bland annat klimat och miljö. Det är ett sätt att arbeta med åtgärder som är relevanta inom hästverksamheten och som har en positiv påverkan på miljön (Lindberg & LeeApple u.å.).

En fråga som diskuteras inom hästnäringen är val av arbetsmetoder för hästskötsel, samt utveckling av de gamla metoder som används idag. Hästhållningen moderniseras inte i samma tempo som andra lantbruk och metoderna som används, både mockning och annat arbete, görs på samma vis som det gjorts i hundra år. Precis som alla andra verksamheter är det viktigt att hästhållningen utvecklas med sin tid och möjliggör för hållbart hästägande, både för kroppen, hästen och miljön. I en studie från 2008 framgår att 91 % av personalen på 800 ridskolor har haft besvär i nacke, rygg och axlar till följd av arbetet i stallet. Samma studie visar att hantering av halm, hö, spån samt mockning var de arbetsuppgifter som krävdes störst fysisk ansträngning och ökade därmed risken för

besvär (Pinzke & Löfqvist 2008). Häst Sverige har kommit fram till att mellan 40 och 80 % av tiden i stallet går till att utfodra, släppa in och ut hästar samt att mocka (Westholm & Bendroth u.å.). Hästen fyller en stor social funktion i samhället då de kan påverka en människa på ett emotionellt plan, ger motion och anknytning till naturen. Ridsporten är idag Sveriges tredje största ungdomsidrott och utövas av en halv miljon svenskar varje år (Riksidrottsförbundet 2018). I arbetet att motverka samhällstrender som ökad fysisk- och psykisk ohälsa kan hästen göra skillnad. Hästar bidrar till en sund livsstil och skapar ett sammanhang och gemenskap. Hästnäringens Nationella Stiftelse uppmärksammar detta och har i sin nya strategiplan fokus på en hållbar utveckling på flera plan (Lagerlund 2020).

2.2.3 Mockning

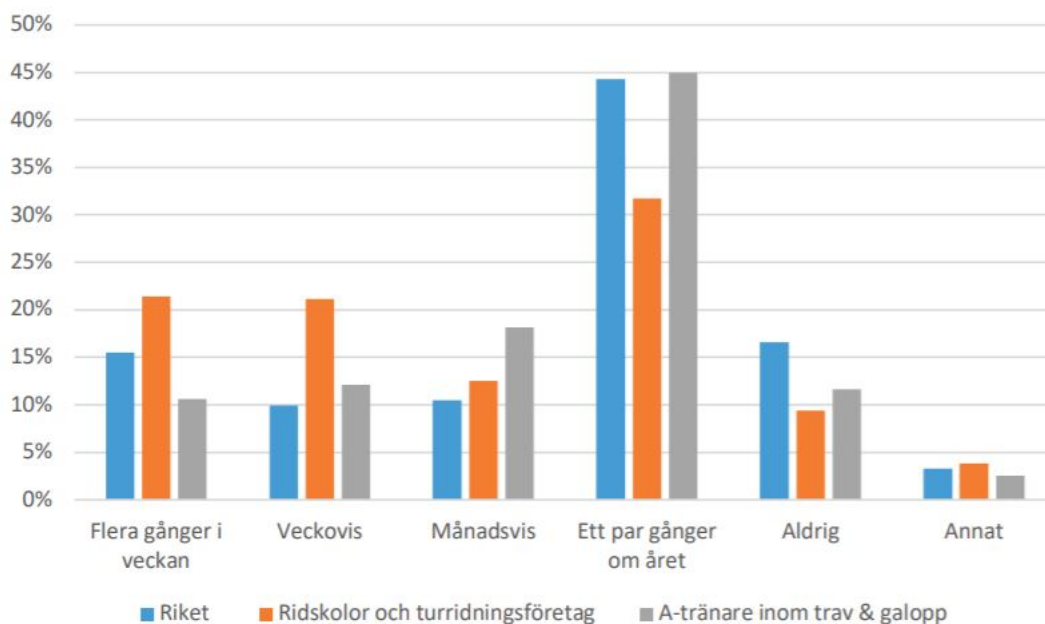
Mockning innebär att man rensar box eller hage på urin och träck. Hur ofta man ska mocka just hagar och vilka effekter det får råder det delade meningar om. I projektet *goodla* av Helena Aronsson på Sveriges Lantbruksuniversitet och Markus Hoffman på Lantbrukarnas riksförbund rekommenderas hästägarna mocka hagarna regelbundet, om möjligt helst 1-2 gånger i veckan (Hoffman & Helena Aronsson 2019). Vattenmyndigheterna rekommenderar i sin rapport från 2019 att mockning i hagarna bör ske minst en gång per vecka för att minimera risk för läckage samt för att följa de allmänna hänsynsreglerna i miljöbalken (Lampa & Gunilla Lindgren 2019). En enkätstudie från 2007 indikerar ett samband mellan storleken på rasthagen samt mockningsfrekvensen - en mindre hage mockas mer frekvent än en stor. Studien tar även upp att rasthagar vintertid inte mockas regelbundet (Eriksson 2017).

I en annan studie från Finland studerades två hagar, en som mockades dagligen och en som behölls omockad. Gödsel i hagen vägdes månadsvis och studien pågick i tio månader. Från tre hästar som gick ute olika mycket beroende på väder och säsong beräknades att 2500 kg gödsel med ca 8 kg fosfor hade mockats upp ur hagarna under perioden oktober-april, det motsvarar ungefär 1,3 kg fosfor per månad vilket är mer än jordbruksverkets kalkyler, se tabell 1. Näringsämnen i det avrinnande ytvattnet studerades och resultatet visade att det fanns 50 gånger mer fosfor i ytvattnet från foderområdet i hagen som inte mockades, och 10 gånger högre halter i andra delar av samma hage jämfört med fosforhalten i början av studien (Airaksinen, Heiskanen & Heinonen-Tanski 2006). Samma studie rekommenderar regelbunden bortföring av gödsel från hagen för att minska problematiken kring näringsläckage.

I projektet Levande Kust av stiftelsen BalticSea2020 påpekas att mockning av rasthagar och säker gödsel förvaring är de viktigaste åtgärderna för att minimera näringsläckage från hästverksamhet (Kumblad & Rydin 2018b). Projektet uppskattade en fosforavskiljningsgrad på minst 50 % vid daglig mockning. De verksamma i stallet menade att de kunde få till en högre fosforavskiljningsgrad, dvs lyfta ut närmare 70-80 % fosfor ur hagen (Owenius 2015).

Hur ofta hagar mockas i Sverige skiljer sig åt eftersom det råder delade meningar om hur viktigt det är. I en enkätundersökning från 2018 svarade 94 % av de tillfrågade ridskolorna i Sverige (av totalt 93 ridskolor) att de mockar sina rasthagar. Vidare svarade 51 % av de som mockade att de mockar minst en gång i veckan, beroende på säsong,

väder och allmänna förutsättningar (Sandstedt 2018). Jordbruksverkets statistik på hur ofta hästägare mockar ser något annorlunda ut då majoriteten endast mockar ett par gånger om året, se figur 1.



Figur 1: Enkät svar hur ofta rast- och vinterhagar mockas 2016, figur från Jordbruksverkets rapport Hästhållning i Sverige (Kielen et al. 2016) sida 30.

Att mocka hagar är inte bara viktigt för miljön utan även på hästarnas hälsa. En vanlig spridningsväg för inälvsparasiter och larver är via hästgödel. Beroende på hästtätthet äter hästarna olika nära gödselhögar i hagen och riskerar då att smittas av olika typer av parasiter (Goodla 2019). Det är dock viktigt att inte glömma att mockning är ett slitsamt arbete som tar tid och är tungt att utföra. I många stall idag arbetar man fortfarande på samma vis som man alltid gjort, fullt av tunga lyft och gammal utrustning. I en doktorsavhandling från 2012 framgår att de främsta skadorna som rapporteras är axlar, nedre rygg och nacke. Mockning i stallet ansågs involvera tyngst arbete. Vidare analyserades längden på de grepar som användes vid mockning. Studien visade att gödselgrepen borde ha ett längre skaft för att minska belastningen på nedre ryggen samt att det var viktigt att ändra tekniken vid de nödvändiga tunga lyft som sker i stallet (Löfqvist 2012).

2.3 Fosfor

Fosfor är ett grundämne som förekommer naturligt och är en viktig förutsättning för allt levande (Parvage 2015). I naturen förekommer fosfor som en del av ekosystemen och dess kretslopp. När fosfor påträffas i en sådan omfattning att ekosystemens naturliga karaktär påverkas negativt och ekosystemfunktioner förändras anses ekosystemet övergött och fosfortillförseln behöver regleras. Det innebär att det alltid finns en naturlig tillrinning av fosfor, som mänsklig påverkan förstärker på så sätt att naturen påverkas negativt. Inom jordbruket är fosfor tillsammans med kväve och andra näringsämnen viktiga gödselmedel

för en god skörd. Eftersom fosfor är en icke-förnybar resurs är det extra viktigt att den ingår i cirkulära kretslopp och återanvänds istället för att hamna i haven, där den skapar problem (Snaprud 2010).

2.3.1 Fosfor i gödsel

I gödsel förekommer fosfor i organiskt material som löst reaktiv fosfor (Dissolved Organic Phosphorus, DRP) eller ortofosfat. Totalfosfor mäts genom att alla fosforföreningar bryts ned till fosfat, PO_4^{3-} . Organisk fosfor frigörs till löst fosfor, eller tas upp av mikroorganismer när det organiska materialet bryts ned. Det är den lösta reaktiva fosfor som riskerar läcka ut från hagar till ytvatten genom ytvavrinning. Där skapar den en obalans i näringshalten som kan leda till övergödning och/eller andra vattenkvalitetsproblem (NRCS 2007). För att bedöma risken att fosfor lakas ur gödsel har undersökningar gjorts på hur lösliga fosforföreningarna i hästträck är. Enligt en studie löstes minst 60 % av fosfor i gödsel ur med en svagt sur lösning, och något mindre med rent vatten (Jansson, Holtenius & Ragnarsson 2014).

Fosfor i gödsel förloras genom urlakning och när markpartiklarna hamnar i rörelse. Studier på lakvatten från gödselstackar visar att lakvattnet innehåller 100 gånger högre koncentrationer fosfor än vad dräneringsvatten från åkermark gör (Malgeryd & Persson 2013). En studie på ko-, kyckling- och grisködsel före och efter kompostering studerade läckagevattnet och kom fram till att den lösta halten fosfor i gödslet kan användas som parameter för att estimerar läckagerisk och ytvavrinning (Sharpley & Moyer 2000).

2.3.2 Fosfor i hage

Fosfor finns i olika former bundna till markens mineral och kemiska föreningar. De förekommer exempelvis som fosfatjoner som binds in till metallhydroxider i jorden, t.ex av järn, aluminium eller kalcium. I Parvage (2015) presenteras fosfor i hagen som löst reaktiv fosfor (DRP), Partikulär fosfor (Particulate P), organisk fosfor (Organic P) och Total fosfor (Total P) (Parvage 2015). Den totala fosforhalten i de översta 15 cm av jorden varierar stort mellan 200 och 2000 kg P/ha, med generellt något dominerande inorganiskt vs organisk fosfor (Brady & Weil 2017). Hur jorden ser ut och är uppbyggd är geografiskt specifikt och detsamma gäller dess fosforhalt. Hur mycket tillsatt fosfor som stannar i marken beror på hur bra fosfor binder till markpartiklarna och det påverkas av jordens egenskaper så som pH, tillgängliga katjoner och markens buffringsförmåga (Nash & Murray 2000). Den största mängden fosfor i jorden är otillgänglig för växter eftersom den är kemiskt hårt bunden. En annan del av fosfor är bunden i organisk form. Den förekommer som fria joner som adsorberats till marken (Ulén, Sverige & Naturvårdsverket 2005). I naturen omsätts den organiska formen av fosfor snabbare än oorganisk. Mark som under en längre tid har gödslats med stallgödsel har bedömts ha höga koncentrationer av oorganiskt fosfor. Det beror förmodligen främst på en snabb mineralisering av organiskt fosfor till oorganiskt fosfor (Bergström, Linder & Andersson 2008). Oorganisk fosfor är växttillgängligt och gynnar jordbruksgrödan. Det finns studier som visar på att stallgödsel ökar mängden lätttröglig fosfor som funnits längre ned i markprofilen än när man gödslar med mineralgödsel. Det kan bero på att organiska fosforkomplex kan förflyta-

ta sig snabbare än oorganisk fosfor, och är därmed en stor läckagerisk (Eghball, Binford & Baltensperger 1996).

I hästhagar beror den höga fosforhalten i marken främst på hur många hästar som vistas på vilken yta. Vidare är risken för läckage från hästhagarna störst i området i hagen där hästarna gödslar samt där de äter. Ofta är dessa separerade från varandra. Parvage estimerade att 34 000 hektar av den totala hästhagsarean på 300 000 hektar i Sverige utgör vinterrasthagar. Av de är ca 2 700 hektar mat- och gödselområden, dvs högriskområden för fosforläckage. Vidare kan 31 300 hektar estimeras till betesmark som har en medelrisk för fosforläckage. Vidare studerades fosforläckage från marken i olika delar av hagar. Resultatet visade att från lermark läcker det mest fosfor från delarna av hagen där hästarna gödslar, 46 % löst reaktiv fosfor (DRP) och 47 % partikulärbunden fosfor (PP). Även för mark bestående av sand utmärkte sig delarna av hagen där hästarna gödslar. Det framgår även att två till tre hästar per hektar utgör en stor risk för fosforläckage vilket skulle innebära att risken för fosforläckage från hästhagar i Sverige är stor, baserat jordbruksverkets statistik på fem hästar per hektar i svenska rasthagar (Parvage 2015).

2.3.3 Beräkningar av fosforbelastning i hagar

Enligt jordbruksverkets beräkningar, presenterade i tabell 1, kan fosforinnehåll i gödsel beräknas beroende på foderstat. Schablonmässigt kan även beräkningarna göras med ekvation 1 (Länsstyrelsen i Västra Götalands län 2008).

$$m_{year} = n \cdot (d/365) \cdot 0,5 \cdot 9 \quad (1)$$

där m_{year} är massan fosfor per år i kg, n är antal hästar i hagen, d är hur många dagar om året hästarna går ute. Utifrån den schablonmässiga beräkningen så antas hästarna vara ute i hagen halva dygnet (0,5) och gödsla 9 kg fosfor per år (för en normalt betande häst). Eftersom hästarna går ute i rasthagarna endast under vinterdelen av året kan det antas vara ca 245 dagar (början av oktober till slutet av maj). I doktorsavhandlingen av Parvage (2015) estimerades fosfortillförseln i hagar genom att ta ett medelvärde på årsbasis på hästdensiteten. Enligt studien tillförs i medel 60 kg fosfor/hektar (38 till 108 kg).

$$m_{fosfor} = A \cdot B \quad (2)$$

där m_{fosfor} är massan fosfor, A är arean i hektar och B är belastningen i kg fosfor/hektar. Parvage baserade siffrorna på en medelhästtäthet på 8.6 hästar per hektar i hagar som var 23 år gamla (Parvage 2015).

2.3.4 Spridningsvägar

Fosfors väg från hästhagar till Östersjön är komplex och beror på geografiska förutsättningar. Vid modellering av fosfors väg antas näringsämnen spridas till Östersjön på tre olika sätt: via vattendrag, via luft eller via direkta källor som exempelvis reningsverk.

Spridningen via luften är enligt Helsinkikonventionen HELCOM (se avsnitt 2.4.1) liten (6.3 %) och sker främst utan mänsklig påverkan. Därför kan spridningen via luften inte antas åtgärdas lika mycket som via vattendrag och direkta källor. Källor som går att påverka är istället direkta källor och vattendrag. Fosfor som läcker från hästhagar bidrar till vattenburen fosfor till Östersjön. Den fosfor som binds in i marken lakas ur och förs vidare till närliggande vattendrag, alternativt att ytavrinning sker från hagen direkt till närliggande vatten. Näringstillförseln till Östersjön domineras av vattendrag och 89 % av totalfosfor i Östersjön år 2014 har transporterats dit via just vatten. Man delar generellt in utsläppen till Östersjön i direkta och diffusa källor där hästhagarna räknas till de diffusa utsläppen. Fosfor som tillförs via det traditionella jordbruket klassas också som diffusa källor och står för 36 % av den totala tillförda fosfor från vattendrag (HELCOM 2018). För direkta källor däremot, som reningsverk och enskilda avlopp, har tillförseln av fosfor minskat till följd av mer kunskap om fosforläckage, bättre reningsmetoder och större krav på fosforrening. Idag står direkta källor för mindre än 5 % av fosfortillförseln till Östersjön (ibid.). Ett modernt reningsverk, som räknas till de direkta källorna, har en fosforreningssgrad på närmare 96 % (Naturvårdsverket 2016).

2.3.5 Retention

All fosfor som släpps ut i naturen hamnar inte i Östersjön. När man följer fosfors väg från hästhagen till havet tas fosfor upp i ekosystemen den passerar. Det kan exempelvis ske via adsorption eller sedimentation till botten. Retentionen anger hur stor andel som avskiljs från bruttobelastning från ett område eller hästhage. Nettobelastning på havet blir då bruttobelastning minus retention. Delar av den fosfor som tillförs Östersjöns avrinningsområde stannar i mark, sjöar och vattendrag och når aldrig havet. I projektet Levande Kust som behandlade just fosforläckage från hästhagar användes en genomsnittlig retention på 30 % från hagen till havet (Kumblad & Rydin 2018b).

2.4 Östersjön

Östersjön är ett artfattigt hav och är därför extra känsligt för yttre påverkan. När en arts ekosystemfunktion försvinner i ett ekosystem med stor biologisk mångfald kan en annan art ta över dess roll. I ett känsligt hav som Östersjön kan istället en arts ekosystemfunktion gå förlorad. Östersjön är ett grunt, bräckt hav med ett medeldjup på 55 meter och en omsättningstid på ca 30 år. Miljödebatten om Östersjön fokuserar på miljögifter, plast, ohållbart fiske och övergödning. Det främsta synliga tecknet på Östersjöns övergödning är den algblomning som förekommer varje sommar. Då bildas en stor mängd blågröna alger som är en av anledningarna till att Östersjön kallas *världens mest förorenade hav* (Naturskyddsföreningen 2018).

2.4.1 HELCOM

Det sker ett konstant arbete med att förbättra Östersjöns status. Länderna runt Östersjön har samarbetat sedan 1974 när Helsingforskonventionen, HELCOM, bildades i syfte att

skydda Östersjön. Åtgärdsplanen *Baltic Sea Action Plan* togs fram för att nödvändiga åtgärder skulle sammanställas och återställa Östersjön till en *god ekologisk status* före 2021. För att klara målen behöver Sverige minska sina utsläpp, enligt Country Allocated Reduction Targets (CART), med 530 ton fosfor per år (Kumblad & Rydin 2018a). Projektet BalticSea2020 estimerar att ungefär 83 ton fosfor kan nå Östersjön årligen från hästnäringen i Sverige (Kumblad & Rydin 2018b), dvs nästan 16 % av den fosfor Sverige åtagit sig minska.

På uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten under 2016 kartlades utsläppen av fosfor och kväve till Östersjön av Svenska MiljöEmissionsData (HELCOM 2018). Där kvantifierades olika länders bidrag av bland annat fosfor till Östersjön med statistiska estimeringar baserat på data från respektive land mellan 1995 och 2014. I rapporten definieras *Maximum Allowable Inputs* (MAI) för varje parameter för att indikera hur mycket exempelvis fosfor som är tillåtet för att nå miljömålet *ingen övergödning*. År 2016 klarade inga länder taket för fosfor för samtliga delar av Östersjön. Däremot minskar tillrinningen av fosfor generellt till följd av effektiva åtgärder och mer kunskap om användning av fosfor (ibid.).

