

NLeCCS – ett system för beräkning av läckage av näringsämnen från åkermark

Holger Johnsson, Kristina Mårtensson, Anders Lindsjö, Kristian Persson och Karin Blombäck



Titel: NLeCCS - ett system för beräkning av läckage av näringsämnen från åkermark

Författare: Holger Johnsson, Kristina Mårtensson, Anders Lindsjö, Kristian Persson och Karin Blombäck

Kontakt: Holger.Johnsson@slu.se, 018 – 67 24 55

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2019

Omslagsbild: Foto: Anders Lindsjö

Serietitel: Ekohydrologi

Delnummer i serien: 159

ISSN: 0347-9307

ISRN: SLU-VV-EKOHYD-159-SE

Elektronisk publicering: <http://pub.epsilon.slu.se>

Bibliografisk referens: Johnsson, H., Mårtensson, K., Lindsjö, A., Persson, K. och Blombäck, K. (2019). *NLeCCS - ett system för beräkning av läckage av näringsämnen från åkermark*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. (Ekohydrologi, 159).

Innehållsförteckning

INLEDNING	2
Beräkning av läckage från åkermark	2
Utveckling av beräkningsmetodiken NLeCCS	3
BERÄKNINGSSYSTEMET NLeCCS	4
Växtodlingsgenerering	5
Simulering	5
Koefficientberäkning	6
Modellerna	6
TILLÄMPNINGAR AV NLeCCS - NÄRINGSLÄCKAGE FRÅN SVERIGES ÅKERMARK	10
Matrisen – Kombination av faktorer som påverkar utlakningen	10
Växtodlingssystemet	13
Indata och antaganden	15
Exempel på beräknat normalläckage	24
Exempel på tillämpningar av normalläckagevärden	34
REFERENSER	36

Inledning

Beräkning av läckage från åkermark

Läckaget av kväve och fosfor från åkermark till yt- och grundvatten behöver kvantifieras för att kunna skatta påverkan på sjöar, hav och grundvatten. Läckage av dessa näringsämnen är en naturlig process som sker från all mark men i mycket varierande omfattning beroende av t.ex. klimat och jordtyp. Den påverkas också av olika odlingsåtgärder så som gödning och odlad gröda och varierar kraftigt från år till år framförallt beroende på varierande väder. Markläckaget ger upphov till s.k. diffusa utsläpp (i motsats till punktutsläpp från t.ex. avlopp) som är mycket svåra att mäta och övervaka. Det består dels av utlakning genom markprofilen och dels genom transport via ytavrinning.

Kväve- och fosforläckaget kan definieras som det kväve och fosfor som transporteras ned genom marken förbi markens rotzon eller med ytavrinningen ut över åkerkanten (eller ner i ytvattenintag). Kväve och fosfor som passerat förbi rotzonen eller över åkerkanten kan inte längre tas upp av växtligheten på åkern och är därmed ej längre påverkbart av olika odlingsåtgärder inom jordbruket, det vill säga kvävet och fosfor har lämnat jordbrukssystemet. Kvävet och fosfor transporteras därefter antingen ner till djupare grundvatten, som förr eller senare når ett vattendrag, eller till ett dräneringssystem för vidare transport ut i diken och vattendrag. Under dessa transporter sker retentionsprocesser som reducerar mängden kväve och fosfor som når vattendraget. Omfattningen av denna retention är beroende av de lokala förhållandena och varierar kraftigt. I metoden vi beskriver i denna rapport representeras **kväveläckaget** av rotzonsutlakning från åkermark. **Fosforläckaget** representeras däremot av förlusterna via både rotzonsutlakning och ytavrinning. Dessa läckage av kväve och fosfor kan betraktas som åkermarkens bruttoläckage eller bruttobelastning på vatten.

För att bestämma hur stor åkermarkens förluster av kväve och fosfor är utförs mätningar i forskningsprojekt och miljöövervakningsprogram. Dessa är dock komplicerade och kostnadskrävande och kan därför inte utföras för alla typer av jordar och klimat eller för alla olika grödor och odlingsåtgärder. För att representera all åkermark i Sverige krävs ett mycket stort antal kombinationer. Det krävs således en annan metod för att uppskatta de samlade förlusterna från all åkermark. Simuleringsmodeller erbjuder en konceptuell och generaliserad beskrivning av kväve- och fosforläckaget och kan därför användas för att beräkna och analysera orsaker till läckageförluster i ett större område, region eller land.

För ovanstående ändamål har vi utvecklat beräkningssystemet NLeCCS för att beräkna näringsämnesläckaget av kväve och fosfor från åkermark. Systemet är uppbyggt kring de matematiska simuleringsmodellerna SOIL/SOILN för kväve och ICECREAM för fosfor, och till dessa kopplade simuleringsverktyg SOILNDB respektive ICECREAMDB. Modellerna kan beräkna läckage av kväve och fosfor för olika typer av jordar, markegenskaper, klimat, grödor och odlingsåtgärder, samtliga dessa viktiga faktorer som påverkar storleken av näringsämnesläckaget. Modellerna har tillämpats på ett antal olika utlakningsförsök under olika förhållanden. Vid dessa tester har modellerna visat sig kunna beskriva läckaget av kväve och fosfor från svensk åkermark. Tillförlitligheten i dessa tillämpningar, de kalibreringar som utförts och de parametervärden som bestämts utgör grunden för att kunna använda modellerna för generella läckageberäkningar.

Som tidigare nämnts varierar kväve- och fosforläckaget kraftigt från år till år, huvudsakligen beroende på stor variation i avrinning som i sin tur beror på skillnader i väderlek mellan åren. Stor avrinning leder till stora läckage av kväve och fosfor medan lägre avrinning leder till mindre förluster. Att

bestämma kväve- och fosforläckage för enskilda år och jämföra dessa för att utröna effekten av förändrade odlingsåtgärder på läckaget kan därmed bli starkt missvisande. Ett normaliserat klimat och en normaliserad avrinning är alltså en bättre bas för en bedömning av odlingens betydelse för näringsämnesförlusterna. I NLeCCS har vi därför valt att beräkna kväve- och fosforläckage från en längre tidsperiod av väderdata som representerar ett normalt klimat och utifrån detta beräkna flerårsmedelvärdet för läckaget eller, som vi har valt att kalla det, **normalläckage** (i analogi med de årliga normskördar som ingår i Sveriges officiella statistik). Vid jämförelse av läckaget för beräkningar för flera olika år kan vådrets effekt således ”filtreras bort”. Som indata till beräkningarna av normalläckaget med NLeCCS har vi använt data om markegenskaper sammanställda för olika regioner baserat på nationella karteringar och för data om odling såsom grödor, skördar, gödsling och andra odlingsåtgärder har vi valt att använda svensk statistik från SCB och Jordbruksverket.

Genom att kombinera de beräknade normalläckagen för olika kombinationer av jordarter, grödor, markfosforhalter och lutningar med geografisk och statistisk information om dessa faktorer kan bruttobelastningen från åkermarken från ett område, en region eller hela landet beräknas. Dessa kvantifieringar behövs bland annat för rapporteringar till internationella organ av belastningen av näringsämnen till våra omgivande hav, för analys av påverkan på våra sjöar och vattendrag inom ramen för vattenförvaltningen, som ett led i uppföljningen av miljömålet ”Ingen övergödning” samt för att identifiera behovet av åtgärder. Detta har utförts vid ett flertal tillfällen, senast i beräkningarna av näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet 2014 för rapporteringen till HELCOM/PLC6 (Helsingforskommissionen, Pollution Load Compilation nr 6) som redovisas i rapport av Havs och vattenmyndigheten (2016) där belastningen från jordbruket har beräknats för vattenförekomster, avrinningsområden och regioner/distrikt.