2.4.2 Fosfor är en ändlig resurs

Fosfor är en viktig resurs för matproduktion i världen. Förenta Nationerna har sammanställt data över världens befolkning och förutspår att världens befolkning kommer bestå av 9 miljarder människor år 2050 (United Nations 2019). Det är en befolkningsökning på 2 miljarder fler människor som behöver mat. Stora delar av världen har fosfatfattiga jordar samtidigt som haven övergöds med viktiga näringsämnen. Att det finns ett underskott i jordbruket och ett överskott i haven pekar mot att en cirkulär näringsåterförsel inte bara kommer vara något man siktar på. I framtiden kommer behovet av fosfor vara större och därmed även efterfrågan (Snarud 2010).

2.5 Lagstiftning gällande häst

I Sverige trädde miljöskyddslagen i kraft år 1969 som gjorde det möjligt att ställa krav på verksamheter med utsläpp till vatten. Andra kapitlet i miljöbalken ställer krav på försiktighet och att vidta åtgärder för att skydda, förebygga och motverka risk för skada på miljö eller hälsa. Miljöbalken ställer även krav på kunskap, både att verksamhetsutövare ska ha kunskap om huruvida verksamheten riskerar att påverka miljön samt den påverkan kan förhindras (*Miljöbalk (1998:808)* 1998). Tillsynsmyndigheten, som ofta är kommuner, kan med stöd i miljöbalken ställa krav på även småskalig djurhållning så som hästverksamheter. Då görs alltid en rimlighetsavvägning, dvs hur mycket en insats kostar för miljön jämfört med miljönyttan. Hästhållning faller även under *Förordning (1998:901) om verksamhetsutövares egenkontroll* där det bland annat ställs krav på att *fortlöpande kontrollera att utrustning m.m. för drift och kontroll hålls i gott skick, för att förebygga olägenheter för människors hälsa och miljön* (Riksdagsförvaltningen 2016).

År 2016 beslutade EU om en ny djurhälsoförordning, Animal Health Law (AHL). Förordningen träder i kraft 2021 och ska fungera som en ramlagstiftning och innehåller förordningar, direktiv och beslut som ska reglera både djurhälsa och smittskydd. Ett av

skälen till att den nya förordningen tagits fram är de *..negativa interaktiva effekter när det håller biologisk mångfald, klimatförändringar och andra miljöaspekter. Klimatförändringen kan påverka uppkomsten av nya sjukdomar, befintliga sjukdomars prevalens och den geografiska utbredningen av sjukdomsagens och vektorer, inklusive sådana som kan drabba vilda djur* (Jordbruksverket 2020).

Vad som gäller utomhusvistelse för hästar framgår i Jordbruksverkets föreskrifter om hästhållning. Där gäller att *....hästar ska kunna röra sig fritt i sina naturliga gångarter utomhus...* samt att *.. hagar ska vara tillräcklig dränerade eller ha motsvarande egenskaper* (Jordbruksverket 2019a). Hur stor yta det rör sig om, eller vad tillräckligt dränerad innebär framgår dock inte. Föreskrifterna ger därmed utrymme för egna tolkningar.

2.5.1 Rådande lagstiftning för gödsling av jordbruksmark

Vad gäller tillförsel av organiska gödselmedel till jordbruksmark däremot är reglerna tydliga, jordbrukare får inte sprida mer än 22 kg fosfor per hektar och spridningsareal och är på jordbruksgrödorna (Jordbruksverket 2010). Lagen gäller för spridningsareal för den gödsel som producerats på en gård. Djur som betar i hagar på lantbruk omfattas inte av denna regel, varken för höns, kor, hästar eller får. Här finns inga regler. Men, om en fritidshäst utsöndrar ca 9 kg fosfor/år i sin träck, se tabell 1, och tillbringar hälften av den tiden utomhus så sprids ungefär 4,5 kg fosfor/häst och år. Det innebär att mer än 5 hästar/hektar gödslar mer än 22 kg fosfor per år (5 hästar x 4,5 kg fosfor/år 22,5 kg fosfor/år) och skulle därför överskrida gränsen för vad en lantbrukare får sprida på åkermark. När det kommer till spridning av gödsel på åkermark är det dessutom inte tillåtet att sprida gödsel på vattenmättad/översvämmad mark samt under vinterhalvåret (1a januari till 15e februari). Under vinterhalvåret är det istället krav på att lagra gödseln. Gödsling med stallgödsel får dessutom bara ske i växande gröda (ibid.).

2.5.2 EU-direktiv

Av länderna kring Östersjön är åtta av nio medlemmar i EU. Utöver Sverige är Finland, Estland, Lettland, Litauen, Danmark, Polen och Tyskland medlemmar i EU och har därmed åtagit sig att följa EU-direktiv. Ett EU-direktiv är bindande för medlemsländer varpå medlemsländerna själva avgör hur det specifika målet som anges i direktivet ska uppnås. I Sverige stiftar riksdagen lagar för att uppnå EU-direktiv (Sveriges Riksdag 2019). Bestämmelserna för vad som gäller för en specifik hästgård bedöms efter huruvida gården ligger inom ett så kallat EU-klassat nitratkänsligt område. Att säkerställa god vattenkvalitet är en av hörnstenarna i EU:s miljöpolitik och syftet med nitratdirektivet är att skydda vattenkvalitet genom att använda bra jordbruksmetoder. För områdena som klassas som nitratkänsligt område finns mer utvecklade bestämmelser för att minska näringsförlusterna. Dessa ses över var fjärde år och nödvändiga ändringar och tillägg görs (Jordbruksverket 2019b).

Enligt EU:s ramdirektiv för vatten ska alla ytvatten uppnå god ekologiskt status senast år 2027. Vattendirektivet antogs år 2000 och har som syfte att skydda och förbättra vattenkvalitet inom EU. Direktivet finns infört i svensk lag i bland annat femte kapitlet i miljöbalken och i *förordning (2004:660) om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön*. Det

är fem länsstyrelser som är vattenmyndigheter och som ansvarar för vattenförvaltningen i Sverige (*Vattendirektivet* 2019). Direktivet är bindande för myndigheter och kommuner, men inte för enskilda brukare eller markägare (Regeringskansliet 2016).

EU har även ett såkallat havsmiljödirektiv med syfte att uppnå god miljöstatus i Europas hav senast 2020. Ansvariga för att uppfylla direktivet i Sverige är Havs- och vattenmyndigheten. År 2010 blev havsmiljödirektivet infört i svensk lagstifning via havsmiljöförordningen. I direktivet ingår att klassificera och följa upp god miljöstatus i svenska hav. År 2018 rapporterades att god miljöstatus inte bedöms kunna uppnås i de flesta fall till år 2020. År 2021 ska ett åtgärdsprogram beslutas. Bland de belastningar som enligt rapporten från 2018 är mest aktuella listas tillförsel av näringsämnen som kväve och fosfor (Havs- och vattenmyndigheten 2018).

2.5.3 Lagring av hästgödsel

Jordbruksverket har bestämmelser för lagringskapacitet för hur länge du ska lagra din gårdsgödsel innan det får spridas på åkrar, enligt *förordningen (1998:915) om miljöhänsyn*. Om du har två eller färre djurenheter finns inga generella lagringskrav på gödsel. Detsamma gäller gårdar som har mer än tio djurenheter men befinner sig utanför nitratkänsligt område. Det är dock viktigt att poängtera att även om en gård inte faller under specifika krav på lagring finns alltid en skyldighet enligt miljöbalken att hantera gödsel så det inte förorenar vatten eller skadar människors hälsa. För de gårdar som däremot befinner sig inom nitratkänsligt område ska hästgödsel lagras i mellan 6 och 8 månader innan det får spridas på åkermark (Jordbruksverket 2019c).

2.6 Faktorer som påverkar näringsläckage

I naturen finns det många faktorer som kan påverka fosforläckaget i hagar. Fosforläckaget kan delas in i två typer:

- 1) långsiktigt läckage som beror på ackumulerad fosfor i hagen.
- 2) direkt läckage där fosfor lämnar hagen med ytavrinning i samband med nederbörd.

Den första typen, långsiktiga läckaget minskas genom att inte mätta marken på fosfor. Fosfor hamnar i jorden när partiklarna hamnar i rörelse och hästarna trampar ned det i jorden, samt eventuellt när gödsel utsätts för nederbörd. Här spelar hagens ålder stor roll för läckagerisken. Den andra, direkta läckaget av fosfor genom ytavrinning påverkas av nederbördsintensitet samt lokala förhållanden i hagen. En hage som är väl-dränerad löper t.ex. mindre risk för att fosfor ska transporteras med ytavrinning (Schoumans & Groenendijk 2000).

Båda typerna av läckage påverkas av hästdensiteten, dvs fler hästar på liten yta ökar risken för läckage. Marken riskerar då att bli övergödslad, trampad och lerig vilket medför att markpartiklarna sätts lätt i rörelse. Idag finns det inga tydliga regler för vilken yta hästarna bör ha tillgång till, men enligt Parvages studie utgör fler än två till tre hästar per hektar en stor risk för fosforläckage. Den siffran påverkas av hur mycket hästarna är ute samt om hagen är upp trampad (Parvage 2015).

En annan faktor som är viktig att studera är väderförhållanden. Hästar ska idag ha möjlighet att vara ute dagligen året runt även under vintermånaderna. När marken fryser infiltrerar inte vattnet marken och istället ökar ytavrinningen. Jordbruksverket publicerade 2011 en riskvärderingsmall för näringsläckage vid hästhållning där de, baserat på en studie från 1995 om boskap, rekommenderar att minst 80 % av växttäcket ska hållas intakt för att minska risken för näringsläckage (Jordbruksverket 2011).

2.7 Åtgärder och rekommendationer för näringsläckage från hagar

Eftersom gödselhanteringen i rasthagar uppmärksammas finns det åtgärder som har visat sig olika effektiva. Metoderna kräver även olika förutsättningar på gårdarna de kan appliceras på. För att minska näringsläckage anläggs exempelvis kantzoner. En kantzon är ett gränsskikt mellan hagen och vattendraget som kan användas som buffert för näringsämnen från marken. Kantzonen stabiliserar jorden och minskar på så vis erosion från hagen. Kantzonerna kan bromsa uppemot 60-80 % av det fosfor som passerar beroende på hur breda de är (Karlsson 2014). Kantzoner är framförallt effektiva i anslutning till hagar som har problem med ytavrinning till följd av hård och trampad mark. Vattnet kan då infiltrera marken i kantzonen istället för att rinna direkt ned i närliggande vattendrag. Skördar man dessutom gräset i kantzonen förbättras infiltrationen i marken och därmed även kantzonens förmåga att ta upp fosfor (Lantbruksforskning & Geranmayeh u.å.).

En annan metod är att strukturkalka hagen, dvs tillsätta bränd kalk för att förbättra markstrukturen och minska ytavrinningen. Mer vatten och mer fosfor kan då infiltrera marken i hagen men marken blir bättre på att ta upp fosfor så att dräneringsvattnet från hagen blir renare (Regner 2019). Man kan även anlägga skåldiken, plantera fånggrödor eller anlägga fosfordammar (Aronsson & Salomon 2017).

Fosforhalten i hagen varierar beroende på var hästarna äter och gödslar. Ett sätt att minimera näringsläckaget är att inte mata hästarna direkt på marken och inte heller på samma ställe hela vintern då marken påverkas av att hästarna står på samma plats varje dag. Istället kan en matanordning användas, och matplatsen variera, så att foderspill inte bidrar till ackumulering av fosfor i marken och i längden läckage.

I projektsamarbetet Greppa Näringen från jordbruksverket, länsstyrelserna, Lantbrukarnas Riksförbund (LRF) och företag inom lantbruksnäringen rekommenderas åtgärder mot övergödning. De rekommenderar att mocka hagen 1-2 gånger per vecka, städa undan foderspill, se till att dräneringen fungerar som den ska, använda stängsel och skyddszoner, vårda vegetationstäck och betesgräs samt se över foderstaten för att minska överutfodringen (ibid.). Projekt för att utbilda hästägare, och uppmärksamma hästgödsel som resurs pågår runt om i landet. Ett exempel är projektet *Skitsmart*, grundat av hästnäringens nationella stiftelse. Projektet syftar till att öka medvetenhet och ge kunskap om hästhållarens ansvar gällande gödselhantering (HNS u.å.).

2.8 Statlig utredning: stärkt lokalt åtgärdsarbete kring övergödning

Åtgärdsarbetet mot övergödning i Östersjön pågår på olika nivåer och att förbättra hästnäringens påverkan räknas till lokala åtgärder. I februari 2020 publicerade regeringen en statlig utredning om minskad övergödning genom ett stärkt lokalt åtgärdsarbete. De uppmärksammar den oundvikliga produktionen av gödsel med näringsämnen från hästhållningen och understryker att det *alltid finns en stor risk för att dessa näringsämnen, förr eller senare, hamnar i vatten* (SOU 2020:10 2020). Utredningen lyfter också det ekonomiska perspektivet att ett högre pris på näringsämnen till jordbruket skulle ge hästnäringen starkare ekonomiska incitament att ta tillvara på näringen i gödsel. Utredningen sammanfattar att det inte kan ligga på enskilda hästägare att ta ansvar utan att det behövs politiska styrmedel och en fungerande mekanism som i praktiken kan väga ihop alla aktörers intressen. Det är alltså viktigt för varje enskild hästägare att ha kunskap om vad som skulle kunna förbättra hanteringen av gödsel, samt incitament att agera. Utredningen fastställer att så mycket som möjligt av hästgödseln bör samlas in och hagar bör mockas regelbundet, den nämner dock inte hur regelbundet. Behovet av mockning är enligt utredningen störst på partier som är blöta, upptrampade, nära diken eller utsatta för mer avrinning. Behovet minskar om vegetationsskiktet är intakt. Mockning bör ske oftare om hästarna hålls på en liten yta, nära diken eller vattendrag. Mockning bör även ske ofta vid hästarnas gödselplatser i hagen samt under regniga perioder när näring riskerar att transportera bort med ytavrinning (ibid.).

2.9 Ekonomiska perspektiv på gödselhantering

Gödsel värderas utifrån en rad olika faktorer, till exempel mottagaren. En lantbrukare som tar emot hästgödsel värderar gödsel beroende på dess växtnäringsinnehåll anpassat till sina grödor. Gödselns näringsvärden i sin tur påverkas främst av foderstat, men även hur mycket strö eller torv som följer med från boxen och hamnar på gödselstacken. Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Maskinring Sjuhärad Ekonomisk förening och Hus hållningssällskapet Sjuhärads hästrådgivning har arbetat fram underlag för att värdera hästgödselns potential och näringsinnehåll. Vidare har de tagit fram en mall riktad till både stallägare och lantbrukare för att kunna sluta samarbetsavtal gällande gödselhantering. Hästgödsel som kan användas på närliggande åker ingår i ett hållbart kretslopp där näringen tas tillvara på lokalt. I projektet togs även en beräkningsmodell fram för att värdera hästgödsel både för stallägare och lantbrukare. Modellen har i syfte att vara ett konkret verktyg för att värdera betydelsen av hästgödsel och dess näringsinnehåll från ett ekonomiskt perspektiv (Alonzo & Henriksson 2016).

Det som kostar mycket för stallägare idag är gödselhanteringen och den kostnaden varierar geografiskt. I Göteborg gjordes 2013 en estimering att kostnaden varierar mellan 100 - 6000 kr/häst och år, med medelvärdet 980kr/häst och år (ibid.). Idag är det vanligaste sättet att ta hand om gödsel så kallad konventionell hantering med gödselplatta. Där beräknas enligt en studie från 2001 en genomsnittskostnad på 98 kr per ton gödsel, 757 kr per ton för gödsel som läggs på deponi och för gödsel som inte hamnar på deponi eller sprids på åker beräknas 253 kr per ton. Växtnäringsvärdet varierar mellan 25 och 27 kr per

ton vid konventionell hantering. Om gödseln istället snabbkomposteras är den värd mellan 35 - 45 kronor per ton (Hammar 2001). Enligt Baltic Sea 2020 estimerades en kostnad på 2000 kr per kg fosfor som omhändertas på hästgården. Då har en sammanlagd åtgärdsplan räknats in i summan. Samma studie påvisar att åtgärder på hästgårdar, särskilt på större gårdar med fler än 15 hästar, är kostnadseffektiva. För mockning av hagar med eldriven skottkärra har projektet Levande Kust uppskattat 2 500 kr/kg fosfor för små gårdar (max 5 hästar) och 400 kr/kg fosfor för större gårdar (15-20 hästar). Beräkningarna förutsätter att gården har en tät gödselplatta med kanter som minimerar läckage (Kumblad & Rydin 2018a). Vatteninformation Sverige (VISS) har beräknat kostnaden för åtgärden *Minskat fosforläckage vid spridning av stallgödsel* till 1650 kr per år för minskning per kg/år totalfosfor (VISS 2019).

Arbetskostnaden för att samla in gödsel från en hage kan estimeras med hjälp av lönestatistik. En lantbrukare tjänar idag i medel 23 600 kr i månaden. Definitionen på arbetet är då *Bedriver avel, uppfödning och skötsel av lantbrukets husdjur för produktion av mjölk, kött, ägg m.m. Skor hästar. Underhåller ekonomibyggnader, maskiner och utrustning.* (Yrkeskollen 2020). Det motsvarar en timlön på $23\,600 / 167 \approx 140$ kr i timmen.

2.10 Statistiska tester

2.10.1 Shapiro-Wilks test

Ett Shapiro Wilks test används för att studera normalfördelningen hos ett dataset. Ger Shapiro Wilks testet ett litet värde förkastas nollhypotesen att datan är inte normalfördelad. Signifikantnivån är normalt 5 % och nollhypotesen förkastas om alpha-level är under 0,05. Testet är begränsat och har framförallt ett biasfel som blir större vid större dataset. Ett stort dataset ökar sannolikheten att få ett statistiskt signifikant resultat (Lohninger u.å.).

2.10.2 Pearson korrelation

Pearson korrelation använder samma princip som linjär regression och förutsätter normalfördelad data. Pearson korrelationen är ett parametriskt test som utvärderar statistiskt hur starkt två parametrar korrelerar. Testet fungerar mindre bra på dataset där den ena parametern orsakar en respons hos den andra (Yeager u.å.).

3 Metod

För att besvara frågeställningarna har följande metoder använts:

- För att utveckla en metod i fält genomfördes en litteraturstudie presenterad i bakgrunden av rapporten.
- Arbetet med att besvara frågeställningarna genomfördes i dialog med delar av hästnäringen vid olika tillfällen under arbetets gång.

- Hur utvalda faktorer styr läckaget från hästgödsel undersöktes genom en litteraturstudie tillsammans med en fältstudie på hur fosfor i gödsel förändras över tid (provtagning av gödsel i cylindrar, se avsnitt 4.2), samt med kontroll i laboratorium hur gödsel påverkas av regnmängd (bevattningsstudie, se avsnitt 4.3).
- Hur mycket fosfor som samlas in vid olika frekvenser av mockning besvarades genom en fältstudie där fyra olika mockningsfrekvenser studerades (Fältundersökning mockning, se avsnitt 3.2).

3.1 Dialog med olika aktörer inom hästnäringen

För att ge projektet större relevans och för att få en bättre bild av hur hästhållningen ser ut i Sverige idag hölls vid flera tillfällen kontakt med projekt inom häst och övergödning. Vid ett antal träffar gavs tillfälle att få input från hästnäringen samt diskutera nästa steg i projektet:

- Nu snackar vi skit!- en träff om hästgödselhantering, nätverk och praktiska lösningar. Heby kommun 2020-02-02.
- Östersjöcentrum träff, dialog med andra hästprojekt 2020-02-05
- Greppa näringens konferens och diskussioner kring rådgivning till hästnäringen i södra Sverige 2020-02-13
- Race For The Baltics referensgrupp möte med hästägare 2020-02-14

3.2 Fältundersökning mockning

3.2.1 Provtagningsplats

Studien genomfördes utanför Stockholm i en vinterhage på 900 m², se figur 2. Gården har bedrivit lantbruk sedan 1700-talet och marken tillhör idag kommunen. De är helt självförsörjande på hösilage till övriga djur och har 100 ha betes- och odlingsmark. I hagen som användes i studien gick två normalstora hästar. Det ger en hästtäthet i hagen på 22 hästar/hektar som motsvarar 4,4 gånger fler hästar per hektar än snittet i Sverige. Hästarna gick ute i hagen i snitt 7,7 timmar per dag under de två månader fältstudien pågick, vilket enligt hästägarnas referenser var relativt mycket jämfört med andra stall.



Figur 2: Flygfoto över provtagningsplatsen, (Google Earth u.å.).

Hagen var överlag lerig, men grusad i området där hästarna fodrades, fick vatten samt in- och utgång i hagen. Hästarna gödslade inte märkbart mer i någon specifik del av hagen utan gödslade jämnt överallt. Hästägarna hade ingen uppfattning om huruvida hästarna gödslar mer inne eller ute. Innan studien började nollställdes hagen genom att mockas noggrant, se figur 3a och 3b. Den lilla gödsel som var kvar i hagen efter nollställning antogs inte heller kunna mockas upp under studien.



(a) Gödsel före mockning.



(b) Gödsel kvar efter mockning.

Figur 3: Exempel på hur hagen såg ut före och efter mockning.

3.2.2 Mockningsfrekvens och provtagning

Hästarnas foderstat hölls konstant under hela fältstudien där häst ett åt 24,3 g fosfor per dygn och häst två 23,8 g fosfor per dygn. Tiden hästarna vistades i hagen loggades i syfte att göra en bra uppskattning av gödselbelastningen på hagen, se bilaga A. Tiden

för daglig mockning tog i snitt 10-15 minuter, för veckovis mockning cirka 2 timmar och för månadsvis mockning cirka 3,5 timmar.

Under studiens första dag togs ett *nollprov* per häst av ströfritt gödsel från boxen. Från litteraturstudien som verifierade att hästträck innehåller lika mycket fosfor om hästens foderstat hålls konstant, antogs nollprovet vara representativt för alla mockningsdagar då hästarna hade samma foderstat. Detta verifierades med ett nollprov till som togs två veckor efter det första nollprovet.

För att besvara frågeställningen *Hur mycket fosfor samlas in i hästhagar vid olika mockningsfrekvenser?* studerades tre olika mockningsfrekvenser. Frekvenserna valdes baserat på hur ofta hästägare mockar sina hagar idag, se avsnitt 2.2.3.

- 1 gång/dag
- 1 gång/vecka
- 1 gång/månad

Hagen mockades under totalt två månader i huvudsak av en och samma person för att minska felmarginaler och teknikpåverkan. Grep och kärra användes som redskap. Mockningsschemat under dessa två månader presenteras i tabell 2.

Tabell 2: Mockningsschema för fältstudien för de tre olika mockningsfrekvenserna. Blandproverna var prov daglig mockning som under vecka ett och två skickades på fosforanalys dag 7. TS står för torrsubstansprover. Daglig mockning genomfördes 14 gånger, veckovis mockning 2 gånger och månadsvis mockning 1 gång

Vecka / Dag	1	2	3	4	5	6	7
1	TS + blandprov	TS + blandprov	TS + blandprov	TS + blandprov	TS + blandprov	TS + blandprov	TS + blandprov
2	TS + blandprov	TS + blandprov	TS + blandprov	TS + blandprov	TS + blandprov	TS + blandprov	TS + blandprov
3							Fosforprov
4							Fosforprov
5							
6							
7							
8							Fosforprov

All inmockad gödsel vägdes i en kasse på fodervågen i stallen och vikten för kassen, 0,13 kg (IKEA 2020), subtraherades från varje prov. Exempel på hur det såg ut vid provtagning presenteras i figur 4 och figur 5.



Figur 4: Provtagning från inmockat gödsel till provtagningspåse.



Figur 5: Bild på provtagningspåsen och laboratoriumets provburkar.

Det inmockade gödslet i kassen blandades om och gödsel från fyra olika delar av kassen lades i en mindre provtagningspåse. Påsen märktes med datum och placerades sedan i en snapp-lock låda, mörkt och svalt. Gödseln som insamlats från dag ett till sju vägdes upp sista dagen, både vecka ett och vecka två, se figur 6. Mixen av 400 g gödsel per dag blandades för att få ett representativt prov för hela veckan, se figur 7. För att få en högre noggrannhet i fosforanalysen skickades två prov på analys från blandat gödsel under perioden med daglig mockning. Från proverna skickades sedan 25 gram gödsel till laboratorium.



Figur 6: Från varje dag under intervallet daglig mockning vägdes 400 g gödsel upp och lades i den grå hinken för att blandas till ett representativt blandprov.



Figur 7: Gödsel homogeniserades och två stycken prover togs från olika delar av hinken för att få ett representativt prov från 7 dagar.

3.2.3 Hur mycket gödsel hamnar i hagen?

En estimering av gödselbelastningen på hagen togs fram med hjälp av nollproven och hästarnas beräknade foderstat. Fosforkoncentrationen från nollproven presenteras i tabell 3 som visar hur mycket fosfor gödseln innehöll före läckage.

Tabell 3: Resultat från labbet från nollproven som visar hästgödsels fosforkoncentration, taget i boken före läckage. Mätosäkerheten är angiven som en utvidgad osäkerhet med en konfidensnivå på 95 % enligt (JCGM 2008). Se avsnitt 3.5.3

Nollprov nummer	Fosfor mg/kg TS	Mätosäkerhet ±	TS %	fosfor mg/kg
1 (häst 1)	4820	1040	21.1	1017
2 (häst 2)	4130	868	22.9	946
3 (häst 1)	3380	716	23.3	788
4 (häst 2)	6110	1300	24.2	1479
MEDEL	4610	981	22.9	1057

Från foderstatsberäkningarna för hästarna framgår att häst 1 äter 24,2 g fosfor per dag och häst 2 äter 23,8 g fosfor per dag. Koncentrationen för häst 1 och 2, c_1 och c_2 , beräknades genom att ta ett medelvärde av nollprov för respektive häst. Hur många kg hästarna gödslar per dag beräknades med ekvation 3 och 4.

$$\frac{m_1}{c_1} = \frac{24200}{902.3} = 26,8 \text{ kg} \quad (3)$$

$$\frac{m_2}{c_2} = \frac{23800}{1212.2} = 19,6 \text{ kg} \quad (4)$$

där m är massan fosfor i mg och c är fosforkoncentrationen i mg/kg. Index 1 och 2 motsvarar häst 1 och häst 2.

För att beräkna den totala gödselbelastningen på hagen från båda hästarna per dag summerades först resultatet från ekvation 3 och 4 till 46,4 kg gödsel per dag. Från samställningen över hästarnas tid i hagen tillbringade de under de första två veckorna 31,2 % av varje dygn i hagen. Det ger en medelbelastning på hagen på 14,5 kg gödsel per dygn, förutsatt att hästarna gödslar jämt över dygnet. Det motsvarar 7,2 kg gödsel i hagen per dygn och häst under daglig mockning. Under intervallet veckovis mockning belastades hagen med 7,4 kg gödsel i hagen per häst och dygn. Vid månadsmockning var motsvarande siffra 7,6 kg gödsel. Belastningen beräknades utifrån de loggade hästtimmarna i hagen, se bilaga A.

3.2.4 Hur mycket fosfor hamnar i hagen?

Gödsel från båda hästarna, som inte ännu hamnat i hagen innehöll ca 4610 mg/kg TS fosfor, se tabell 3. Hästarna var ute i snitt 32,2 % under hela fältstudien. Totalfosforbelastning på hagen beräknades enligt ekvation 5

$$B = n \cdot c \cdot TS \cdot m_{\text{gödsel}} \cdot t \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

där B är belastningen i kg fosfor, n är antal hästar, c är koncentrationen i mg/kg TS, TS är torrsubstansen, $m_{\text{gödsel}}$ är massan i kg gödsel per dygn i hagen, t är tiden i hagen angett i dagar och 10^{-6} omvandlar mg till kg.

Delen av dygnet en häst tillbringade i hagen utslaget över två månader var 32,2 %.

$$B = 2 \cdot 4610 \cdot 0,229 \cdot 245 \cdot 0,322 \cdot 23,2 \cdot 10^{-6} = 3,9 \text{ kg fosfor}$$

Den totala belastningen på hagen från två hästar efter 245 dagar var 3,9 kg fosfor. Fosforbelastningen beräknades för varje mockningsintervall.

- **Fosforbelastning per dag** Under intervallet veckomockning belastas hagen med 15.3 g fosfor totalt per dag. Dvs 7.7 g fosfor per häst och dag i hagen.
- **Fosforbelastningen per vecka** Under intervallet veckomockning belastades hagen med 113g fosfor per vecka. Dvs 56.5 g fosfor per häst och vecka i hagen, och 8.1 g fosfor per häst och dag i hagen.
- **Fosforbelastningen per månad** Under intervallet månadsmockning belastades hagen med 452g fosfor per månad. Dvs 226 g fosfor per häst och månad i hagen, och 8.1 g fosfor per häst och dag i hagen.

Mängd fosfor per år från nollproven

För att jämföra nollprovets fosformängd med de 9 kg fosfor som jordbruksverket estimerar kommer från en häst per år, beräknas fosfor per år med ekvation 6.

$$m_{\text{fosfor } 0} = c_{\text{fosfor}} \cdot TS \cdot m_{\text{gödsel}} \cdot d \quad (6)$$

där m_{fosfor} är massan fosfor per år i kg, c_{fosfor} är fosforkoncentrationen i mg/kg TS, TS är torrsubstansen, m_{godsel} är mängden gödsel per häst och dag och d är dagar på ett år.

$$4610 \cdot 0,229 \cdot 23,2 \cdot 365 = 8,9 \text{ kg}$$

Dessa 8,9 kg stämmer mycket väl överens med jordbruksverkets beräkningar för fosfor i träck hos en fritidshäst, se tabell 1.

Fosforbelastningen enligt jordbruksverket

Enligt jordbruksverkets beräkningar för fosforbelastningen på hagen per år enligt ekvation 1 beräknades belastningen på hagen enligt

$$2 \cdot (245/365) \text{år} \cdot 0,5 \cdot 9 \text{ kg fosfor} = 6 \text{ kg fosfor/år} \quad (7)$$

Dvs högre belastning än de 3,9 kg fosfor som beräknades i den här studien, se ekvation 3.2.4. Den stora skillnaden är del av dygnet hästarna går ute. Jordbruksverket använder 50 % medan hästarna i den här studien gick ute i ca 32 %.

3.2.5 Beräkningar mockning i hagen

Under vecka ett och två beräknades ett medelvärde från blandprovets fosforkoncentration i mg/kg TS. Den totala fosformängden i mg för varje dag under veckorna beräknades genom att multiplicera fosforkoncentrationen för blandprovet i mg/kg TS med vikten [kg] inmockat gödsel och TS för dagligt inmockat gödsel. Beräkningarna presenteras i ekvation 8.

$$m_{fosfor} = c_{fosfor \text{ blandprov}} \cdot m_{inmockad \text{ godsel}} \cdot TS_{prov} \quad (8)$$

där m_{fosfor} är massan fosfor i mg, c_{fosfor} är koncentrationen fosfor från blandprovet i mg/kg TS, $m_{inmockad \text{ godsel}}$ är massan inmockat gödsel i kg och TS_{prov} är torrsubstansen för den inmockade gödseln.

För resterande veckor, vecka tre till åtta togs prover vid varje mockningstillfälle istället för ett blandprov. Fosforkoncentrationen [mg/kg TS] multiplicerades med den inmockade gödselns vikt [kg] samt torrsubstansen [TS]. En TS analys hade här inte varit nödvändig i beräkningen men användes för att se skillnaden i fosforhalt mellan de olika mockningsfrekvenskerna. Alla analysvar från laboratoriet återfinns i bilaga B.

Ett medelvärde för mängden fosfor i hagen [mg] beräknades för varje mockningsintervall och datan över hur länge hästarna varit i hagen varje dag summerades. Procent uppmockat gödsel- och fosfor från hagen plottades för de olika intervallen. Varje mockningsintervall räknades om till 28 dagars provtagningstid för att återspegla mängden uppmockat gödsel om försöket hade pågått i 28 dagar.

3.3 Cylinderprovtagning i fält

I syfte att ta reda på hur fosforinnehållet förändras i gödsel i hagen över tid studerades gödsel som legat ute i fält under 8 veckor. Nederbörd och temperatur studerades som faktorer som kan påverka fosformängden.

Gödsel från nollproven blandades om, se figur 8, och placerades i 15 likadana cylindrar intill hagen. Varje gödselhög bestod av 400 g gödsel i en naturlig hög för att efterlikna förhållandena i hagen, se figur 9.



Figur 8: Metod för provtagning av nollprov och gödsel till cylindrarna. Nollproven togs från respektive häst, för att sedan blandas och placeras i cylindrarna.

För att inte hindra nederbörd från att rinna undan ställdes cylindarna på små träklossar, se figur 9. Proverna placerades intill hagen med samma markförhållande under gödsel som i hagen. I jorden hittades maskar och insekter som kunde antas finnas i hagen 20 cm bort, se figur 10. Cylinderproverna togs med en veckas intervall och vid varje vecka analyserades tre cylindrar för att få en hög noggrannhet. Även här analyserades totalfosfor i [mg/kg TS]. Vid varje provtagningstillfälle vägdes gödseln från varje cylinder. Provtagnings schemat presenteras i tabell 4.

Tabell 4: Cylinderprover, schema för fältstudien under totalt två månader. Ett cylinderprov innebär torrs substans och fosforanalys från tre cylindrar.

Vecka	dag 1	dag 2	dag 3	dag 4	dag 5	dag 6	dag 7
1	gödsel placeras						Cylinderprov 1
2							Cylinderprov 2
3							Cylinderprov 3
4							Cylinderprov 4
5							
6							
7							
8							Cylinderprov 5



Figur 9: Cylindrarna dag ett när gödsel precis har placerats ut i dem. Gräs har rivits undan under gödselhögarna för att efterlikna hagens förhållanden.



Figur 10: Cylindrarnas placering intill hagen med regnmätaren intill. Cylindrarna är placerade på ett avstånd från hagen så att hästarna inte når.

Vid varje provtagning fotades cylindrarna. Hur gödseln såg ut presenteras i figur 11. En liten trädgårdsspade användes för att samla in gödsel. Det gödsel som spaden inte plockade upp togs upp med händerna. Det sista lilla gödsel som inte gick att plocka upp med händerna antogs tillhöra marken. Vågen som användes hade en noggrannhet på 1g.



Figur 11: Bild före provtagning av cylindrarna (3 per vecka) i fält för varje vecka. De tomma cylindrarna lämnades kvar efter provtagning.

Nederbördsdata hämtades från en befintlig digital väderstation tre km bort från provtagningsplatsen. Datan verifierades med en manuell regnmätare placerad intill hagen under de första två veckorna. Även temperaturdaten hämtades från den befintliga väderstationen. För att se hur temperatur- och regndatan skiljde sig lokalt jämfördes datan som användes med en SMHIs mätstation i Stockholm. Stationen låg mer än en mil bort från provtagningsplatsen men är validerad av SMHI. Data hämtades från SMHIs databas (SMHI 2020a) samt Weather Underground och jämfördes baserat på dygnsmedelvärden (Weather Underground u.å.). Shapiro-Wilks test och Pearson korrelations test genom-

fördes och visade att den befintliga väderstationen tre km från hagen kunde användas i studien. Testerna och data återfinns i bilaga E.

3.3.1 Beräkningar cylinderproverna

För cylinderproverna jämfördes mängden fosfor från nollprovet med mängden fosfor i cylindrarna. Från de tre cylinderproverna som togs vid varje provtagningstillfälle beräknades ett medelvärde. För nollproven användes ett medelvärde som referens. Mängden fosfor kvar i gödsel efter givet intervall beräknades för varje vecka genom att multiplicera fosforkoncentrationen i [mg/kg TS] med TS samt vikten på det inmockade gödset [kg]. Data som användes i beräkningarna återfinns i bilaga C.

3.4 Bevattningsstudie

En kort bevattningsstudie genomfördes i laboratorium med fokus på hur vattenmängden påverkar urvattnings av fosfor i gödseln. Gödsel samlades in från box och provtogs före bevattnings med två nollprover. Proven användes för att avgöra hur mycket fosfor som fanns i gödsel innan bevattnings. Samma prov användes även för att verifiera det första nollproven och bekräfta antagandet att nollprovet går att använda för alla mockningsintervall i mockningsstudien, se tabell 3.

I syfte att undersöka hur fosformängden i gödseln förändrades med ökad regnmängd placerades nio cylindrar med gödsel i en regnsimulator. Under sex dagar utsattes gödseln för 25 mm regn per dag. Varannan dag provtogs tre cylindrar och fosforkoncentrationen analyserades.

3.4.1 Uppställning

Regnsimulatorn bestod av ett rostfritt sprinklersystem med 10 munstycken placerade på ca 40cm avstånd från varandra och 60cm ovanför cylindrarna med gödsel. De placerades i sin tur i en stålbehållare med perforerad stålbottnen. Nio stycken cylindrar användes i studien. I varje cylinder placerades ett tätt nät (se figur 12) samt en planktonväv (figur 13). Både nätet och planktonnätet hade som syfte att förhindra gödsel från att rinna iväg, eftersom det inte var intressant här att se hur mycket gödsel som rann bort, utan hur fosforhalten i gödseln påverkas av regn.

För att efterlikna naturligt regnvatten blandades avjoniserat vatten med $0.58gNaCl/L$, $0.70g(NH_4)_2SO_4/L$, $0.501gNaNO_3/L$, $0.57gCaCl_2/L$ och $0.95mlHCl/L$. Detta gjordes för att efterlikna naturligt regnvatten.



Figur 12: Nät i botten på cylindrarna för att förhindra att gödsel rinner iväg.



Figur 13: Planktonväv i cylindrarna som placerades under gödseln.

3.4.2 Kalibrering

Regnsimulatorens kalibrerades för att säkerhetsställa att alla cylindrar bevattnades med samma mängd vatten. Med regnintensiteten 5 mm/timmen, under 1 timme med regn var 120e sekund samlades vattnet in efter 1 timme och vägdes för att beräkna total vattenmängd och hur inställningarna behövde förändras, se figur 14. Simulatorens kalibrerades i 6 timmar genom att samla in nederbörden i fat som sedan vägdes så att en regnmängd kunde bestämmas. Vattenmassan bestämdes genom att väga skålen med vatten och sedan subtrahera skålens vikt. Intensiteten I beräknas enligt ekvation 9

$$I = \frac{m_{H_2O}}{0.028 \cdot T} \quad (9)$$

där I är regnintensiteten i mm/h, m är vattnets massa i mg, 0.028 är skålens bottenarea i m^2 och T är simuleringstiden i timmar. Den nya tiden som ställdes in på regnsimulatorens beräknades enligt ekvation 10

$$t_{ny} = \frac{5 \cdot t_{gammal}}{I} \quad (10)$$

där t är tiden i sekunder, 5mm/h är intensiteten som önskas uppnås och I är intensiteten i mm/h.