I föreliggande rapport ges en redovisning av beräkningssystemet NLeCCS och hur det har anpassats för beräkning av näringsämnesläckage från Sveriges åkermark för användning i beräkningar av näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet.

Utveckling av beräkningsmetodiken NLeCCS

NLeCCS-systemet har sitt ursprung i det nordiska projektet ”Regionalisation of erosion and nutrient losses from agriculture in Nordic countries” som genomfördes på 1990-talet (Rekolainen & Leek, 1996; Hoffmann & Johnsson, 1999). För kväve användes metodiken därefter för beräkning av belastningen från södra Sverige på Västerhavet och Östersjön 1985-94 inom Naturvårdsverkets utredning ”Kväve från land till hav” (Naturvårdsverket, 1997a,b; Johnsson & Hoffmann, 1997, 1998; Hoffmann & Johnsson, 2000).

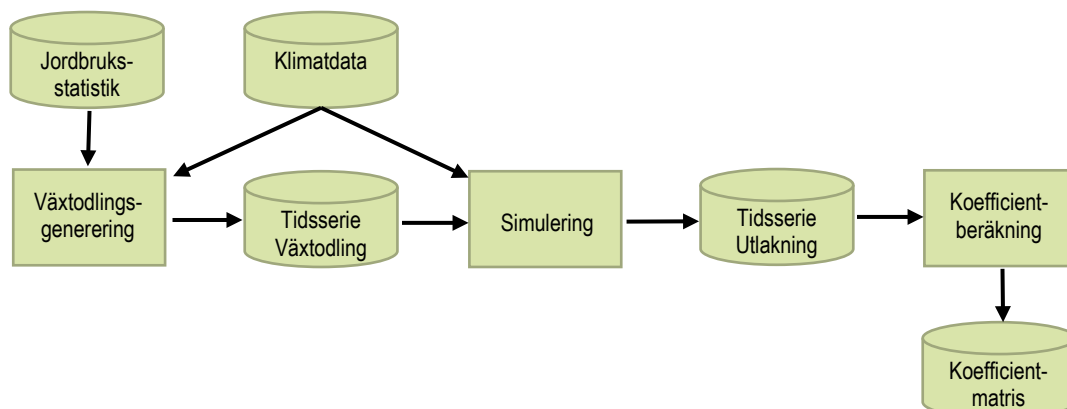
Metoden har sedan vidareutvecklats bl.a. genom en finare indelning av regioner, utnyttjande av simuleringsverktyget SOILNDB (för att administrera SOIL- och SOILN-modellerna), simulering av växtföljder, utnyttjande av en ny jordartskarta m.m. Beräkningssystemet användes sedan för beräkningar av normalläckage av kväve för åren 1995 och 1999 (Johnsson & Mårtensson, 2002). Dessa beräkningar utfördes inom ramen för TRK-projektet där belastningen av kväve på Sveriges omliggande hav beräknades och utnyttjades för HELCOM/PLC4 rapporteringen (Brandt & Ejhed, 2002). Metoden användes också för tillämpningar på avrinningsområdesskala och för åtgärdsscenarioer och klimatscenarioer (Kyllmar m.fl., 2002, 2005; Larsson m.fl., 2005; Arheimer m.fl., 2005; Blombäck m. fl., 2012). Därefter utvecklades systemet vidare med avseende på bland annat växtodlingsgenerering och systemet fick sitt namn, NLeCCS (Nutrient Leaching Coefficient Calculation System). Systemet användes därefter för att beräkna effekten av fånggrödestödet på

kväveutlakningen år 2001 (Johnsson & Mårtensson, 2006a), förändringen av kväveutlakningen mellan 1995 och 2003 (Johnsson & Mårtensson, 2006b) och effekten på kväveutlakningen vid förändrad gödsling av spannmål (Johnsson m.fl., 2006a). En ny omarbetad version av SOILNDB togs fram 2005 (Torstensson m.fl., 2006), och denna användes för första gången i NLeCCS vid beräkningar av normalutlakningen av kväve från ekologiskt odlad areal 2003 (Johnsson m.fl., 2006b).

Systemet användes därefter för beräkning av normalutlakningen för år 2005, 1995 och 1999 för användning till den fördjupade miljömålsuppföljningen och beräkningen av belastningen på Östersjön och Västerhavet för rapportering till HELCOM/PLC5 (Johnsson m.fl., 2008; Johnsson m.fl., 2009). För fosfor var det första gången metoden tillämpades i samband med beräkningarna för HELCOM/PLC5. För detta ändamål vidareutvecklades NLeCCS därför för fosfor genom att ansluta ICECREAMDB-modellen (Johnsson m.fl., 2006c). Därefter har samma uppsättning av systemet använts för beräkningar av normalläckaget av näringsämnen för år 2009 (Blombäck m.fl., 2011) och för år 2011 (Blombäck m.fl., 2014) för användning till miljömålsuppföljningen och för analys av orsaker till förändringen av närsaltsäckaget från åkermark från 2005 och framåt. Samtidigt har vidareutveckling av NLeCCS-systemet pågått och till beräkningen av 2013 års normalläckage användes en ny version av systemet. Det är denna version av systemet som beskrivs i föreliggande rapport.

Beräkningssystemet NLeCCS

NLeCCS (Nutrient Leaching Coefficient Calculation System) är ett system för att beräkna normalläckage av kväve och fosfor från åkermark. Systemet beräknar normalläckaget i form av läckagekoefficienter (mg/l eller kg/ha) för en kombination (matris) av olika regioner, jordarter, grödor och för fosfor även lutning och markfosforinnehåll. De beräknade läckagekoefficienterna kan sedan användas för att beräkna medelläckaget (kg/ha) eller totala läckaget (ton) från åkermarken i olika geografiska skalor. NLeCCS består av en svit av datorprogram (Persson m.fl., 2007a) vars utdata används som indata av nästa program (Figur 1). Datorprogrammen hanterar databaser, skapar in- och utdatafiler till simuleringsmodellerna och administrerar en dynamisk simulering av N respektive P i markväxtsystemet med hjälp av dessa. De olika programmen beskrivs sammanfattande nedan.



Figur 1. Flödesschema över NLeCCS. Cyllindrar representerar data och boxar beräkningsprogram.

Växtodlingsgenerering

Jordbruksstatistik avseende ett specifikt år (det år för vilket en beräkning önskas göra) sammanställs för varje region i en databas vilken används som indata till programmet som genererar växtodlingstidsserier, CSMG (Crop Sequence and Management Generator). CSMG genererar kompletta grödsekvenser med odlingsåtgärder som innefattar det som normalt sker i odlingen, så som tidpunkter för sådd, skörd, gödsling, plöjning, insådd av fånggrödor. Andelen år av varje gröda i grödsekvensen är proportionell mot arealförekomsten av den grödan det året beräkningen gäller för. CSMG slumpar grödsekvensen utifrån givna regler för vilka grödor som kan följa på varandra i en växtföljd, exempelvis att sockerbetor inte kan följas av höstvetete. CSMG kan generera mycket långa grödsekvenser, i storleksordningen 10 000-tals år. Vid simuleringen delas växtodlingstidsserierna upp i delar om 20-30 år beroende på hur lång serie av klimatdata man vill normalisera. De långa grödsekvenserna är nödvändiga för att alla kombinationer av olika grödor, odlingsåtgärder och årsmånar ska återkomma tillräckligt många gånger i simuleringen för att kunna ge bra medelvärden på läckaget för respektive gröda och då särskilt för grödor med liten areal.