Figur 14: Cylindrarna uppställda med gula fat som fångar in vattnet och sedan vägs för kalibrering.

3.4.3 Regnsimulering på gödsel

När regnsimulatoren kalibrerats placerades 400 g gödsel i varje cylinder, samma mängd som använts i cylinderstudien ute i fält. För att simulera kraftig nederbördsintensitet bevattnades gödsel med intensiteten 5mm/h i fem timmar per dygn. När gödseln bevattnats med 25mm regn lämnades cylindrarna över natten för att droppa av till nästa regn. Försöket pågick i sex dagar och varannan dag provtogs tre cylindrar, se tabell 5.

Tabell 5: Schema över bevattningsstudien. De gråa dagarna i schemat visar att tre prover tagits efter att gödsel bevattnats med 25mm regn.

dag 1	dag 2	dag 3	dag 4	dag 5	dag 6
25 mm	25 mm	25 mm	25 mm	25 mm	25 mm

All data som användes för beräkningar för bevattningsstudien återfinns i bilaga D.

3.5 Provtagning och analys

Provtagning av gödsel i boxar och hagar gjordes för att få ett så representativt gödselprov som möjligt. Gödselprover från hästens box är en erkänd metod som vanligtvis används för foderanalyser (Malgeryd & Persson 2013). I det här arbetet analyseras gödsel från både hagar och box. De två parametrarna som studerades var torrsubstans och totalfosforkoncentration.

3.5.1 Torrsubstans

Torrsubstans (TS) är mängden torrt material som finns kvar i ett prov efter absolut torkning av materialet. Torkningen sker i ugn under hög temperatur (105 °C) under 24 timmar. Torrsubstans används för att ange andelen av ett material som är torrt och används vid t.ex. foderanalyser på djur eller jordprover i mark (Swedish Standard Institute 2004). Torrsubstansen bestämdes enligt standard SS 028113 vid ett ackrediterat lab i Sverige. Hur TS beräknas visas i ekvation 11.

$$TS = \frac{m_{\text{efter torkning}}}{m_{\text{innan torkning}}} \cdot 100 \quad (11)$$

där m är massan i [g] och TS är torrsubstansen i %.

3.5.2 Totalfosfor

Totalfosforhalten analyserades av samma ackrediterade laboratorium som för TS analysen, med analysen *F-15, Analys av P*. I laboratorium löstes provet upp i mikrovågsugn i slutna teflonbehållare med HNO_3/H_2O_2 utan föregående torkning. Analysen skedde med IPC-SFMS (Inductively Coupled Plasma Sector Field Mass) vilket är en masspektrometri med induktivt kopplad plasma som jonkälla. Metoden följer standard enligt SS EN ISO 17294-2: 2016 samt EPA-metod 200.8: 1994. Osäkerheten i denna metod är under optimala förhållanden mindre än 0,05 % relativt standardavvikelse (ALS Europe 2020). Totalfosfor angavs i enheten mg/kg TS.

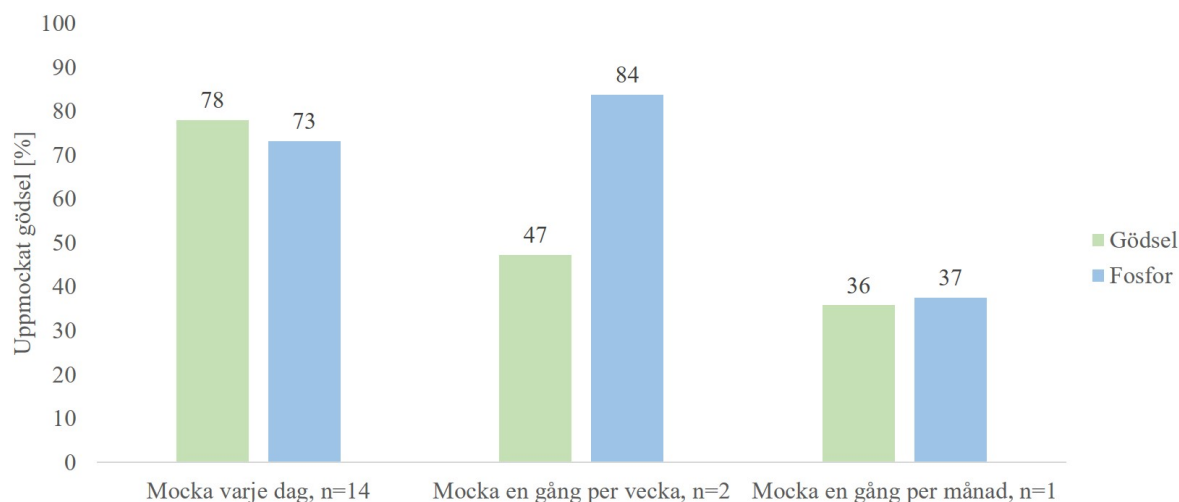
3.5.3 Mätosäkerhet hos analysmetod

Enligt laboratoriet som användes i studien medför en låg detektionsgräns en högre mätosäkerhet. Vid tolkning av resultatet är det viktigt att ha kunskap om osäkerhetens storlek. Mätosäkerheten hos ackrediterade laboratorium i Sverige styrs av Swedac (Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll). Mätosäkerheten anges som ett intervall inom det riktigt värden med 95 % sannolikhet ligger inom. Internationella metoder anger hur stora osäkerhetsbidragen kvantifieras och hur mätosäkerheten ska rapporteras. Osäkerheten beräknas för varje prov och kan tyckas stor, men kan inte heller jämföras med den standardavvikelse som analysmetoden anger som mätosäkerhet. Osäkerheterna som presenteras här som mätosäkerhet ingår inte i standardavvikelsen som anges för analysmetoden, utan är istället utvidgad och beräknar alla steg i analysen (*Kvalitet* 2018).

4 Resultat

4.1 Fältundersökning av mockning i hage

Från blandproverna, veckoproverna samt månadsprovernas fosforkoncentration beräknades procent uppmockad gödsel samt fosfor ur hagen. Daglig mockning reducerade gödselbelastningen i hagen med 78 %, veckovis mockning med 47 % och månadsvis mockning med 36 %. Resultatet presenteras i figur 15.



Figur 15: Andelen av total mängd gödsel och dess fosforinnehåll som mockades upp vid de olika mockningsintervallen. *n* anger hur många datapunkter värdena är baserade på.

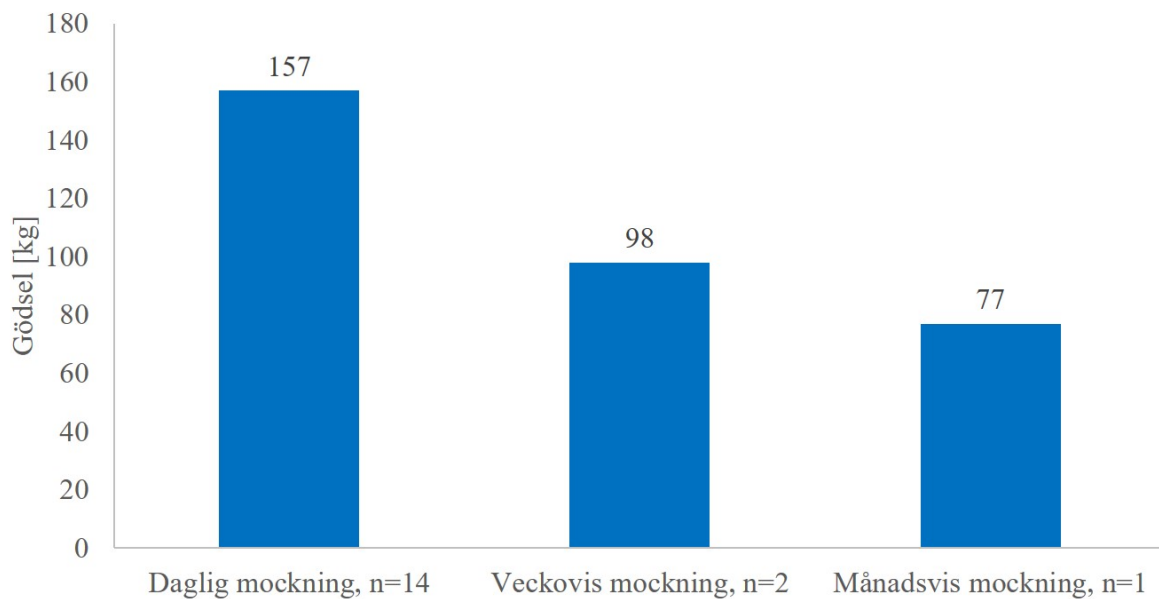
4.1.1 Uppmockad gödsel ur hagen

Fosforkoncentration, torrsubstans och uppmockad mängd gödsel ur hagen per dag och häst för de olika mockningsintervallen presenteras i tabell 6.

Tabell 6: Resultat från fältstudien mockning

	Fosforkoncentration [mg/kg TS]	TS [%]	Uppmockad gödsel ur hagen per häst och dag [kg]
Daglig mockning	4510	22	5,6
Veckovis mockning	5475	35	3,5
Månadsvis mockning	3610	31	2,3

Om mockningen fortsatt en månad skulle det motsvarat mer än dubbelt så mycket uppmockat gödsel för dagsvis mockning jämfört med månadsvis, se figur 16.



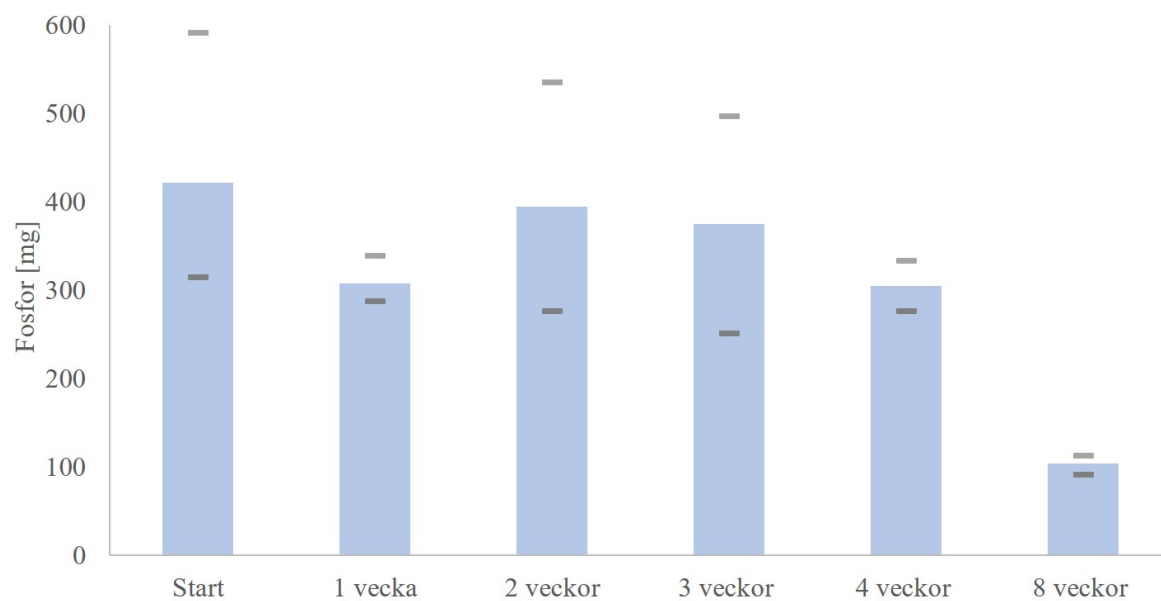
Figur 16: Gödselmängd som tagits ur hagen om de olika mockningsintervallen pågått i en månad, per häst. n anger hur många datapunkter värdena är baserade på.

4.1.2 Uppmockad fosfor ur hagen

- För daglig mockning motsvarar det 5.5 g fosfor uppmockat ur hagen per dag och häst vilket motsvarar 154 g fosfor efter en månad.
- För veckovis mockning motsvarar det 6.5 g fosfor uppmockat ur hagen per dag och häst vilket motsvarar 182 g fosfor efter en månad.
- För månadsvis mockning motsvarar det 3 g fosfor uppmockat ur hagen per dag och häst vilket motsvarar 84 g fosfor efter en månad.

4.2 Provtagning av gödsel i cylindrar

Resultatet från cylindrarna som legat i fält presenteras i figur 17.



Figur 17: Medelvärde av mängd fosfor från cylindrarna som provtogs vid samma tillfälle, i mg. Den naturliga variationen bland proverna är markerad i grafen.

Hur många procent av fosfor som fanns kvar i cylindrarna vid provtagningstillfället presenteras i tabell 7.

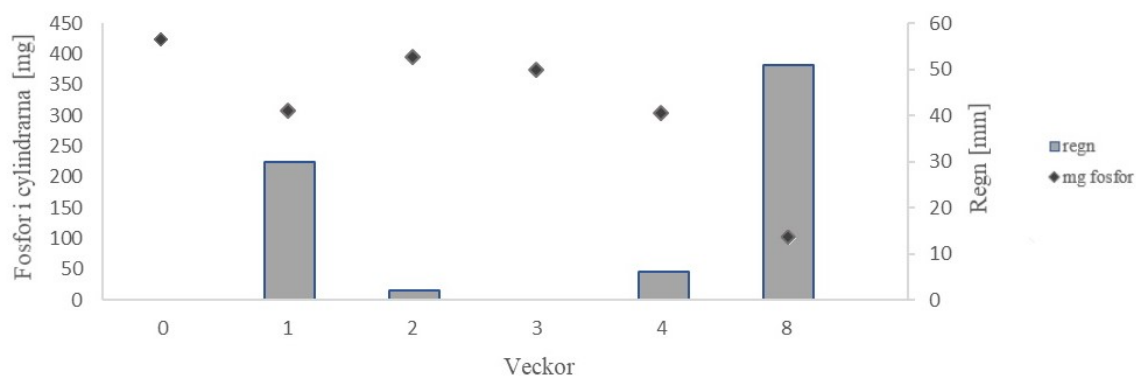
Tabell 7: Procent fosfor kvar i cylindrarna, medelvärde från provtagning

veckor	% fosfor kvar i gödsel (medel)
Start	100
1	73
2	93
3	89
4	72
8	25

Efter åtta veckor hade gödselmängden minskat till hälften av sin ursprungsvikt: 400 g till 200 g. Koncentrationen förändrades från 3 760 mg/kg TS till 2 190 mg/kg TS, en minskning i koncentration med ca 40 %. Torrsubstansen i gödsel var lika stor i provet efter en vecka (23 %) som efter åtta veckor (25 %). Att det bara fanns 25 % fosfor kvar i gödsel efter två månader i fält beror alltså både på att massan gödsel och koncentrationen fosfor minskat.

4.2.1 Fosfor och regn

Resultatet från den insamlade regndatan och mängden fosfor i cylindrarna presenteras i figur 18.

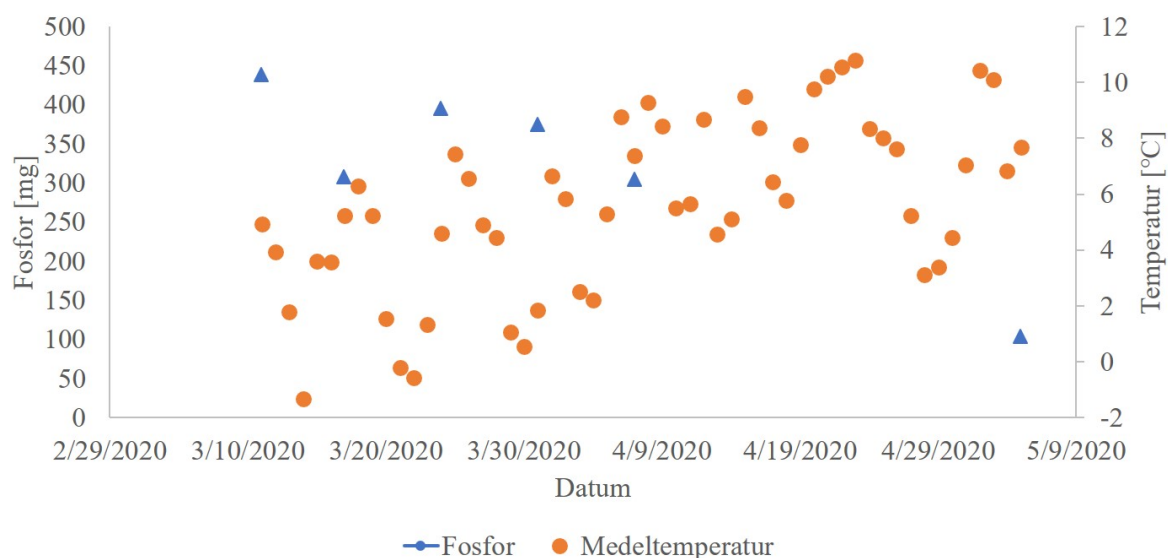


Figur 18: Ackumulerad nederbörd vid varje provtagningstillfället och mängden fosfor i cylindrarna.

Figur 18 visar att ökad mängd nederbörd skulle kunna förklara minskad mängd fosfor i cylindrarna vid det sista provtagningstillfället.

4.2.2 Fosfor och temperatur

Resultatet från den insamlade temperaturdaten och mängden fosfor i cylindrarna presenteras i figur 19.

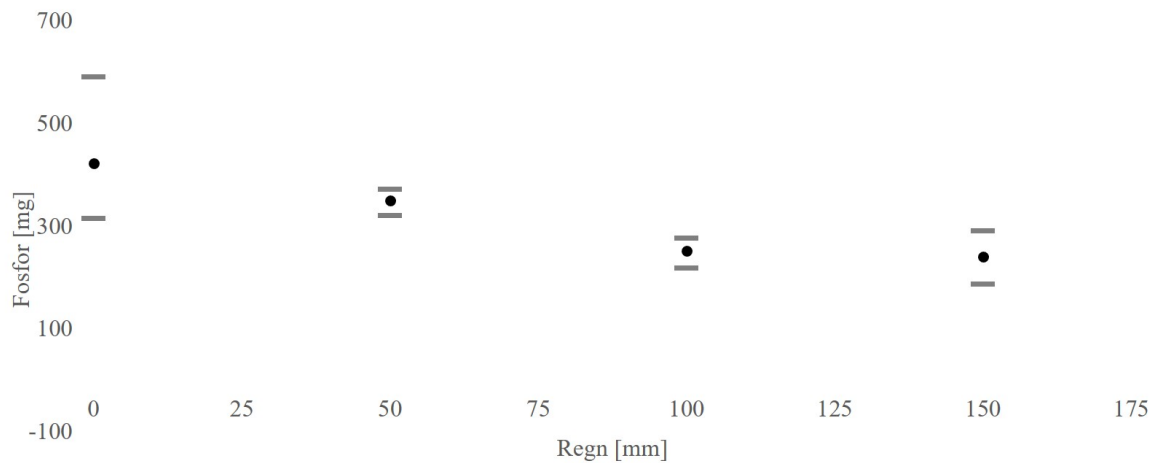


Figur 19: Dygnsmedeltemperaturen över fältperioden och mängden fosfor i cylindrarna.

När temperaturen ökar minskar fosformängden i gödsel. Men med få datapunkter gick det inte att utföra ett korrelationstest. Det gick därför inte att uttala sig om hur temperaturen och fosformängden korrelerar.