För varje region som beräkningar skall utföras för sammanställs klimatdata i en databas tillsammans med information om växtsäsongens start- och slutdatum. Växtsäsongens startdatum sätts som det datum där dygnsmedeltemperaturen stadigvarande ligger över 4°C (flytande dygnsmedeltemperatur över 9 dygn). I analogi med detta sätts växtsäsongens slutdatum som det datum där dygnsmedeltemperaturen sjunker under 4°C (Persson, 2016).

Simulering

Läckaget av kväve och fosfor simuleras med separata modeller. För kväve representeras läckaget av totalkväve från rotzonen vilket simuleras med SOIL/SOILN modellen som styrs av SOILNDB (se nedan). Beräkningarna görs med antagandet av fri dränering av åkermarken vid 1,5 m djup. Vad som således räknas fram är dränering av allt vatten som lämnar rotzonen och kan sägas utgöra summan av det vatten som flödar ner till djupare grundvatten och till eventuella dräneringsrör. SOILNDB läser klimatdatabasen och växtodlingstidsserierna från CSMG samt utför förberedande beräkningar, beräknar parametervärden för SOIL/SOILN-modellerna och startar simuleringarna. Efter simuleringarna med SOIL/SOILN-modellen sammanställer SOILNDB resultatet till tidsserier med årsmedelvärden för agrohydrologiska år, första juli till sista juni. Det innebär att läckaget av N från den gröda som växer på fältet den 1 juli tillskrivs läckaget under det agrohydrologiska året som varar fram till 30 juni nästkommande år. Orsaken till detta är att grödan påverkar kväveutlakningens storlek under den, efter odlingssäsongen, kommande avrinningsperioden från höst till vår.

Fosforläckaget simuleras med ICECREAM-modellen som styrs av ICECREAMDB (se nedan) som läser klimatdatabasen och växtodlingstidsserierna från CSMG. Efter simuleringen med ICECREAM sammanställer ICECREAMDB resultatet till tidsserier med årsmedelvärden för kalenderår. Det innebär att läckaget av fosfor under hela kalenderåret tillskrivs den gröda som skördas det året. Orsaken till detta är att grödan främst påverkar fosforutlakningens storlek under odlingssäsongen. För fosfor delas läckaget upp i utlakning från rotzonen och borttransport med ytavrinning och dessa delas i sin tur upp i en löst (SRP) respektive partikulär (PP) fraktion. Simuleringarna av tidsserierna med kväve respektive fosfor görs för samtliga jordarter i varje region (med tillhörande klimat och jordbruksstatistik) som beräknas. För fosfor görs dessutom simuleringar för olika markfosforhalter och olika marklutningar för varje jordart och region.

Koefficientberäkning

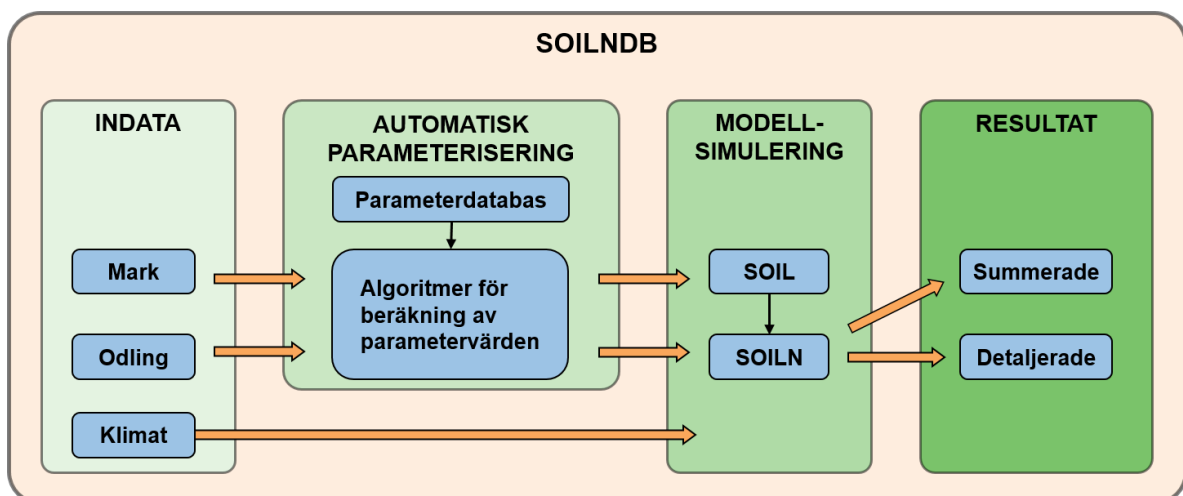
Utifrån de beräknade årsmedelvärdena beräknas flerårsmedelvärden av läckage för alla olika kombinationer av grödor och jordarter i varje region, vilket resulterar i en matris av koefficienter. För fosfor ingår också åkermarkens lutning och jordens fosforinnehåll i matrisen och för läckagets beroende av dessa vektorer skapas läckageekvationer. Detta görs genom att beräkna koefficienter för några olika lutningar och fosforhalter och därefter beräkna läckageekvationer med hjälp av linjär multipel regression (Persson, 2009) med lutning och markfosfor som oberoende variabler och fosforförlust som beroende variabel. Läckagekoefficienterna är medelvärdet av alla år med en viss gröda i grödsekvensen och uttrycks i $\text{kg/ha} \cdot \text{år}$ eller $\text{mg/l} \cdot \text{år}$. I läckagekoefficienterna inkluderas all påverkan av väder, gröd- och gödslingskombinationer, jordbearbetningstidpunkt och eventuella fånggröde- och skyddszonseffekter.

Modellerna

SOILNDB (kväve)

SOILNDB (Johnsson m.fl., 2002; Larsson m.fl. 2002; Torstensson m.fl., 2006) är en modell för att beräkna kväveutlakning från åkermark med förenklat indatabehov (Figur 2). Programmet är uppbyggt som ett ”skal” runt en sedan tidigare utvecklad forskningsinriktad modell för kväveutlakning från åkermark (SOIL-SOILN, se nedan) och en parameterdatabas. Val av odlingsystem (grödor, skördar, odlingsåtgärder), marktyp och klimat är länkade till procedurer för automatisk parametrering av modellen utgående ifrån värdena i parameterdatabasen. Med SOILNDB kan det arbets- och tidskrävande momenten rörande parametersättning, modellkörning och resultatpresentation reduceras, vilket möjliggör förhållandevis effektivt utförda beräkningar för många olika odlingsituationer. Ett eller flera fält med flera års odling kan beräknas i en följd.

Den indata som krävs för en beräkning är mindre detaljerad och mindre omfattande än vad som krävs för direkt användning av SOIL och SOILN. En databas innehållande parametervärden (för exempelvis markegenskaper) specifika för modellerna SOIL och SOILN är inkluderad i systemet. Dessa värden grundas på tidigare tester och tillämpningar av modellerna. Dessutom ingår beräkningsrutiner för att skatta vissa parametervärden. SOIL och SOILN är kopplade i serie i systemet, det vill säga utdata från SOIL-modellen utgör automatiskt indata till SOILN. Presentation av simuleringsresultatet i summerad form är också inkluderat i systemet.



Figur 2. Schematisk beskrivning av SOILNDB.

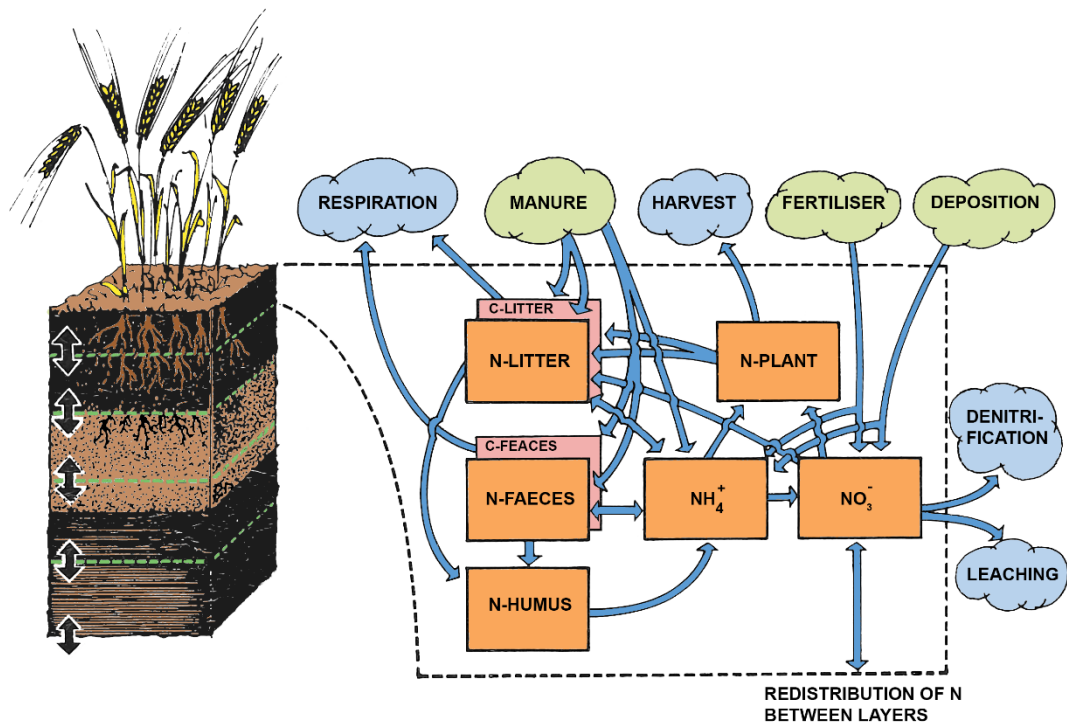
SOIL-SOILN

Under mitten av 1980-talet utvecklades vid SLU simuleringsmodellen SOILN (Johnsson m.fl., 1987). Modellen, som beskriver kvävet dynamik och förluster i åkermark (Figur 3), kopplades till en tidigare utvecklad vatten- och värmemodell, SOIL (Jansson & Halldin, 1980; Jansson, 1991). Syftet med detta arbete var att öka förståelsen för hur de samtidiga fysikaliska och biologiska processerna i mark-växsystemet påverkar förlusterna av kväve vid varierande väder, jordarter, odlingsystem och odlingsåtgärder. För att göra modellen tillämpbar för olika lokaler gjordes modellens struktur enkel och dess behov av indata anpassades till en nivå som skulle motsvara vad som normalt finns tillgängligt i fältförsök.

SOIL-modellen är en fysikaliskt baserad modell för vatten- och värmeflöde i en markprofil och inkluderar funktioner för snödynamik, tjäle, evapotranspiration, infiltration, ytavrinning och dräneringsflöden till dräneringssystem och grundvatten samt växternas vattenuptag. Drivdata till SOIL modellen är tidserier av meteorologiska data såsom lufttemperatur och nederbörd, solinstrålning, vindhastighet och luftfuktighet. SOIL-modellen förser SOILN-modellen med drivvariabler, det vill säga tidserier med infiltration, vattenflöden mellan markskikt och till dräneringsrör, markvattenhalt och marktemperatur i olika markskikt. SOILN-modellen utnyttjar drivvariablerna från SOIL-modellen för att beräkna tidserier av utlakning av kväve från rotzonen till dräneringsrör och grundvatten. SOILN-modellen innehåller funktioner för de huvudsakliga processer som styr kvävet flöden och tillstånd i jordbruksmark såsom; Inflöde av kväve genom stall- och mineralgödning samt deposition, mineralisering av organiskt kväve till ammonium och nitrat beroende av marktemperatur och markfukt, nedbrytning av växtrester till koldioxid och humus, växtens kvävedynamik såsom rotupptag av kväve till växter, skörd och återförsel av döda växtrester till marken, denitrifikation beroende på markens temperatur, syrestatus och nitratthalt samt nitrattransport i markprofilen och i dräneringsvattnet.

Modellen, vars typiska representativitet motsvarar ett någorlunda homogent jordbruksfält, är således speciellt lämplig för att undersöka betydelsen av olika odlingsåtgärders, klimats och jordtypers inverkan på rotzonsutlakning (det vill säga det som försvinner från det mark-växsystem som är påverkbart med olika odlingsåtgärder).

Modellen har testats på ett flertal olika fältförsök (sammanställning i exempelvis Hoffman, 1999). Den har också använts för att skatta utlakningen från fält där endast en begränsad mängd indata finns och för simulering av olika tänkbara odlingsåtgärder för att minska utlakningen av kväve från åkermark. Testerna har visat att modellen kan beskriva mineralkvävet variation i marken och kväveutlakning för några olika jordar, odlingsystem och klimat i Sverige. Genom att testa modellen på olika datamaterial ökar vi vår kunskap om dess generalitet och vår kunskap att parametrisera den. Vi får också kunskap om modellens känsliga delar och hur vi kan förbättra den. Arbetet med att testa modellen pågår således kontinuerligt. Detta ger sedan möjligheter att med ökad precision tillämpa modellen på lokaler där endast en mycket begränsad mängd indata finns tillgängligt.