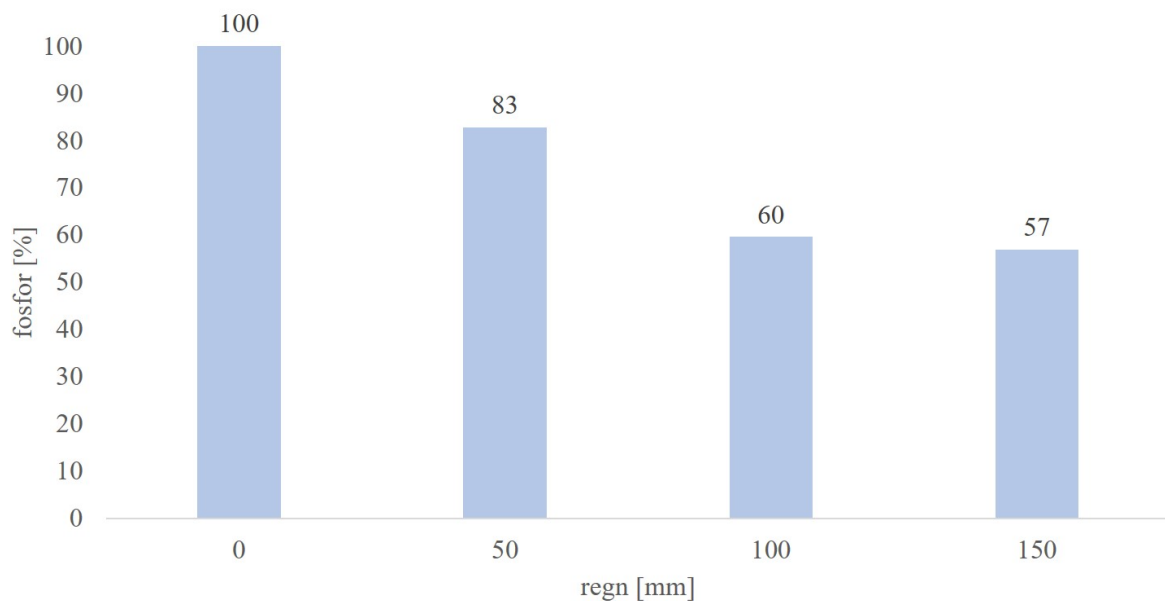
4.3 Bevattningsstudie

Resultatet från bevattningsstudien visar att fosfor urlakas ur gödsel vid ökad regnmängd. Vid 50 mm regn har gödselproverna i medel förlorat 73 mg fosfor. Efter 100 mm regn totalt 171 mg fosfor och efter 150 mm regn 182 mg fosfor. Att fosfor lakas ur gödsel är tydligast mellan 50 mm och 100 mm regn, se figur 20.



Figur 20: Grafen visar hur fosformängden minskar med ackumulerad regnmängd. Varje mät punkt visar ett medelvärde från tre provtagna cylindrar. De gråa strecken visar på den naturliga variationen bland proverna, dvs min och max värde. För nollprovet är alla fyra nollprov inräknade.

Hur många procent fosfor som lakats ur gödseln presenteras i figur 21.

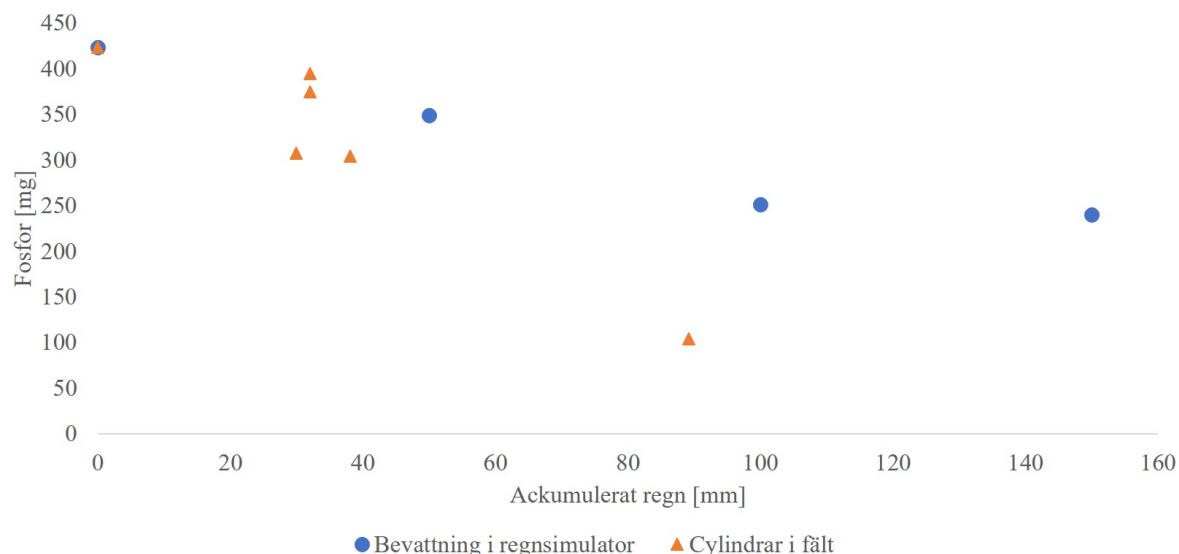


Figur 21: Grafen visar hur många procent fosfor som finns kvar i gödsel efter bevattning. Värdena är baserade på medelvärden från tre prov.

4.3.1 Fosfor och regnmängd, i fält och regnsimulator

Resultatet från bevattningsstudien jämfördes med provtagningen av gödsel i cylindrar i fält. I fält utsattes gödseln för totalt 90 mm ackumulerat regn under två månader. Då

fanns endast 25 % av fosfor kvar i gödsel. I bevattningsstudien fanns efter 100 mm regn under fyra dagar i regnsimulatore 60 % av fosfor kvar i gödsel, se figur 22.



Figur 22: Grafen visar mängd fosfor och ackumulerad regnmängd i bevattningsstudien över sex dagar, samt vid provtagning av gödsel i cylindrar över två månader.

Figuren visar att det lakades ur mer fosfor ur gödsel i fält under två månader än vid motsvarande intensiva regnmängd under fyra dagar. Vid ca 30 - 40 mm regn har ungefär lika mycket fosfor lakats ur i försöket i lab samt cylindrarna i fält.

5 Diskussion

5.1 Fältundersökning av mockning i hage

Att mocka in gödsel och analysera totalfosfor visade sig vara svårare än förväntat. Gödselvikten för daglig mockning varierade mellan cirka nio och 16 kg gödsel vilket underströk behovet av att upprepa mockningen många gånger. Diskussionsavsnittet nedan presenterar osäkerheter, jämför resultatet i den här studien med tidigare studier samt presenterar ett beräkningsscenario utan läckage från gödsel till hage.

5.1.1 Fosforkoncentration för olika mockningsintervall

De 73 % fosfor som mockades in vid daglig mockning är högre än de 50 % som estimerades av Baltic Sea 2020s projekt Levande Kust (Kumblad & Rydin 2018b). I sin rapport skriver de dock att de verksamma i stallet trodde den siffran var högre, mellan 70-80 %, vilket stämmer väl överrens med resultatet i den här studien. Mockningseffektiviteten minskar med längre intervall vilket stämmer med teorin att gödsel trampas ned i marken och inte går att få upp.

Veckoproverna visade en högre torrrsubstans än dagsproverna vilket stämmer med hur gödsel såg ut i hagen. Gödsel som legat en vecka i hagen utan att det regnat blev smuligt. Att det återspeglades i analysvaret tyder på att veckoprovet vad gäller torrrsubstans kan ha varit representativt för hagen. Fosforkoncentrationen i proverna var högre i proverna för veckovis mockning än i daglig mockning vilket innebär att mindre gödsel innehåller mer fosfor. Det kan bero på att det torra gödsel som legat kvar i hagen inte har urlakats på fosfor utan istället torkat och bidragit till en mindre gödselvikt och en högre fosforkoncentration. Det skulle stötta teorin om att det är viktigast att mocka vid nederbörd (Withers et al. 2003).

Vid daglig mockning mockades det in ca 5,5 kg gödsel med TS 22 % per dag och häst. För veckovis mockning var motsvarande siffra 3,5 kg, dvs kg gödsel efter sju dagar/antal dagar. För månadsmockningen 2,3 kg gödsel per dag, dvs 153 kg/28 dagar. Det innebär att med längre mockningsintervall samlas det in mindre gödsel jämfört med daglig mockning. Så även om fosfor inte skulle förloras från gödsel när det är torrt, så får man inte med sig lika mycket gödsel när man mockar mer sällan. Fosfor blir ändå kvar i hagen och kan förloras senare.

Från mockningsstudien som gjordes i Finland fick de upp 1,3 kg fosfor per månad från tre hästar vid daglig mockning. Det motsvarar 0,43 kg fosfor per månad och häst. I den här studien mockades det in 5,5 g fosfor per dag och häst vid daglig mockning. Det motsvarar 0,15 kg fosfor per häst och månad, dvs 280 gram mindre än resultatet från studien i Finland (Airaksinen, Heiskanen & Heinonen-Tanski 2006). Det kan bero på mark- och väderförhållanden samt vem som mockade hagen. I den här studien mockades det noggrant med vanliga redskap, ungefär som det skulle ha gått till i praktiken. Möjligtvis mockades här något noggrannare än vad som vanligtvis görs i hagar. De båda studierna genomfördes under samma tid på året, vilket talar för att metoden som användes i denna studie vid daglig mockning är bra för dess syfte.

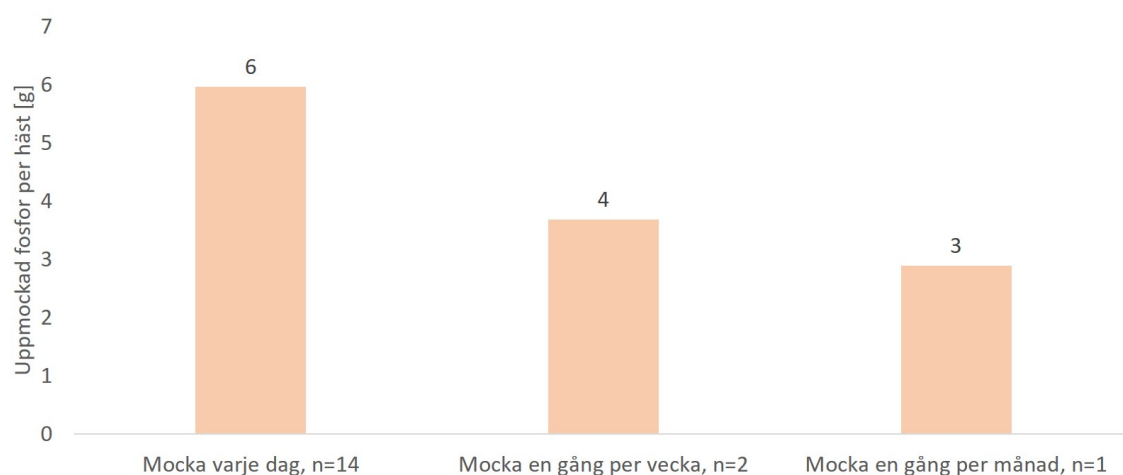
5.1.2 Den höga fosforhalten i veckoproverna

Fosforproverna som ligger till grund för fosforinnehållet i veckoproven i figur 15 utmärker sig jämfört med daglig- och månadsvis mockning. Stapeln representerar den gödsel som mockats in efter en vecka och gödselprovet hade en fosforkoncentration mellan 4700 mg/kg TS och 6250 mg/kg TS fosfor. Dessutom hade proverna en hög torrrsubstans på i medel 35 %. Att veckovis mockning då resulterar i mer insamlad fosfor än daglig mockning motsäger att det skulle vara viktigt att mocka ofta. Resultatet att det är mer fosfor i veckoproverna säger dock emot både teorin och cylinderproverna som legat ute i fält, se figur 17. Det är snarare troligt att fosforproverna som togs från olika kassar och blandades om, ändå inte kan anses representativa för hela hagen. Uppskattningsvis består hagen av 23,2 kg gödsel per häst · 0,32 % av dygnet i hagen per dygn. Dvs ungefär 7 kg gödsel från varje dag och häst. Det skulle innebära att 7 kg per dag och häst är helt färskt efter en vecka, ytterligare 7 kg har legat i hagen en hel vecka och resterande gödsel har en fosforhalt på allting däremellan beroende på klimatet. Därför är det inte rimligt att fosforhalten i proverna efter en veckas mockning ser ut som de gör. Det stärks även av att proverna från första och andra veckan varierar (4700 mg/kg TS och 6250 mg/kg TS fosfor). Här hade det inte heller hjälp att använda samma metod i flera veckor utan det

hade oavsett funnits osäkerheter.

5.1.3 Hypotetiskt scenario: inget läckage

Om inget läckage hade skett från gödsel som samlats in, dvs all gödsel hade haft samma fosforkoncentration som nollproverna, hade den inmockade fosfor motsvarat den vikt som visas i figur 23.



Figur 23: Grafen visar hur mycket fosfor som tagits bort ur hagen hypotetiskt om det inte skett något läckage i hagen. n anger antal datapunkter/analysvärden. Siffrorna är baserade på hur mycket gödsel som mockats upp i hagen, se figur 15.

Här syns det att koncentrationen fosfor från nollproven, 4610 mg/kg TS, är lik koncentrationen fosfor från daglig mockning. Detta eftersom mängd uppmockad fosfor per häst motsvarar procenten för inmockat gödsel. Så även om det sker ett visst direkt läckage, kan daglig mockning anses effektiv för att minimera risken för fosforansamling i marken.

Enligt Parvages (2015) beräkning på belastningen i hagen efter 245 dagar för en häst vara , se 2, skulle det på den här provtagningsplatsen innebära

$$0,09 \text{ hektar} \cdot 60 \text{ kg fosfor/hektar} = 5,4 \text{ kg fosfor per år} \quad (12)$$

dvs mellan jordbruksverkets estimering på 6 kg fosfor per år och den här studiens beräkning på 3,9 kg fosfor per år.

5.1.4 Representativa prover

En svårighet och även osäkerhet kring metoden med mockningsproverna var att försöka ta ett gödselprov på 25 g som kunde anses representativt för gödseln i hagen. För dagsproverna var detta inte något större problem då gödselhögarna bara legat i hagen i maximalt åtta timmar och koncentrationen förmodligen inte hade stor variation. För veckoproverna där gödsel var både dagsfärskt och upp till sju dagar gammalt uppstod

en större svårighet med provtagningen. Veckomockningen fyllde tre Ikeakassar som rördes om och prov togs från olika ställen från varje kasse för att sedan blandas i en mindre provtagningspåse. För månadsmockningen, som motsvarade åtta välfyllda ikeakassar togs även där gödsel från olika delar av de omblandade påsarna och blandades i en mindre provpåse. Innan 25 g skickades till laboratoriet för analys homogeniserades gödselprovet genom att sönderfördelas i en hink. De två huvudsakliga osäkerheterna var att ta ett representativt prov från kassen, samt att provet som togs skulle vara representativt för hela hagen. Från resultatet anser jag att proverna inte är representativa för hagen och att den här metoden för att se hur mycket fosfor som går att få upp ur hagen inte fungerar på vecko- eller månadsmockning.

Den estimerade belastningen på hagen beräknades ha torrsubstans 23 % enligt nollproven. Den inmockade gödselns torrsubstans var mellan 18 % och 36 %. Det innebär att gödsel som mockades in hade i medel generellt lite lägre vattenmängd än gödseln i nollproverna. Eftersom gödseln hamnat i hagen och utsatts för väder och vind är det rimligt. Det bidrar med en osäkerhet till resultatet i hur mycket gödsel som mockas in vid olika mockningsfrekvenser.

5.2 Provtagning av gödsel i cylindrar

För cylinderproverna var det svårt att beräkna exakt hur mycket fosfor det fanns i proverna från början. Nollproven som användes som ursprunglig mängd fosfor för alla cylindrar visade på stor naturlig variation. Det syns i figur 17 att starthalten fosfor kan rimligtvis varit högre i cylindrarna som provtogs efter två veckor än en vecka. Det förändrar dock inte resultatet att fosfor lakas ur gödsel som ligger i fält. Tar man in analysmetodens samlade osäkerhet, dvs felstaplarna, så är resultatet tydligare. Efter två månader fanns endast 25 % av gödsel kvar i cylindrarna utan att gödsel- och jordpartiklar satts i rörelse, se figur 17.

Från figur 18 kan ses en viss tendens att när det regnar mer, lakas mer fosfor ur. Vid lite regn är fosfor i gödsel mer stabil för att sedan minska efter mer regn. Här är tidsaspekten viktig att ta hänsyn till i grafen. Sammanfattningsvis påverkar regnmängden fosfor i gödsel. Inte bara på grund av den ytavrinning som nederbörd orsakar som för bort gödsel och näringsämnen, utan även gödsel som ligger stilla i hagen.

I figur 19 presenteras temperaturen över hela fältstudien tillsammans med mängden fosfor i cylindrarna. Även här är tidsaspekten viktig. Temperaturen ökar sakta som den gör i mars och april månad i Sverige. Det går inte att säga att temperaturen är en viktig faktor utifrån den här datan och dessa förhållanden. Den värme som uppstår i en gödselstack har mycket högre temperatur än det gödsel som blir kvar i hagen. Här studerades endast samband mellan temperatur och mg fosfor i gödsel.

5.3 Bevattningsstudie

Bevattningsstudien visade på en snabb urlakning av fosfor i gödsel för att sedan plana ut enligt figur 20. Regintensiteten valdes för att undersöka om en skillnad i fosforkoncentrationen. Om denna metod upprepas skulle säkerheten kunna öka dels med fler prover

i det första intervallet mellan 0 mm och 50 mm regn, dels med ett nollprov per cylinder. Eftersom variationen i nollprovet är relativt stor är det svårt att uttala sig om hur representativt det är för varje prov. I denna studie ger nollprovet störst osäkerhet i resultatet. Proverna som togs från bevattningsstudien förvarades i kylrum i tätt förslutna provburkar i maximalt 4 dagar innan de tillsammans skickades till labbet. Det bör inte haft någon påverkan på varken fosforhalterna eller torrsubstansen i proverna.

Det insamlade datasetet från bevattningsstudien var inte tillräckligt stort för att genomföra tillförlitliga statistiska tester på. Med endast tre datapunkter från varje provtagning går det inte att säga om den nedåtgående trenden och urlakningen av fosfor är signifikant inom ett visst konfidenstervall.

I jämförelsen mellan fält och bevattningsstudie visade resultatet att det lakades ur mer fosfor ur gödsel i fält under två månader än vid motsvarande intensiva regnmängd under fyra dagar. Det kan bero på biologisk nedbrytning av fosfor i gödseln i fält. Gödseln låg ute en längre tid och utsattes för biologiska nedbrytare. I bevattningsstudien hade dessutom inte gödseln möjlighet att förloras till marken då den samlades in av en planktonväv. I fält var det alltid en liten andel gödsel som inte gick att plocka upp. Mängden fosfor blev alltså naturligt mindre i fält där det fanns mindre gödsel.

5.4 Nollproven

De två nollproven som togs i början av fältarbetet verifierades efter två veckor med två nya nollprov för att bekräfta antagandet att nollproven gick att använda till alla intervall för mockningsstudien. Koncentrationerna visas i tabell 3. De fyra nollproven har medelvärde 4610 mg/kg TS och standardavvikelse på 1160 mg/kg TS. Det ger en variationskoefficient på 25 % vilket är relativt stort. Det kan bero på att hästarna inte äter exakt samma mängd fosfor så proverna bör variera en aning. Om osäkerheten läggs till i analysmetoden täcker ett intervall på mellan ± 716 - och ± 1300 mg/kg TS så är noggrannheten i nollproven inte så stor. Den skulle kunna variera mellan lägsta värde 2664 mg/kg TS och högsta värde 7410 mg/kg TS. För den ursprungliga mängden fosfor i cylinderproverna ger det exempelvis en stor variation på mellan 248 mg och 717 mg fosfor.