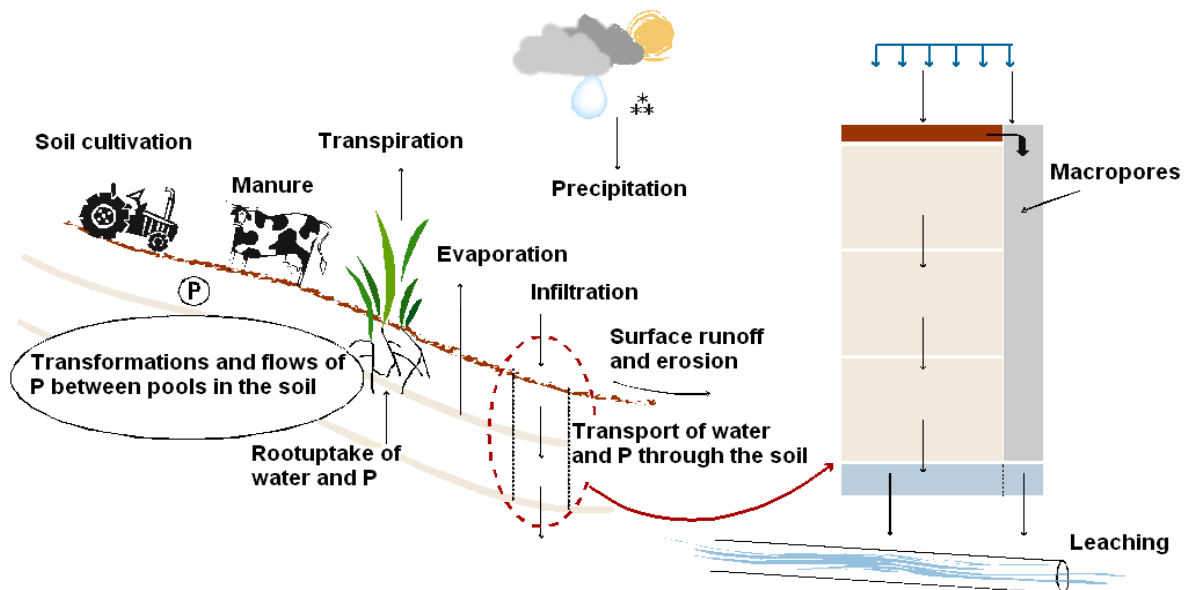
Figur 3. SOILN-modellens struktur (efter Johnsson m.fl., 1987)

ICECREAMDB (fosfor)

ICECREAMDB (Persson m.fl., 2007b) är en modell för att beräkna förluster av fosfor från åkermark från större områden baserad på ICECREAM-modellen (se nedan). Beräkningarna underlättas jämfört med ICECREAM i och med att stora mängder indata och resultat kan hanteras rationellt. ICECREAMDB läser all data som behövs för att köra ICECREAM från databaser och omvandlar dem till de textfiler som ICECREAM styrs med. Med ICECREAMDB är det därför möjligt att genomföra tusentals simuleringar i följd. Resultaten från ICECREAMDB bearbetas automatiskt så att läckagekoefficienter (årsmedelvärden) för varje kombination av jordart, gröda, lutning, markfosforhalt och gödslingsregim genereras från de dygnsbaserade simuleringresultaten.

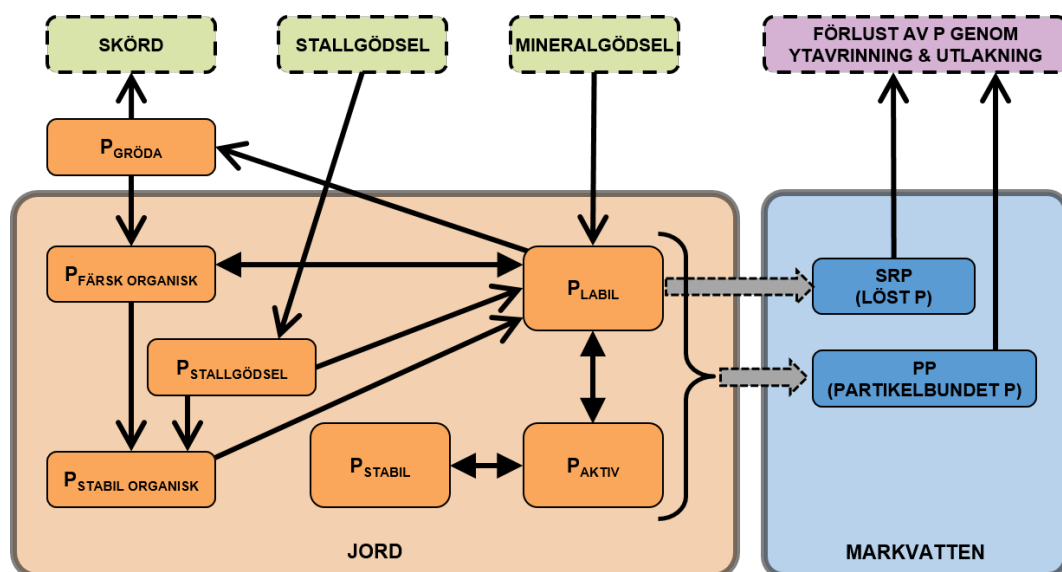
ICECREAM

ICECREAM är en dynamisk, delvis fysikaliskt baserad, odlings- och åtgärdsorienterad fosforläckagemodell (Rekolainen & Posch, 1993; Tattari m.fl., 2001; Larsson m.fl., 2007; Radcliffe et al., 2015). Med ICECREAM kan man beräkna olika odlingsåtgärders påverkan på vattenflöden, erosion och förluster av löst (SRP, Soluble Reactive Phosphorus) och partikulärt (PP) fosfor via ytavrinning och utlakning genom markprofilen från ett fält (Figur 4). Modellen, med ursprung i modellerna EPIC (Jones et al., 1984, Sharpley et al., 1984) och CREAMS (Knisel, 1980), har senare vidareutvecklats i Finland för att kunna beskriva fosforförluster under nordiska klimatförhållanden (Posch & Rekolainen, 1993; Rekolainen & Posch, 1993; Tattari m.fl., 2001). Eftersom utlakning genom markprofilen via makroporer är en viktig förlustväg för fosfor i många svenska åkerjordar har modellen vidareutvecklats för att inkludera det i beräkningarna (Larsson m.fl., 2007). Modellen parameteriserades för svenska förhållanden (Johnsson m.fl., 2006c) och användes för första gången till PLC5-rapporteringen (Johnsson m.fl., 2008). Flera känslighetsanalyser av modellen har gjorts för att erhålla kunskap om vilka parametrar som bör väljas med större noggrannhet (Bärlund och Tattari, 2001; Johnsson m.fl., 2006c; Larsson m.fl., 2007; Djodjic m.fl., 2008; Blombäck och Persson, 2009; Schmieder m.fl., 2010).



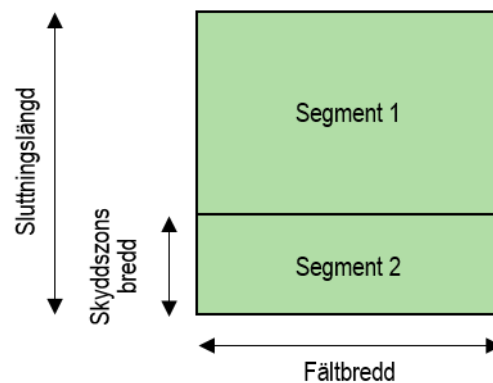
Figur 4. Översikt av ICECREAM (efter Bärlund & Tattari, 2001).

I ICECREAM beräknas flöden och förändringar i pooler med dygnsupplösning och som drivdata används meteorologiska data för temperatur, nederbörd, och molnighet eller solstrålning med samma tidsupplösning. Markprofilen är uppdelad i olika skikt, där varje skikt innehåller pooler av markvatten och olika former av mineralbunden och organiskt bunden fosfor (Figur 5). Modellen beräknar växtupptag, mineralisering, immobilisering och humifiering liksom förluster av SRP och PP via ytavrinning, makroporflöde och med perkoleraande vatten genom markprofilen. I beräkningarna tar man hänsyn till olika jordbearbetningsåtgärder och hur de påverkar markytans skrovlighet och hur organiskt material och stallgödsel blandas i jorden.



Figur 5. Pooler och flöden av fosfor som beräknas med ICECREAM.

Eftersom beräkningen av fosforförlusterna är starkt beroende av fältets geometriska form så tas både fältets lutning och dess längd längsmed lutningsriktningen (sluttningslängden) i beaktande i beräkningen av ytavrinning och erosion liksom ytförlusterna av SRP och PP (Figur 6). För att beräkna inverkan av skyddszoner kan fältets yta delas upp i två segment där det övre segmentet representerar den odlade grödan på fältet och det nedre representerar skyddszonen (Figur 6).



Figur 6. Definition av det beräknade fältets dimensioner och använda definitioner av dessa.

Tillämpningar av NLeCCS - näringsläckage från Sveriges åkermark

Beräkningar av normalläckage av näringsämnen från Sveriges åkermark har utförts med NLeCCS-metodik för åren 1995, 2000, 2005, 2007, 2009, 2011 och 2013 (Johnsson m.fl., 2008; Johnsson m.fl., 2009; Blombäck m.fl., 2011; Blombäck m.fl., 2014; Johnsson et al 2016). Nedan ges en sammanfattande beskrivning av beräkningen för år 2013 (Johnsson et al., 2016) som har använts till beräkningarna av näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet 2014 för rapporteringen till HELCOM-PLC6 (Havs och vattenmyndigheten, 2016). Den fullständiga beskrivningen återfinns i Johnsson et al. (2016).

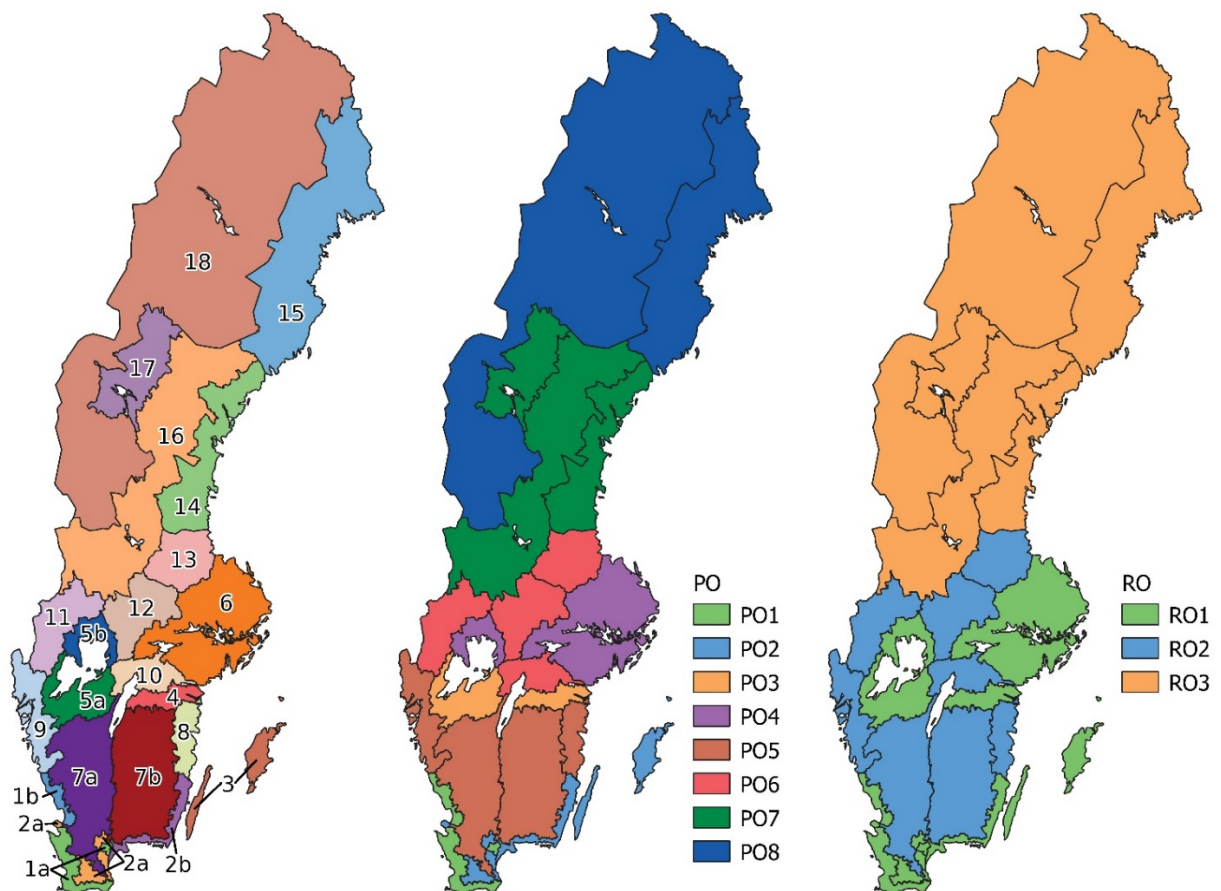
Matrisen – Kombination av faktorer som påverkar utlakningen

Beräkningar av normalläckage av kväve och fosfor år 2013 i form av koefficienter utfördes för en matris med de ingående vektorerna:

- Läckageregion (22 st.)
- Gröda (13 st.)
- Jordart (10 st.)
- Markfosfor i matjorden (endast för fosfor)
- Lutning (endast för fosfor)

Läckageregioner

Åkermarken i Sverige delades upp i 22 läckageregioner (Figur 7, Tabell 1). Grunden för uppdelningen var SCB:s indelning i arton produktionsområden (PO) för redovisning av jordbruksstatistik varav fyra av dessa produktionsområden delades på grund av stora klimatskillnader inom regionen. Varje läckageregion antogs ha en karaktäristisk årsmedelavrinning, utnyttjad som "målavrinning" i beräkningarna, och en klimatstation som är representativ för regionen.



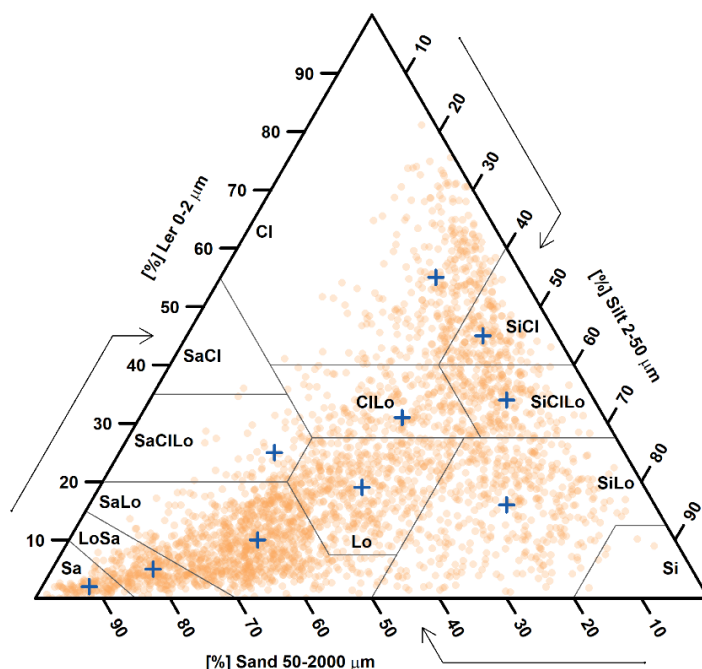
Figur 7. Läckageregioner (Lr), produktionsområden (PO8) och riksområden (RO) i Sverige.