5.5 Foderstat

Att hästarna har konstant foderstat är ett antagande som ger en felmarginal för fosforproverna. Hästarna rörde på sig lika mycket på veckobasis men det skiljer sig mellan olika dagar. Om hästarna har fått något extra i sitt foder har det inte räknats med i fosforhalten i gödsel och inte heller loggats.

Träckproverna översteg aldrig 8 g/kg TS, vilket är gränsvärdet enligt *Greppa Näringens praktiska råd till hästägare för överutfodring* (Aronsson & Salomon 2017). Generellt i södra Sverige upplevde dock rådgivarna under konferensen i mars 2020 att hästar i vissa fall fodrades med *ögonen* och inte hade en uträknad foderstat. Där finns självklart en risk för överutfodring. Det finns alltså en möjlighet att hästarna som deltog i den här studien sticker ut med att vara korrekt utfodrade och därmed inte var representativa för hästhållningen i Sverige. Det går dock inte att bevisa utan enbart resonera kring.

5.6 Antaganden

I studien antas att hästar gödslar jämnt över dygnet. Det är ett relativt grovt antagande och förmodligen gödslar hästarna mer på dagtid än nattetid. De finns säkert även variationer i hur mycket de gödslar beroende på hur de rör sig under olika dagar. För mängden gödsel i hagen skulle det innebära att istället för ca 32 % av gödslet hamnar i hagen kan den siffran kunna vara högre eller lägre. Om belastningen på hagen är högre skulle det innebära att mockningseffekten är lägre eftersom det eventuellt är mer gödsel i hagen än antagandet säger. Åtgärden *mocka hagar* skulle då vara mindre effektiv mot att minska fosforbelastningen. Är belastningen på hagen däremot mindre blir åtgärden *mocka hagar* mer effektiv.

Efter att hagen nollställts, dvs storstädats inför att studien skulle börja, var det lite gödsel kvar i hagen. Den lilla gödsel som inte gick att mocka upp dag 0 antogs inte heller kunna mockas upp dag 1. Dvs räknades som en del av marken. Det antogs rimligt att gödseln inte blev mer uppmockningsbar med tiden, något som sedan visade sig stämma bra med resultatet från mockningsstudien.

Fosforbelastningen på hagen över året behöver inte sträcka sig över 245 dagar, motsvarande 8 månader. Enligt hästägarna till hästarna som deltog i den här studien går hästarna mellan 4-5 månader i sommarhagen. När hästarna flyttas till sommarhagen beror på hur sommarhagens förhållanden då de värnar om att marken ska få torka upp efter vintern innan hästarna trampar i den. Så beroende på säsong kan tiden i rasthagen blir kortare än 245 dagar. Generellt varierar den mellan 210 och 245, vilket skulle innebära en total fosforbelastning från två hästar på mellan 3,3 och 3,9 kg fosfor/år enligt ekvation 5.

5.7 Ekonomiska aspekter

Fosfor och gödsel i hagen har både ett värde samt är en kostnad att få upp. Om en hästägare mockar varje dag får de upp ca 5,5 g fosfor. Det motsvarar cirka 2 kg fosfor efter 365 dagar i hagen. Samma beräkningar för gödselmängden ger ca 5,8 kg gödsel per dag och häst. Över 365 dagar i rasthagen skulle det generera 2,1 ton gödsel.

På genomsnitt 10-15 minuter mockades det dagligen in ca 11,2g fosfor från två hästar på 0,09 hektar. Hypotetiskt sett, om hästhagen i den här studien skulle mockas dagligen skulle det motsvara ett arbete på cirka 91 timmar om året. På en arbetstimme skulle cirka 45 g fosfor samlas in. Förutsatt en snittlön för lantbrukare på 140 kr i timmen innebär det en årskostnad på 12 775 kr för att reducera fosforbelastningen på hagen med 73 %, se figur 15. Om lönen istället varit ca 100 kr i timmen blir kostanden 9 100 kr per år. För att samla in 1 kg fosfor skulle det då krävas ungefär 22 timmars arbete. Så med en arbetskostnad på mellan 100 och 140 kr per timme motsvarar insamlingskostnaden för 1 kg fosfor mellan 2 200 och 3 080 kr.

Vidare tillkommer kostnad för gödselhantering där priserna skiljer sig beroende på vad gödseln används till. Estimeringen i Göteborg varierade stort mellan 100 - 6000 kr/häst och år (Alonzo & Henriksson 2016). Studien från 2001 beräknade mellan 98 och 757 kronor per ton gödsel (Hammar 2001). För en hästgård av samma storlek som den som användes i den här studien, hade BalticSea2020 estimerat kostnaden till ungefär 400 kr/kg

fosfor förutsatt en tät gödselplatta (Kumblad & Rydin 2018b). Att samla in fosfor från hagen har även värde baserat på dess ekosystemtjänst. Dvs att hästhagar är rena bidrar till en fin miljö. Dessa ekosystemtjänster är dock svårt att göra en ekonomisk värdering på.

Den uppskattade kostanden på 98 kr/ton gödsel skulle enligt den här studien motsvara ungefär 0.098 kr/kg gödsel dividerat med fosforkoncentrationen 0.001060 kg fosfor/kg gödsel, vilket blir 93 kr per kg fosfor. Om det istället kostade 757 kronor per ton gödsel i omhändertagande, blir motsvarande kostnad per kg fosfor 715 kr. Ovanstående beräkningar är baserade på koncentrationen fosfor i nollproven. I gödselhantering skulle de 2 kg fosfor som kan samlas in per år i den här studien kosta mellan cirka 190 och 1510 kr.

- 1 kg fosfor skulle enligt dessa beräkningar kosta mellan 2 200 och 3 080 kr i arbetskostnad att samla in per år.
- 1 kg fosfor skulle enligt dessa beräkningar kosta mellan 190 och 1510 kr i hantlingskostnad per år.
- Det ger ett minimalt värde på (avrundat) 2 400 kr och ett maximalt värde på 4 600 kr per kg fosfor per år.

Jämfört med vattenmyndighetens siffra på minskad totalfosfor per år, 1650 kr/kg och år så är det en lite större kostnad enligt dessa beräkningar. Värdena är dock inom samma prisspann.

Det vore intressant om kostnaden för insamlingen av mockning i hagen kunde gå jämnt ut. Det vill säga om växtnäringsvärdet för den insamlade gödseln kunde täcka upp arbetskostnaden att samla in den. Det skulle innebära att en hästgård inte behövde betala, eller i alla fall minska kostnaden, för omhändertagande av gödsel. Om miljöinsatsen att sköta sina hagar effektivt gav hästägare en ekonomisk fördel, finns där ett incitament att sköta hagarna bättre. Sammanfattningsvis är det relevant att studera gödsel ur ett kostnadseffektivt perspektiv och det finns många, olika verklighetstroga, scenarion att studera. Vidare studier skulle kunna undersöka när det är lönsamt för en ridskola i en tätort, eller för ett privatstall på landsbygden, att samla in fosfor från hagen.

5.8 Metodval

En stor del av arbetet var att utveckla en metodik som gick att testa i fält. Metodvalet att ha två hästar i en hage med högre hästdensitet än snittet i Sverige gör det svårt att uttala sig om hur applicerbar mockningseffektivitet är i resten av Sverige. Å andra sidan reflekterar antagligen studien en relativt vanlig bild av hästhållning. Det tar längre tid och är en större insats att mocka en stor hage än en liten. Att hästarna går på liten yta ökar också sannolikheten att gödsel som landar i hagen trampas ned i marken. När gödseln sätts i rörelse är den svårare att mocka upp, oavsett mockningsfrekvens. I studiesyfte var det en säkerhet att ha två hästar i hagen eftersom en av hästarna vissa dagar togs ur hagen någon timme tidigare än vanligt. Med två hästar fanns det alltid en häst kvar i hagen som gödslade.

En viktig faktor i den genomförda metoden var antal datapunkter, n . För daglig mockning

valdes $n = 14$ då det förväntades större variationer i mängd gödsel. Om hästarna t.ex. rört på sig olika mycket eller gödslat i boxen på morgonen m.m. Sådana variationer har mindre påverkan när fler prover tas. De dagliga proverna hade en standardavvikelse på 2 kg, minimum inmockad gödsel var 8,5 kg och maximalt 15,7 kg. Vikten på den inmockade gödseln varierade dock kraftigt beroende på nederbörd vilket var varför det var viktigt att få in många prover. För veckovis mockning togs två prover, $n = 2$. Det innebar en större osäkerhet med en standardavvikelse på 11,5 kg gödsel. För månadsmockning, där $n = 1$ är osäkerheten som störst. Det gör att det går att dra säkrare slutsatser från daglig mockning. Men att resultatet från veckomockning och månadsmockning ändå bör ses som anvisningar för hur det skulle kunna se ut. Det vore intressant med fler studier inom detta område.

En annan aspekt att ta hänsyn till är att oavsett hur låga fosfornivåer hagen utsätts för med bättre gödselhantering, kan hästar också ge en hög näringsbelastning på hagen på grund av det kväve som finns i urinen. Urinen rinner snabbt ned i marken och tillför näringsämnen. Fosfor föreligger dock främst i hästarnas träck.

5.9 Studiens relevans

Resultatet från den här studien kan förhoppningsvis vara stöd för hästägare som vill minska läckage av fosfor till närliggande mark/vattendrag från sina hagar. Studien visar att mockning är en effektiv åtgärd mot minskad fosforbelastning i hagen. Beräkningarna på gödselbelastning i hagar och effekten av att mocka kan användas för en bättre gödselhantering i hagarna hos de hästägare. Studien visar att mockningsfrekvens påverkar hur mycket gödsel som kan mockas upp ur hagen och potentiellt hur mycket som kan förloras om det regnar. Resultatet från den här studien stöttar att från ett miljöperspektiv bör hagar mockas så ofta som möjligt. Att mocka en gång i månaden är sämre än att mocka varje dag. Åtgärden mockning måste dock sättas i relevans till andra åtaganden kring Östersjön och lantbruket. Det är inte rimligt att ställa höga arbetskrav på en specifik del av lantbruket utan att ställa samma höga krav på större verksamheter har deras utsläpp.

Kunskap om gödselhantering och hållbart lantbruk är stor inom EU. Från träffarna med hästnäringen och hästägare var det påtagligt att miljöarbetet pågår parallellt med hästhållningen på många håll i Sverige. Vattensamordnare på kommuner bedriver tillsyn på större verksamheter men har mindre tillsyn hos enskilda hästägare. Från träffen i Heby kommun i februari uppfattade jag det som att det svårt att göra rätt. Det är svårt för hästägare att veta vilka åtgärder som är nödvändiga och rimliga. Det är dessutom tungt att mocka när hagen är lerig. Inställningen verkar i dagsläget vara att varje åtgärd är en förbättring, även om den förbättringen är liten.

Jag anser att det är viktigt att få en större förståelse för den här typen av åtgärder som kräver arbete och engagemang av privatpersoner. Kunskapsbehovet hos varje hästägare behövs gällande markförhållanden, foderstat på häst samt hagens läge i förhållande till närliggande diken och vattendrag. Generellt saknas även ofta ekonomiska möjligheter till miljöförbättrande åtgärder eftersom hästgårdar ofta drivs som privatstall eller föreningar. Idag är lagstiftningen inte heller riktad till den vanliga typen av småskalig hästhållning som bedrivs runtom i Sverige. Samtidigt är det inte rimligt att ställa högre krav på

enskilda markägare än större anläggningar/utsläppskällor.

Resultatet i den här studien kan jämföras med projektet Levande Kust från BalticSea2020. BalticSea2020 estimerade att minst 50 % reduktion av fosfor till följd av daglig mockning och säker gödselförvaring. Den här studien visar att mockningen är ännu mer effektiv, med en reduktion på över 70 % vid daglig mockning av hagar. BalticSea2020 gjorde dessa beräkningar för en hästgård med 20 hästar och sex hektar rasthage, dvs ca tre hästar per hektar. I den här studien användes en mycket högre hästtäthet på 22 hästar per hektar. Det bör ha påverkat skillnaden i resultatet, då hagen i den här studien var mindre och därmed mer lättmockad.

5.10 Framtida studier

En faktor som avgör hur ofta en hage behöver skötas är hagens ålder och tidigare användningsområden, dvs. en bit mark som använts som hästhage i många år är mer mättat med fosfor. Det innebär att kännedom om markförhållanden i varje hage är viktig vid bedömningen hur ofta den bör mockas, vilket skulle kunna studeras vidare. Ett annat problem som diskuterades på träffarna med hästnäringen var överutfodring och att kunskapen kring foderstat på hästarna varierade stort över landet. Att utfodra hästarna noggrannare är en enkel åtgärd mot att släppa ut för mycket fosfor i hagen. Då skulle fosfor till hagen minska utan att utföra fysiskt arbete med mockning och samtidigt inte tumma på hästarnas hälsa och välmående.

Idag är hästar, precis som hundar och andra djur, registrerade på sina ägare. På träffarna under våren diskuterades det om nya EU-direktiv kring hästhållning med krav på att registrera hästen där den är, inte där ägaren bor. Det skulle underlätta arbetet med att undersöka risken för näringsläckage runtom i Sverige om det fanns bättre data över vilka hästar som finns var. Tillsammans med en kartläggning över markens fosformättnad skulle arbetet med läckage från olika typer av mark och vilka åtgärder som lämpar sig underlättas.

En faktor som får betydelse för fosforbelastningen i hage är hur länge hästarna går i hagen. I den här studien gick hästarna ute 33 % av dygnet medan jordbruksverket och projektet Levande Kust 2020 estimerar 50 %. Den faktorn får betydelse i beräkningarna och är en av anledningarna till skillnaden i den här studien där hästarna, enligt hästägarna, går ute länge. Om 33 % av dygnet är relativt länge, innebär det att 50 % av dygnet en överestimering. Hagarna belastas egentligen mindre förutsatt att de gödslar jämnt över dygnet. Det hade varit intressant att ta fram noggrannare statistik över hur mycket tid hästar tillbringar utomhus.

Andra studier som kan vara intressanta är hur temperaturen kan påverka gödselhögen på andra sätt, t.ex. genom att förändra dess struktur. Det hade varit intressant att se vad händer med fosfor och läckagerisken när gödsel ändrar struktur och blir fruset. Det blir även mer aktuellt att använda olika typer av E-dna analyser för att spåra arter och ämnen. Med sådan forskning kanske det hade varit möjligt att se exakt var olika näringsämnen kommer ifrån, och lättare utvärdera åtgärder.

6 Slutsatser

I den här studien studerades en typisk vinterhage på 0,09 hektar med två hästar. Hästarna vistades i hagen ungefär en tredjedel av dygnet och antogs gödsla jämt över dygnet. Studien pågick från mars till maj och undersökte effekten av att mocka hagen dagligen jämfört med vecko- och månadsvis. Fosformängden i gödselhögar som legat ute i fält studerades över två månader i syfte att undersöka hur mycket fosfor som förlorats till marken. För att se hur regnmängd påverkade fosfor i gödsel jämfördes nederbördsdata från fält med en bevattningsstudie i regnsimulator i laboratorium. Från den här studien kan följande slutsatser dras:

- Tät mockning är en viktig åtgärd mot fosforanrikning i hästhagar med hög djurtäthet, och det är extra viktigt under perioder med mycket nederbörd.
- Mockningsfrekvensen visade sig ha stor betydelse för hur mycket fosfor som går att få upp ur hagen, och potentiellt hur mycket som kan förloras om det regnar. Daglig mockning innebar att 78 % av gödsel som hamnade i hagen kunde mockas upp. Motsvarande siffra för veckovis mockning är 47 % och månadsvis mockning 36 %. Det innebär att även om en hage mockas varje dag, blir 22 % av gödseln oundvikligen kvar i hagen.
- Hästgödsel är heterogent vilket försvårade provtagningen i hage under veckovis mockning och månadsmockning. Resultatet visade även en stor variation på fosformängden i hästgödsel som mockades upp i fält, vilket försvagade valet av metod, se figur 17. Metoden att provta gödsel från hagen fungerade inte som representativt prov för gödsel i hagen. Det stärks av både provtagning av cylindrar i fält samt den kompletterande bevattningsstudien i laboratorium. Fosformängden i gödsel minskade både i cylindrarna fält samt i regnsimulatoren.
- Både bevattningsstudien och provtagning av gödsel i fält visade att läckage av fosfor skedde relativt snabbt, även utan hästtramp. Efter skyfallsregn på 100 mm förlorades cirka 40 % av fosfor i hästgödseln enligt studien i laboratorium. I fältstudien återfanns endast 25 % av fosfor kvar i gödseln efter 2 månader (90 mm regn).
- I ett hypotetiskt scenario där inget läckage sker beräknades en maximal effekt av mockningen. Daglig mockning resulterar i mer än dubbelt så mycket uppmockat gödsel som månadsvis mockning, se figur 16. Om hagen hade mockats dagligen istället för en gång per månad, hade gödselbelastningen reducerats med 80 kg gödsel per häst och månad. Det motsvarar maximalt 85 g fosfor. Om hagen hade mockats dagligen jämfört med veckovis mockning hade gödselbelastningen reducerats med 60 kg gödsel, motsvarande maximalt 65 g fosfor.

7 Referenser

- Airaksinen, S., Heiskanen, M. L. & Heinonen-Tanski, H. (sept. 2006). *Contamination of surface run-off water and soil in two horse paddocks*. Tekn. rapport. Kuopio, Finland. [2020-02-27].
- Alonzo, Y. & Henriksson, G. (2016). *HÄSTGÖDSEL I KRETSLOPP – SJUHÅRAD*. Tekn. rapport 2016:57. Borås. Tillgänglig: https://www.ulricehamn.se/innehall/2015/01/SP-rapport-2016_57-H%C3%A4stg%C3%B6dsel-i-kretslopp_Sjuh%C3%A4rad.pdf [2020-02-01].
- ALS Europe (2020). *Isotope laboratory | ALS Scandinavia*. Tillgänglig: <https://www.alsglobal.se/en/isotope-analysis/laboratory> [2020-03-16].
- Aronsson, H. & Salomon, E. (2017). *Praktiska råd*. Svenska. Tekn. rapport Nr 26, 2017. Tillgänglig: <https://greppa.nu/download/18.40fdc25415fccb49e403d6d6/1515494120277/Praktiska-rad-nr-26-Bra-hagar-for-bade-hasten-och-miljon.pdf> [2020-01-21].
- Bergström, L., Linder, J. & Andersson, R. (2008). *Fosforförluster från jordbruksmark – vad kan vi göra för att minska problemet?* Tekn. rapport Jordbruksinformation 27 – 2008. Jönköping: Jordbruksverket, Svenska. Tillgänglig: https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo08_27.pdf [2020-01-23].
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (april 2017). *Nature and Properties of Soils*. Engelska. 15. utg. [2020-01-29].
- Eghball, B., Binford, G. D. & Baltensperger, D. D. (1996). Phosphorus Movement and Adsorption in a Soil Receiving Long-Term Manure and Fertilizer Application. en. *Journal of Environmental Quality*, vol. 25 (6), ss. 1339–1343. DOI: 10.2134/jeq1996.00472425002500060024x. Tillgänglig: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq1996.00472425002500060024x> [2020-01-30].
- Eriksson, A. (2017). *Hantering av gödsel på svenska hästanläggningar*. Examensarbete. Uppsala: Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap. Tillgänglig: https://stud.epsilon.slu.se/11228/1/eriksson_a_171002.pdf [2020-02-27].
- Goodla (okt. 2019). *Bra hagar för hästen och miljön*. sv. Tillgänglig: <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/mom/collaboration/goodla/handledning/lararhandl-hasthagar.pdf> [2020-01-31].
- Google Earth (u.å.). Flygfoto. [2020-05-12].
- Hammar, M. (2001). *Hästgödsel och ekonomi En kostnadsjämförelse mellan olika hanteringssystem*. Tekn. rapport. Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Tillgänglig: <https://hastsverige.se/content/uploads/2018/06/t90.pdf> [2020-05-18].
- Havs- och vattenmyndigheten (nov. 2018). *Marin strategi för Nordsjön och Östersjön*. Tekn. rapport 2018:27. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten. [2020-04-27].
- HELCOM (2018). *The sixth pollution load compilation (PLC-6)*. Engelska. Tekn. rapport. HELCOM. Tillgänglig: <https://www.helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/PLC-6-Executive-Summary.pdf> [2020-01-22].
- HNS (u.å.). *Skitsmart*. Library Catalog: hastnaringen.se. Tillgänglig: <https://hastnaringen.se/det-har-gor-vi/oppna-landskap/skitsmart/> [2020-06-11].
- Hoffman, M. & Helena Aronsson (okt. 2019). *Bra hagar för hästen och miljön*. sv. Tillgänglig: <https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/samverkan/goodla/filmer/bra-hagar-for-hasten-och-miljon/> [2020-01-30].
- IKEA (2020). *FRAKTA Kasse, stor - blå*. sv-SE. Library Catalog: www.ikea.com. Tillgänglig: <https://www.ikea.com/se/sv/p/frakta-kasse-stor-bla-17228340/> [2020-03-16].
- Jansson, A. (2013). *Utfodringsrekommendationer för häst*. Tekn. rapport. Uppsala. Tillgänglig: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/huv/publikationer/utfodringsrekommendationer-for-hast_2013_rapport_289.pdf.
- Jansson, A., Holtenius, K. & Ragnarsson, S. (okt. 2014). "Träckanalys - en bra markör för överutfodring med fosfor?" svenska. Diss. Island: Institutionen för husdjurens utfodring och vård, SLU. Tillgänglig: <https://hastforskning.se/forskningsprojekt/402880f6485f65ff01485f97f20d4ff0/> [2020-03-02].
- JCGM (2008). *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Tillgänglig: https://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf [2020-05-12].

- Jordbruksverket (juli 2010). *Föreskrifter om ändring i Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd (SJVFS 2004:62) om miljöhänsyn i jordbruket vad avser växtnäring*. sv. Tekn. rapport 2010:55. Jönköping. [2020-02-02].
- Jordbruksverket (dec. 2011). *Risikvärderingsmall för näringsläckage vid hästhållning-Vägledningmaterial vid miljötillsyn enligt miljöbalken*. Tekn. rapport. Jönköping. Tillgänglig: https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/ovr234.pdf [2020-01-31].
- Jordbruksverket (febr. 2017). *Hästar och anläggningar med häst*. [2020-01-25].
- Jordbruksverket (jan. 2019a). *Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd om hästhållning*. sv. Tekn. rapport SJVFS 2018:49. Jönköping. Tillgänglig: <http://www.jordbruksverket.se/download/18.4d4abf9b16871aa85b572fa6/1548227463976/2018-049.pdf> [2020-01-31].
- Jordbruksverket (2019b). *Miljö känsliga områden*. text. Tillgänglig: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/ingenovergodning/omradenkansligaforvaxtnaringslackage.4.4b00b7db11efe58e66b8000929.html> [2020-02-03].
- Jordbruksverket (nov. 2019c). *Lagring av stallgödsel*. text. Tillgänglig: <https://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtnaring/lagrastallgodsel.4.1a4c164c11dcdaeb e12800084.html> [2020-02-03].
- Jordbruksverket (maj 2020). *En ny djurhälsoförfordning (AHL) - Djur*. text. Library Catalog: djur.jordbruksverket.se. Tillgänglig: https://djur.jordbruksverket.se/uppdrag/nyaeregleromdjurhalsavaxtskyddochkontroll/ennyddjurhalsoforordningahl.4.1e32305115f9d699e5d2ca04.html?fbclid=IwAR1PUu0m_N2k1D4RlWegBtmM-u0foHvXaQnQJd4CdBj1MBKF9tnGDvCAJnQ [2020-05-16].
- Karlsson, L. (2014). *Potential för produktion i kantzoner att gynna både miljön och människan : En litteraturstudie med fokus på kolinlagring, näringsläckage och biologisk mångfald*. swe. Tillgänglig: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:oru:diva-36392> [2020-04-14].
- Kielen, M., Olsson, Y., Nordgren, M. & North, M. (2016). *Hästhållning i Sverige*. Tekn. rapport 2018:12. Jordbruksverket. Tillgänglig: https://www2.jordbruksverket.se/download/18.29f2c2f51624fb1736d1ec63/1521792986570/ra18_12v2.pdf [2020-01-22].
- Kumblad, L. & Rydin, E. (okt. 2018a). *Effektiva åtgärder mot övergödning*. sv. Tekn. rapport. BalticSea2020, s. 64. Tillgänglig: http://balticsea2020.org/images/Bilagor/BalticSea2020_Bjrnfjrden_Vitbok_96dpi.pdf [2020-01-27].
- Kumblad, L. & Rydin, E. (maj 2018b). *Levande kuster VITBOK 1.0*. BalticSea2020. Tillgänglig: <http://balticsea2020.org/images/Bilagor/VITBOK-1.0-28maj18.pdf#page=83&zoom=100,462,785> [2020-01-20].
- Kvalitet (2018). Tillgänglig: <https://www.alsglobal.se/media-se/pdf/information/kvalitet.pdf> [2020-05-13].
- Kvarnmo, P. (febr. 2020). "Minnesanteckningar från workshop om den nya hästmodulen Alvesta". Svenska. Alvesta, s. 7. [2020-04-13].
- Lagerlund, K. (maj 2020). *Hästens viktiga roll i samhället lyfts i HNS nya strategiplan*. Tillgänglig: <https://hastnaringen.se/hastens-viktiga-roll-i-samhallet-lyfts-i-hns-nya-strategiplan/> [2020-05-17].
- Lampa, M. E. & Gunilla Lindgren (2019). *Metod för påverkanstypen Diffusa källor – Andra relevanta - Hästgårdar Förslag på åtgärder och miljö kvalitetsnorme*. digital utgåva. Vattenmyndigheterna i samverkan. [2020-01-24].
- Lantbruksforskning, S. & Geranmayeh, P. (u.å.). *Fosforförluster från jordbruksmark – bakomliggande orsaker och effektiva motåtgärder*. sv.
- Lawrence, L., Bicudo, J. R. & Wheeler, E. (okt. 2003). *Horse Manure Characteristics Literature and Database Review*. Tekn. rapport. North Carolina USA: the Ninth International Animal, Pp. 277–284. Tillgänglig: <https://elibrary.asabe.org/pdfviewer.asp?param1=s:/8y9u8/q8qu/tq9q/5tv/H/v5CIGGJ/INN-IOKy8qqv5C.5tv¶m2=J/JG/IGIG¶m3=NN.IJL.IJH.IGG¶m4=15262> [2020-03-12].
- Lindberg, E. & LeeApple, E. (u.å.). *Kvalitetsmärkt hästverksamhet*. Tillgänglig: <https://hastnaringen.se/det-har-gor-vi/attraktiv-arbetsmarknad-och-hallbara-hastforetag/kvalitetssakring-av-hastverksamheter/> [2020-04-03].

- Liu, J. (2013). *Phosphorus Leaching as Influenced by Animal Manure and Catch Crops*. en. Doctoral Thesis. Uppsala: SLU, s. 64. Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/10739/1/Liu_J_130812.pdf [2020-02-13].
- Lohninger, H. (u.å.). *Shapiro-Wilk Test*. Tillgänglig: http://www.statistics4u.info/fundstat_eng/ee_shapiro_wilk_test.html [2020-05-14].
- Länsstyrelsen i Västra Götalands län (2008). *Projektinriktad tillsyn av hästhållning ute under den kalla årstiden*. sv. Tekn. rapport Rapport 2008:10. Västra Götalands län. Tillgänglig: <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.4e0415ee166afb59324cb09/1541492997839/2008-10.pdf> [2020-02-27].
- Löfqvist, L. (2012). "Physical Workload and Musculoskeletal Symptoms in the Human-Horse Work Environment". en. doctoral thesis. Alnarp: Swedish University of Agricultural Sciences. Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/8781/2/lofqvist_l_120502.pdf [2020-02-03].
- Malgeryd, J. & Persson, T. (2013). *Hästgödsel en naturlig resurs*. Tekn. rapport Jordbruksinformation 5 – 2013. Jönköping: Jordbruksverket. [2020-01-28].
- Miljöbalk (1998:808)* (juni 1998). Tillgänglig: <http://rkrattsbaser.gov.se/sfst?bet=1998:808> [2020-01-26].
- Nash, D. & Murray, H. C. (juli 2000). *Factors Affecting Phosphorus Export from a Pasture-Based Grazing System*.
- Naturskyddsföreningen (nov. 2018). *Faktablad: Östersjön*. sv. Library Catalog: www.naturskyddsforeningen.se. Tillgänglig: <https://www.naturskyddsforeningen.se/skola/naturnytta/faktablad-ostersjon> [2020-04-14].
- Naturvårdsverket (2016). *Rening av avloppsvatten Sverige*. Tekn. rapport. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-8808-8.pdf?pid=22472> [2020-01-22].
- NRCS (aug. 2007). *Manure Chemistry – Nitrogen, Phosphorus, & Carbon. Natural Resources Conservation Service*, (7). Tillgänglig: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_043440.pdf [2020-02-04].
- Owenius, S. (nov. 2015). *Genomförande av åtgärder för minskat näringsläckage från hästverksamhet inom Björnöfjärdens avrinningsområde*. Tekn. rapport 2015-0789-A. WRS - BalticSea2020. [2020-01-29].
- Parvage, M. M. (2015). *Impact of Horse-keeping on Phosphorus (P) Concentrations in Soil and Water*. en. Doctoral thesis, ss. 62. Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/12171/12/parvage_mm.pdf [2020-01-22].
- Pinzke, S. & Löfqvist, L. (sept. 2008). *Arbeta rätt med häst - En belastningsergonomisk studie av ridlärarnas arbetsförhållanden och fysiska hälsa*. Tekn. rapport. Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet. Tillgänglig: https://www.lawebb.se/visionhastvarmdo/dokument/Slutrapport_Arbeta_ratt_med_hast_080916.pdf [2020-03-12].
- Regeringskansliet (okt. 2016). *Viktigt steg för att nå EU:s ramdirektiv för vatten*. sv. Text. DOI: <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2016/10/viktigt-steg-for-att-na-eus-ramdirektiv-for-vatten/>. Tillgänglig: <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2016/10/viktigt-steg-for-att-na-eus-ramdirektiv-for-vatten/> [2020-02-04].
- Regner, A. (maj 2019). *Kalka för bättre markstruktur - Greppa*. sv. text. Library Catalog: greppa.nu. Tillgänglig: <https://greppa.nu/atgarder/kalka-for-bättre-markstruktur.html> [2020-04-14].
- Riksdagsförvaltningen (2016). *Förordning (1998:901) om verksamhetsutövarers egenkontroll Svensk författningssamling 1998:1998:901 t.o.m. SFS 2016:1132 - Riksdagen*. sv. Tillgänglig: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-1998901-om-verksamhetsutovares_sfs-1998-901 [2020-02-03].
- Riksidrottsförbundet (2018). *Idrottsrörelsen i siffror 2018*. sv. Tekn. rapport. Stockholm: Riksidrottsförbundet. Tillgänglig: <https://www.rf.se/globalassets/riksidrottsforbundet/nya-dokument/nya-dokumentbanken/idrottsrorelsen-i-siffror/2018-idrotten-i-siffror---rf.pdf?w=900&h=900> [2020-02-04].
- Sandstedt, T. (2018). *Fosforläckage från hästbagar*. sv. naturvetenskaplig masterexamen med huvudområdet miljövetenskap. Göteborg: Institutionen för Biologi och Miljövetenskap - Göteborgs universitet. Tillgänglig: https://bioenv.gu.se/digitalAssets/1696/1696213_teresa-sandstedt.pdf [2020-01-31].

- Schoumans, O. & Groenendijk, P. (jan. 2000). Modeling Soil Phosphorus Levels and Phosphorus Leaching from Agricultural Land in the Netherlands. *J. environ. Qual.* 29 (2000), 1: 111-116, vol. 29. DOI: 10.2134/jeq2000.00472425002900010014x. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/40151317_Modeling_Soil_Phosphorus_Levels_and_Phosphorus_Leaching_from_Agricultural_Land_in_the_Netherlands [2020-04-02].
- Sharples, A. & Moyer, B. (sept. 2000). Phosphorus Forms in Manure and Compost and Their Release During Simulated Rainfall. *Journal of Environmental Quality - J ENVIRON QUAL*, vol. 29. DOI: 10.2134/jeq2000.00472425002900060056x.
- SMHI (febr. 2020a). *Nederbörd*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/nederbörd> [2020-05-13].
- SMHI (u.å.[b]). *Klimatscenarier*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier/sweden/county/uppsala/rcp26/winter/temperature> [2020-02-10].
- Snarud, P. (maj 2010). *När fosfor sinar blir det svårt*. sv. Library Catalog: fof.se. Tillgänglig: <https://fof.se/tidning/2010/4/artikel/nar-fosfor-sinar-blir-det-svart> [2020-04-09].
- SOU 2020:10 (febr. 2020). *Stärkt lokalt åtgärdsarbete – att nå målet Ingen övergödning*. sv. statens offentliga utredningar. Stockholm. Tillgänglig: http://www.sou.gov.se/wp-content/uploads/2020/02/SOU_2020_10_webb.pdf [2020-02-28].
- Stockholms Universitet (maj 2019). "Åtgärder mot övergödning – synpunkter från Stockholms universitets Östersjöcentrum". Diss. Stockholms Universitet. Tillgänglig: https://www.su.se/polopoly_fs/1.440300.1559643483!/menu/standard/file/A%CC%8Atga%CC%88rder%20mot%20o%CC%88vergo%CC%88dning.pdf.
- Swedish Standard Institute (nov. 2004). *Vattenundersökningar- Bestämning av torrsubstans och glödningsrest i vatten, slam och sediment*. Tillgänglig: <https://www.sis.se/api/document/preview/5588/> [2020-05-06].
- Sveriges Riksdag (febr. 2019). *EU:s lagar och regler*. sv-SE. Tillgänglig: <https://eu.riksdagen.se/vad-gor-eu/en-eu-lag-blir-till/eu-lagar-och-regler/> [2020-02-03].
- Ulén, B., Sverige & Naturvårdsverket (2005). *Fosforförluster från mark till vatten identifikation av kritiska källor och möjliga motåtgärder*. sv. OCLC: 938662687. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5507-0.pdf> [2020-01-30].
- United Nations (2019). *World Population Prospects 2019 - Population Division*. Tillgänglig: <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900> [2020-02-10].
- Vattendirektivet (dec. 2019). sv. text. Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/hav/samordning--fakta/miljomal--direktiv/vattendirektivet/vattendirektivet.html> [2020-02-04].
- Weather Underground (u.å.). Tillgänglig: <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/ISTOCKHO62/graph/2020-03-16/2020-03-16/monthly> [2020-02-20].
- Westholm, S. & Bendroth, M. (u.å.). *Arbetsbesparande åtgärder i hästverksamheter*. Library Catalog: hastsverige.se. Tillgänglig: <https://hastsverige.se/hast-manniska/jobba-med-hastar/arbetsbesparande-atgarder-i-hastverksamheter/> [2020-05-17].
- VISS (aug. 2019). *Minskat fosforläckage vid spridning av stallgödsel*. Tillgänglig: <https://viss.lansstyrelsen.se/Measures/EditMeasureType.aspx?measureTypeEUID=VISSMEASURETYPE000933> [2020-05-18].
- Withers, P. J. A., Ulén, B., Stamm, C. & Bechmann, M. (aug. 2003). Incidental phosphorus losses – are they significant and can they be predicted? en. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, vol. 166 (4). _eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/jpln.200321165>, ss. 459–468. DOI: 10.1002/jpln.200321165. Tillgänglig: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.200321165> [2020-04-06].
- Yeager, K. (u.å.). *Pearson Correlation*. Library Catalog: libguides.library.kent.edu. Tillgänglig: <https://libguides.library.kent.edu/SPSS/PearsonCorr> [2020-05-14].
- Yrkeskollen (2020). *Vad tjänar en lantarbetare, djurskötare i lön 2020? - Medellön och lönestatistik*. Tillgänglig: <https://yrkeskollen.se/lonestatistik/lantarbetare-djurskotare/> [2020-05-24].

8 Bilagor

A Hästtimmar i hagen

Tabell A1. Tabellen visar de loggade hästtimmarna i hagen över två månader.

Dag	månad	procent av dygnet	Antal timmar totalt
11	mars	66.67%	16
12	mars	50.00%	12
13	mars	66.67%	16
14	mars	56.25%	13.5
15	mars	62.50%	15
16	mars	66.67%	16
17	mars	66.67%	16
18	mars	66.67%	16
19	mars	62.50%	15
20	mars	54.17%	13
21	mars	58.33%	14
22	mars	62.50%	15
23	mars	66.67%	16
24	mars	66.67%	16
25	mars	66.67%	16
26	mars	66.67%	16
27	mars	66.67%	16
28	mars	60.42%	14.5
29	mars	37.50%	9
30	mars	66.67%	16
31	mars	66.67%	16
1	april	66.67%	16
2	april	66.67%	16
3	april	66.67%	16
4	april	66.67%	16
5	april	58.33%	14
6	april	66.67%	16
7	april	66.67%	16
8	april	66.67%	16
9	april	66.67%	16
10	april	66.67%	16
11	april	58.33%	14
12	april	66.67%	16
13	april	66.67%	16
14	april	66.67%	16
15	april	66.67%	16
16	april	66.67%	16
17	april	66.67%	16
18	april	66.67%	16
19	april	58.33%	14
20	april	75.00%	18
21	april	75.00%	18
22	april	75.00%	18
23	april	75.00%	18
24	april	75.00%	18

25	april	62.50%	15
26	april	62.50%	15
27	april	70.83%	17
28	april	66.67%	16
29	april	66.67%	16
30	april	62.50%	15
1	maj	45.83%	11
2	maj	62.50%	15
3	maj	58.33%	14
4	maj	58.33%	14
5	maj	66.67%	16
		32.89%	MEDEL per häst
SUMMA hästtimmar i hagen		Timmar per dag	Timmar per dag och häst
209.5	Daglig mockning	15.0	7.5
213.5	Veckovis	15.3	7.6
442.0	Månadsvis	15.8	7.9

B Data från fältundersökning mockning

Tabell B1. Tabellen visar analysvar från laboratorium samt den invägda gödsels vikt från fältundersökning mockning.