Tabell 1. Läckageregioner (Lr), produktionsområden, riksområden.

Lr	Produktionsområde, PO18, nr	Produktionsområde, PO8, nr	Riksområde RO, nr	
1a	Skåne-Hallands slättbygd, 1 (Skånedelen)	Götalands södra slättbygder, 1	Södra & mellersta Sveriges slättbygder, 1	
1b	Skåne-Hallands slättbygd, 1 (Hallandsdelen)			
2a	Sydsvenska mellanbygden, 2 (Skånedelen)			
2b	Sydsvenska mellanbygden, 2 (Blekinge-Kalmardelen)			
3	Öland & Gotland, 3			
4	Östgötaslätten, 4			
5a	Vänerslätten, 5 (Södra delen)	Götalands norra slättbygder, 3	Södra & mellersta Sveriges skogs- & dalbygder, 2	
5b	Vänerslätten, 5 (Norra delen)			
6	Mälardalen & Hjälmarsbygden, 6	Svealands slättbygder, 4		
7a	Sydsvenska högländet, 7 (Västra delen)	Götalands skogsbygder, 5		Norra Sverige, 3
7b	Sydsvenska högländet, 7 (Östra delen)			
8	Östsvenska dalbygden, 8	Mellersta Sveriges skogsbygder, 6		
9	Västsvenska dalbygden, 9			
10	Södra Bergslagen, 10			
11	Västsvenska dalsjöområdet, 11			
12	Norra Bergslagen, 12			
13	Östra Dalarna, 13			
14	Kustlandet i nedre Norrland, 14		Nedre Norrland, 7	
15	Kustlandet i övre Norrland, 15	Övre Norrland, 8		
16	Nordsvenska mellanbygden, 16	Nedre Norrland, 7		
17	Jämtländska siluområdet, 17	Nedre Norrland, 7		
18	Fjäll- & moränbygden, 18	Övre Norrland, 8		

Jordar

Beräkningarna utfördes för tio jordar uppdelade efter den internationella texturklassificeringen enligt FAO (Figur 8). Dessa jordar var sand, loamy sand, sandy loam, loam, silt loam, sandy clay loam, clay loam, silty clay loam, silty clay och clay. Jordarna skiljer sig åt bl.a. avseende de hydrauliska egenskaperna, erosionskänslighet (fosfor) och det maximala rotdjupet.



Figur 8. Jordartstriangel med medeltexturen (+) för de olika texturklasserna baserat på en markkartering av Svensk åkermark genomförd av Eriksson m.fl. (1999). Antalet provpunkter i karteringen var 3034 vilka representeras i triangeln som orangea punkter. Jordartsförkortningar; Sa-Sand, LoSa-loamy sand, SaLo-sandy loam, LoLo-loam, SiLo-silt loam, SaCilo-sandy clay loam, Cilo-clay loam, SiCilo-silty clay loam, SiCl-silty clay, Cl-clay

Grödor

Beräkningarna utfördes för tretton grödklasser: vårkorn, höstvet, vårvet, vall, sockerbetor, höstraps, vårraps, potatis, majs, råg, havre, träda och extensiv vall. Endast grödor som odlades på mer än 1 % av åkerarealen i respektive läckageregion ingick i den beräknade grödsekvensen.

Markfosfor och lutning

För varje region beräknades fosforläckaget för tre olika fosforhalter i marken och för tre olika lutningar (10 respektive 90 percentilen och medelvärdet för respektive region). Utifrån dessa beräknade värden skapades läckageekvationer för fosforläckagets beroende av markens fosforinnehåll och lutning (Persson, 2009). Med hjälp av dessa ekvationer kan fosforläckaget beräknas för varje givet värde av halten markfosfor och lutning för de olika kombinationerna av läckageregion, gröda och jordart.

Växtodlingssystemet

Det simulerade växtodlingssystemet bygger på statistik från SCB och Jordbruksverket om grödor och odlingsåtgärder för de olika produktionsområdena i Sverige. Grödsekvenser med en längd av 15 000 år skapades för varje läckageregion med växtodlingssystemet CSMG (se beskrivning av NLeCCS). Extensiv vall ingick inte i grödsekvensen utan beräknades separat. Grödorna har kunnat gödslas på två sätt (nedan benämnt gödslingsregimer); *stallgödsling med kompletterande mineralgödsling* samt *enbart mineralgödsling*. I fosforberäkningen har även grödorna kunnat vara *ogödslade*.

Grödsekvenserna har för varje läckageregion slumpats utifrån statistikuppgifter för år 2013 så att:

- Grödorna förekommit i proportion till andelen areal av olika grödor.
- Stallgödsling förekommit i proportion till andelen av grödans areal som fått stallgödsel.
- Mineralgödsling förekommit i proportion till andelen av grödans areal som fått mineralgödsel.
- Ogödslad areal (ingick endast i fosforberäkningen) har förekommit i proportion till andelen av grödans areal som ej gödslades med fosfor.
- Stallgödsling på hösten förekommit i proportion till andelen av den stallgödslade arealen som höstgödslades och stallgödsling på våren förekom i proportion till andelen av den stallgödslade arealen som vårgödslades (för vall i fosforberäkningen även stallgödsling på sommaren i proportion till andelen areal som sommargödslades).
- Fånggröda förekommit i proportion till andelen av arealen för varje gröda som varit insådd med fånggröda.
- Vårbearbetning förekommit i proportion till andelen av arealen vårsådda grödor som vårbearbetats.
- Halmskörd förekommit i proportion till andelen av arealen för varje gröda där halm skördats.

Grödsekvensen för respektive läckageregion inkluderade därmed alla möjliga kombinationer med avseende på grödor, gödslingsstidpunkter, halmskörd, gödslingsregimer, jordbearbetningstidpunkter och fånggrödor.

Grödorna slumpades för att följa efter varandra enligt vissa begränsningar för att ta hänsyn till t.ex. växtskydd och grödornas olika skörde- och såtider (Tabell 2). Höstsådd gröda har till exempel inte kunnat följa efter sockerbetor eftersom sockerbetor skördas så sent på hösten. Vall har inte kunnat följa efter potatis och sockerbetor eftersom skörden av dessa omöjliggjort insådd. Fånggröda har inte kunnat följas av höstsådd gröda eller vall. Den fleråriga vällen etablerades genom insådd i annan gröda

och började växa efter denna huvudgrödans skörd. Antalet år med vall innan nedbrukning baserades på odlingsstatistik om vallålder. I grödsekvensen ingick endast arealen av slåttervall, det vill säga vall som skördas varje år och som plöjs upp med jämna mellanrum. Betesvall och långliggande träda ingick inte i grödsekvensen utan antogs vara permanenta växtslag som finns på samma marker under åtskilliga år (läckaget för dessa antogs vara lika med läckaget för vall följt av vall, dvs en vall utan vallbrott). Trädesarealen delades upp i stubbträda och grönträda (som båda ingick grödsekvensen) och långliggande träda. Samma grödsekvens har använts för alla jordartsklasserna inom respektive läckageregion.