Dag	gödsels vikt [kg]				Fosfor	fosfor	Fosfor		
		TS [%]	TS		mängden i inmockade gödsel [g]	mängden om inget läckage skett [g]	koncentration i gödsel [mg/kg TS]	mätosäkerhet mg/kg TS	Fosfor conc blandprovet [mg/kg TS]
3/11/2020		15.7	20.6	0.206	13.4	14.9	4141.5		
3/12/2020		10.1	19.7	0.197	8.2	9.1	4141.5		
3/13/2020		13.9	18.2	0.182	10.5	11.7	4141.5		
3/14/2020		10.7	20.4	0.204	9.1	10.1	4141.5		
3/15/2020		10.6	23.4	0.234	10.2	11.4	4141.5		
3/16/2020		8.6	23.4	0.234	8.4	9.3	4141.5		
3/17/2020		12.8	21.2	0.212	11.2	12.5	4141.5	860	4140
3/18/2020		13.2	21.9	0.219	14.1	13.3	4880	857	4143
3/19/2020		8.5	22.5	0.225	9.3	8.8	4880		4141.5
3/20/2020		11.2	22.0	0.220	12.0	11.3	4880		
3/21/2020		10.9	25.5	0.255	13.6	12.8	4880		
3/22/2020		11.0	23.4	0.234	12.5	11.8	4880		4880
3/23/2020		10.1	25.3	0.253	12.5	11.8	4880	996	4770
3/24/2020		10.2	22.5	0.225	11.2	10.6	4880	1050	4990
3/31/2020		40.8	33.9	0.339	86.4	63.7	6250	1440	
4/7/2020		57.1	36.0	0.360	96.5	94.7	4700	1240	
5/5/2020		152.8	30.7	0.307	169.4	216.3	3610	654	

C Data från cylinderprovtagning i fält

Tabell C1. Tabellen visar analysvar från laboratorium för cylinderproverna, samt vikt vid utplacering samt provtagning.

Cylindernummer	Vikt _cylinderproverna_dag1 [mg]	gödsel vikt cylindrarna [kg]	mängd fosfor i cylindrarna från början [mg]	Fosfor conc [mg/kg TS]	mätosäkerhet	TS	Mängd fosfor i cylindrarna [mg]	datum	% fosfor kvar i gödsel	
1		0.4	0.34	423	3760	783	0.233	294	17e mars	70
2		0.4	0.35	423	4180	874	0.229	340		80
3		0.4	0.36	423	3640	761	0.221	288		68
4		0.4	0.23	423	3770	853	0.323	276	24e mars	65
5		0.4	0.23	423	5980	1290	0.383	536		127
6		0.4	0.23	423	4840	1060	0.337	372		88
7		0.4	0.17	423	3790	828	0.537	377	31a mars	89
8		0.4	0.17	423	3600	764	0.377	251		59
9		0.4	0.20	423	4420	1030	0.511	497		117
10		0.4	0.22	423	4200	995	0.303	303	7e April	72
11		0.4	0.18	423	3380	842	0.42	277		65
12		0.4	0.22	423	3760	911	0.376	334		79
13		0.4	0.16	423	1830	430	0.281	92	5e maj	22
14		0.4	0.19	423	2420	403	0.212	106		25
15		0.4	0.17	423	2320	455	0.258	113		27

vecka	medel cylinder mg/kg
0	1057.2
1	957.2
2	1713.0
3	1883.7
4	1368.7
8	541.9

D Data från bevattningsstudien

Tabell D1. Tabellen visar analysvar från laboratorium över fosforkoncentrationen samt vikten vid provtagning.

	vikt i början [g]	vikt provtagning [g]	TS [%]	TS	Fosforkoncentration [mg/kg TS]	fel [mg/kg TS]	mg fosfor
Cylinder 1	400	584.3	16.4	0.164	3890	875	372.8
Cylinder 2	400.7	581.7	15.8	0.158	3840	830	352.9
Cylinder 3	400	586.9	16.8	0.168	3260	673	321.4
Cylinder 4	400.4	591.6	15.7	0.157	2990	666	277.7
Cylinder 5	399.8	577.4	15.2	0.152	2940	669	258.0
Cylinder 6	400.2	586.1	15.7	0.157	2370	513	218.1
Cylinder 7	400.4	587.7	16	0.16	3100	670	291.5
Cylinder 8	400.2	590.1	14.1	0.141	2260	499	188.0
Cylinder 9	400.3	601.1	15	0.15	2670	580	240.7

E Nederbörd- och temperaturdata för provtagningsplatsen

Statistiska tester genomfördes på regn- och temperaturdata från SMHI våren 2019.

[Statistiska tester](#)

```
> shapiro.test(vaderdata$temp_lidingo)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: vaderdata\$temp_lidingo
W = 0.98304, p-value = 0.2987

```
> shapiro.test(vaderdata$temp_smhi)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: vaderdata\$temp_smhi
W = 0.98124, p-value = 0.2262

```
> shapiro.test(vaderdata$regn_lidingo)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: vaderdata\$regn_lidingo
W = 0.51739, p-value = 1.298e-15

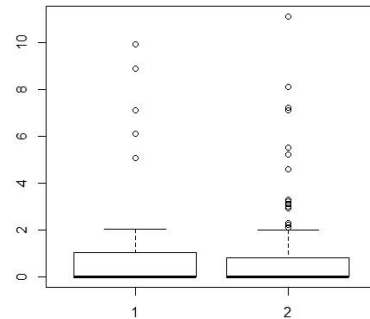
```
> shapiro.test(vaderdata$regn_smhi)
```

Shapiro-Wilk normality test

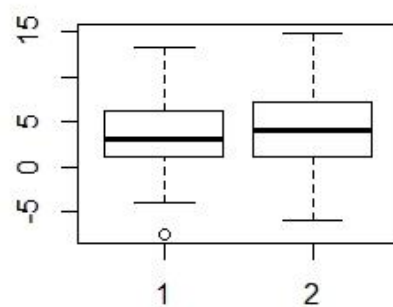
data: vaderdata\$regn_smhi
W = 0.54768, p-value = 4.047e-15

Tabell E1. Tabellen sammanfattar p värdet för de olika temperatur och regnstationerna samt huruvida de var normalfördelade eller ej.

	p-value	Normalfördelad?
Temp_lidingö	0.2987	Ja
Temp_smhi	0.2262	Ja
Regn_lidingö	1.298e-15	Nej
Regn_smhi	4.047e-15	Nej



Figur E1. Boxplot regndatan från de två olika stationerna 1 = Lidingö, 2= smhi



Figur E2. Temperaturdata från de två mätstationerna, 1 = Lidingö, 2= smhi

För att se spridningen studerades standardavvikelsen.

Standardavvikelse:

```
> sd(vaderdata$temp_lidingo)
[1] 4.266073
> sd(vaderdata$temp_smhi)
[1] 4.846389
```

Inter Quartile Range -Subtraherar 75% kvartilen med 25% kvartilen → median kvartilen (dvs "boxen" i boxploten)

```
> IQR(vaderdata$regn_lidingo)
[1] 1.016
> IQR(vaderdata$regn_smhi)
[1] 0.8
```

Höga CV värden = stor variation

```
> sd(vaderdata$temp_lidingo)/mean(vaderdata$temp_lidingo)
[1] 1.160748 (116%?)
> sd(vaderdata$temp_smhi)/mean(vaderdata$temp_smhi)
[1] 1.095631 (110%?)
```

KORRELLATION TEMP

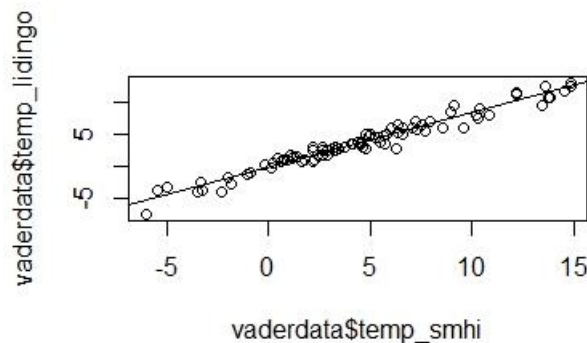
Pearson korrelationstest testar den linjära relationen mellan två variabler. Om p värdet är mindre än 0.05 finns en korrelation och nollhypotesen förkastas. Pearson motbevisar då nollhypotesen: det inte finns någon korrelation.

```
> cor.test(vaderdata$temp_lidingo, vaderdata$temp_smhi, method="pearson")
```

Pearson's product-moment correlation

```
data: vaderdata$temp_lidingo and vaderdata$temp_smhi
t = 43.779, df = 87, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.9666922 0.9855608
sample estimates:
cor
0.9780482
```

Nollhypotesen kan förkastas då p värdet är mindre än 0.05. Dvs det finns ett samband mellan temperaturdaten från de olika mätstationerna.



Figur E3. Linjär regression för temperaturdaten. Stark: $R^2 = 0.96$.

Det går att använda väderstationen på Lidingö då den är verifierad mot smhi stationen.

```
> fit=lm(vaderdata$temp_lidingo~vaderdata$temp_smhi)
> summary(fit)
```

Call:

```
lm(formula = vaderdata$temp_lidingo ~ vaderdata$temp_smhi)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.3623	-0.5490	0.1702	0.5794	1.8986

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.13315	0.12864	-1.035	0.304
vaderdata\$temp_smhi	0.86093	0.01967	43.779	<2e-16

(Intercept)

vaderdata\$temp_smhi ***

Signif. codes:

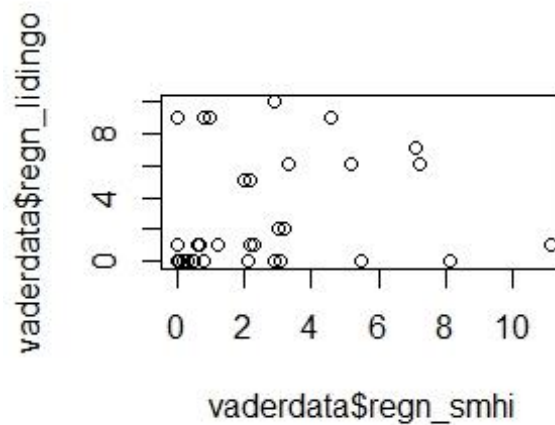
0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.8941 on 87 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9566, Adjusted R-squared: 0.9561

F-statistic: 1917 on 1 and 87 DF, p-value: < 2.2e-16

KORRELATION REGN



Figur E4. Ett försök till korrelation mellan regndatan smhi och regndatan lidingö.

Wilcox rank sum testar nollhypotesen att datans medianer inte är signifikant skilda. Om p värdet är under 0,05 förkastas hypotesen att det är en signifikant skillnad mellan medianerna hos dataseten.

```
> wilcox.test(vaderdata$regn_smhi,vaderdata$regn_lidingo)
```

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

```
data: vaderdata$regn_smhi and vaderdata$regn_lidingo  
W = 4016, p-value = 0.8468
```

$p > 0.05$. Nollhypotes kan inte förkastas. Testet bekräftar då inte huruvida dataseten är signifikant skilda eller inte.

Hur starkt de olika dataseten korrelerar testas med ett Kendalls rank correlation test. Ett tau = 1 innebär en perfekt korrelation och tau = 0 visar på att dataseten inte korrelerar.

```
> cor.test(vaderdata$regn_lidingo,vaderdata$regn_smhi,method="kendall")
```

Kendall's rank correlation tau

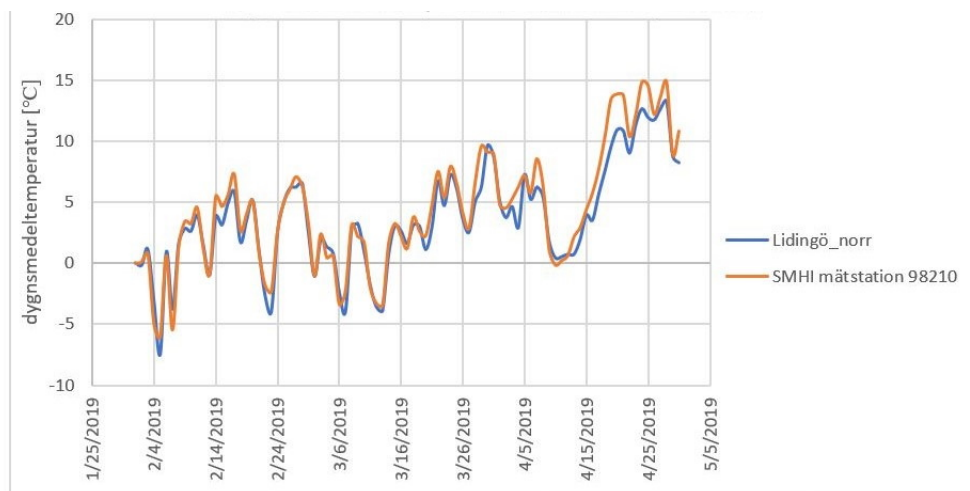
```
data: vaderdata$regn_lidingo and vaderdata$regn_smhi  
z = 5.725, p-value = 1.034e-08  
alternative hypothesis: true tau is not equal to 0  
sample estimates:  
tau  
0.5340383
```

$P < 0.05$, dvs nollhypotesen förkastas och det finns en korrelation, men den är svag då tau=0,53.

Detta innebär att den lokala väderstationen på Lidingö har påverkats av lokala skurar som är viktiga vid nederbördsmätning. Mätstationen på Lidingö jämfördes därför med egen regnmätning vid provtagningsplatsen innan den användes i den här studien.

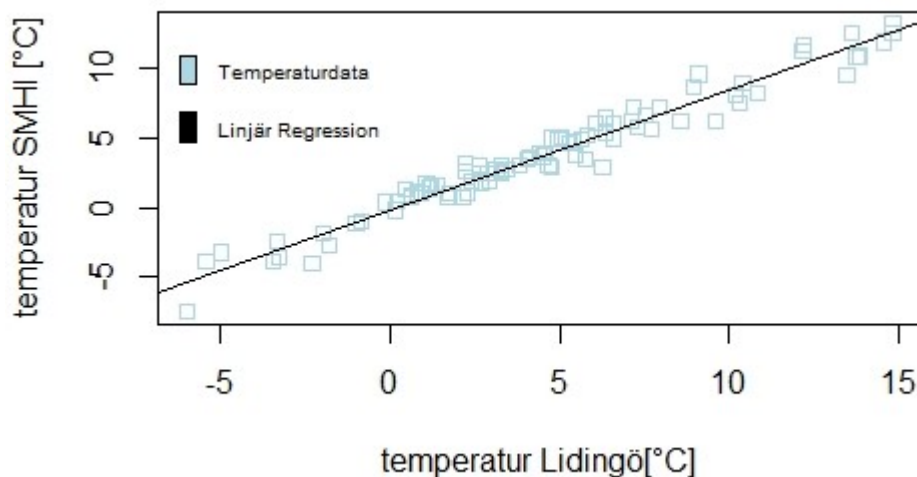
E.1 Temperatur

Temperaturdata för februari, mars och april 2019 jämfördes för de två väderstationerna i syfte att verifiera att stationen närmare provtagningsplatsen kunde användas i studien. I figur E1A presenteras temperaturen över tid. En viss skillnad mellan stationerna är rimligt på grund av det geografiska avståndet. Viktigt är att de inte är signifikant skilda.



Figur E1A. Dygnsmedeltemperatur från 1a feb 2019 till 30e april 2019.

Statistiska tester utfördes i programmet R. Med hjälp av ett shapiro test visade sig datan vara normalfördelad och en linjär regression visar hur datan korrelerar. Pearson korrelationskoefficient visade att datan är starkt korrelerad, $\text{cor } 0.98$ dvs starkt positivt samband. Det stärks även av den linjära regressionen i figur E1B.

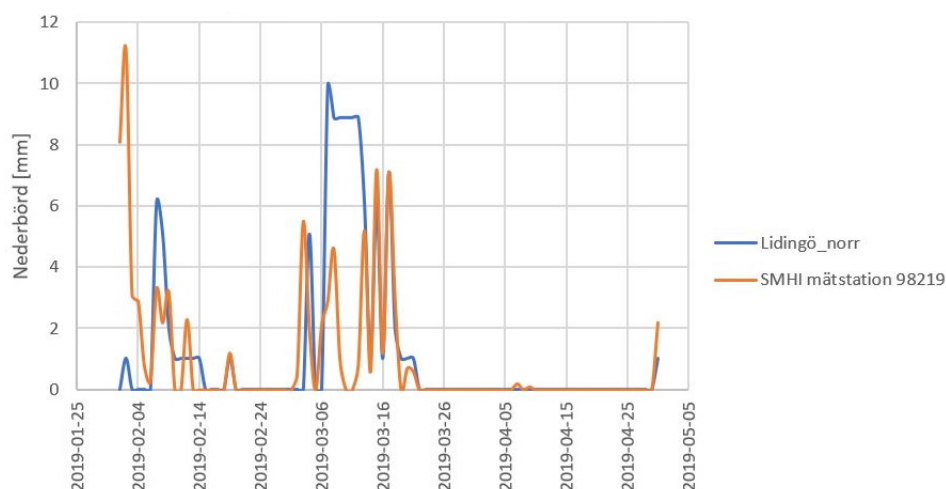


Figur E1B: Linjär regression för temperaturdata från Lidingö norr och SMHI's mätstation 98210. $R^2 = 0,9$

Det innebär att data från den privata mätstationen kan användas i studien då den är geografiskt närmare cylindrarna och är representativ för temperaturen på Lidingö.

E.2 Nederbörd

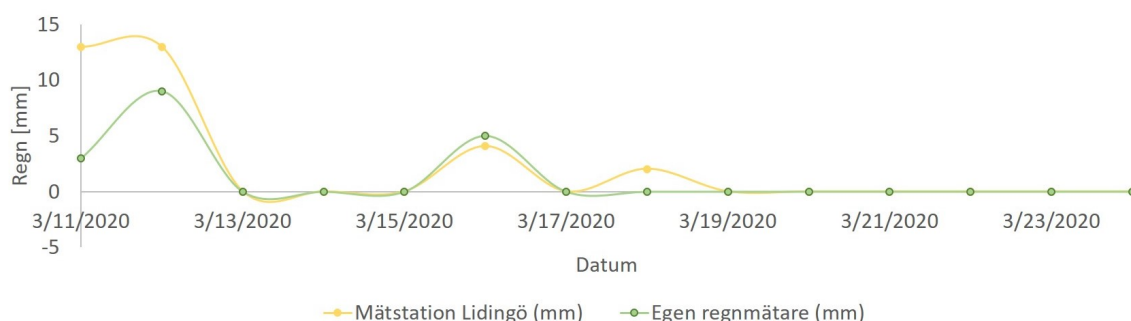
Nederbörden för samma två mätstationer under februari, mars och april 2019 jämfördes. Resultatet visas i figur E2A.



Figur E2A: Dygnsmedel nederbörd från 1a feb 2019 till 30e april 2019.

Shapiro Wilks test i R visade att datan inte var normalfördelad. Ett kendalls korrelations test visade på att det finns en korrelation mellan datan men att den är relativt svag, $\tau = 0,53$. Variationen i datan kan bero på att SMHI datan är insamlad på ett dygnsbasis från 07:00 till 07:00 dagen efter. Sedan anses datan representativ för det första dygnet. Den privata mätstationen mäter ett dygn från 00:04 till 23:59. Därför kan inte nederbördsdatan anses representativ för Elfvik och data måste samlas in på annat håll. Vid en jämförelse med Miljöförvaltningen Stockholms avdelning Stockholm Luft- och Bulleranalys (SLB-analys) meteorologiska data över ackumulerat regn vid fyra olika mätstationer i Stockholm noterades hur mycket de skiljer sig trots mätstationerna *Högdalen* och *Tor-kel knutssongatan* bara är ca 6 km från varandra (Stockholms Stad 2020). Nederbörd bedöms behöva mätas mer lokalt.

Mätstationen som användes några kilometer från provtagningsplatsen jämfördes även efter fältstudien med den manuella regnmätaren under de två första veckorna av daglig mockning, se figur E2B.



Figur E2B: Jämförelse mellan egen regnmätning bredvid cylindrarna och den existerande mätstationen som användes under daglig mockning.

Pga korrelation ansågs den befintliga mätstationen lämplig att använda i studien.