Tre typer av fånggrödor och vårbearbetning ingick i grödsekvensen:

- insådd fånggröda som brukas ned på våren efterföljande år,
- insådd fånggröda som brukas ned på hösten och
- vårbearbetning med ”fånggröda” bestående av spillsäd och ogräs.

Tabell 2. Möjliga och omöjliga grödkombinationer i grödsekvenserna samt grödkombinationer möjliga med fånggröda och/eller vårbearbetning. Svarta rutor symboliserar grödkombinationer som var märkta i växtodlingssgeneratorm att inte kunna förekomma, mörkgrå rutor symboliserar möjliga kombinationer men märkta i växtodlingssgeneratorm som mindre sannolika samt vita och gröna rutor symboliserar möjliga grödkombinationer. Gröna rutor är kombinationer som är möjliga med fånggröda och/eller vårbearbetning.

Gröda	Efterföljande gröda												
	Vårkorn	Höstvete	Vall	Sockerbetor	Höstraps	Havre	Vårvete	Råg	Vårraps	Potatis	Grönträda	Stubbträda	Majs
Vårkorn	Grön			Grön		Grön	Grön		Grön	Grön	Grön	Grön	Grön
Höstvete	Grön			Grön	Svart	Grön	Grön		Grön	Grön	Grön	Grön	Grön
Vall			Svart								Svart	Svart	
Sockerbetor		Svart	Svart		Svart			Svart			Svart	Svart	
Höstraps	Grön			Grön	Mörkgrå	Grön	Grön		Mörkgrå	Grön	Grön	Grön	Grön
Havre	Grön			Grön		Grön	Grön		Grön	Grön	Grön	Grön	Grön
Vårvete	Grön			Grön	Svart	Grön	Grön		Grön	Grön	Grön	Grön	Grön
Råg	Grön			Grön	Svart	Grön	Grön		Grön	Grön	Grön	Grön	Grön
Vårraps	Grön			Grön		Grön	Grön		Mörkgrå	Grön	Grön	Grön	Grön
Potatis		Svart	Svart	Grön	Svart			Svart		Mörkgrå	Svart	Svart	
Grönträda			Svart								Mörkgrå	Svart	
Stubbträda			Svart								Svart		
Majs	Grön	Svart	Mörkgrå	Grön	Svart	Grön	Grön	Svart	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön

Simulering och koefficientberäkning

De 15 000-åriga grödsekvenserna för respektive läckageregion delades upp i dataset (tidserier) som var 30 år långa för vilka läckageberäkningar utfördes med den för regionen representativa 30-åriga klimatdataserien. Varje läckageregions grödsekvens simulerades för alla jordarter (N och P) samt för alla kombinationer av de tre olika markfosforhalterna och de tre olika lutningarna (endast P). Medelvärden för de enskilda grödorna beräknades för varje kombination av jordart och läckageregion (N och P) samt lutning och markfosforhalter (P) utifrån tidseriernas enskilda årsvärden av läckage. För fosfor användes dessa medelvärden för att göra markfosfor- och lutningsberoende läckageekvationer för varje kombination av jordart, gröda och läckageregion. Ett sista steg var att sätta koefficienter för grödor som inte simulerats. Det gjordes genom att ersätta de saknade grödornas läckagekoefficienter med medelvärden från andra grödor med liknande egenskaper.

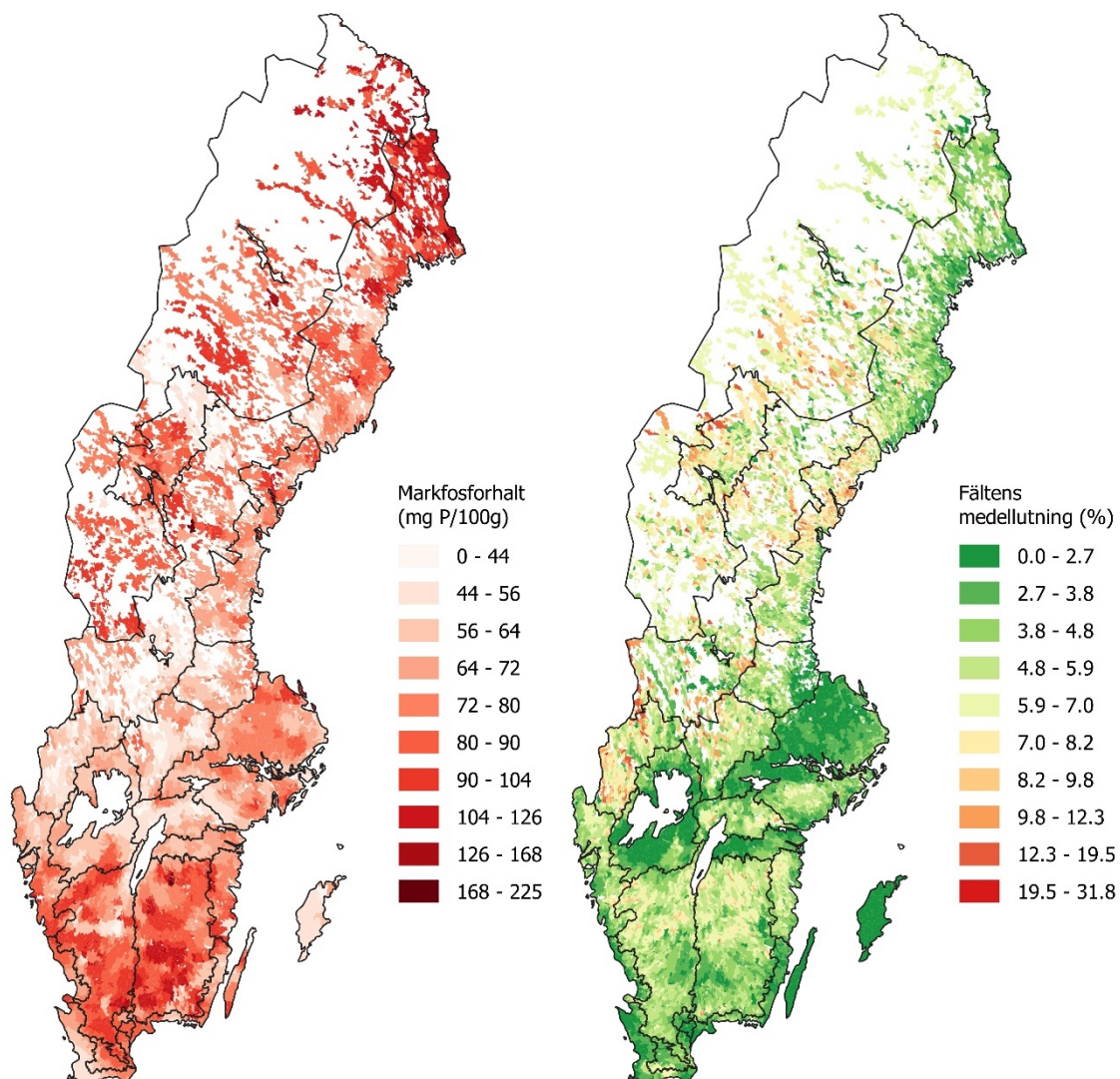
Indata och antaganden

Parametersättningen av modellerna SOILNDB och ICECREAMDB baserades i huvudsak på tidigare applikationer av dessa (Se ovan i Inledning: utveckling av beräkningsmetodik och i Johnsson et al, 2016 för detaljerad redovisning av parametersättning).

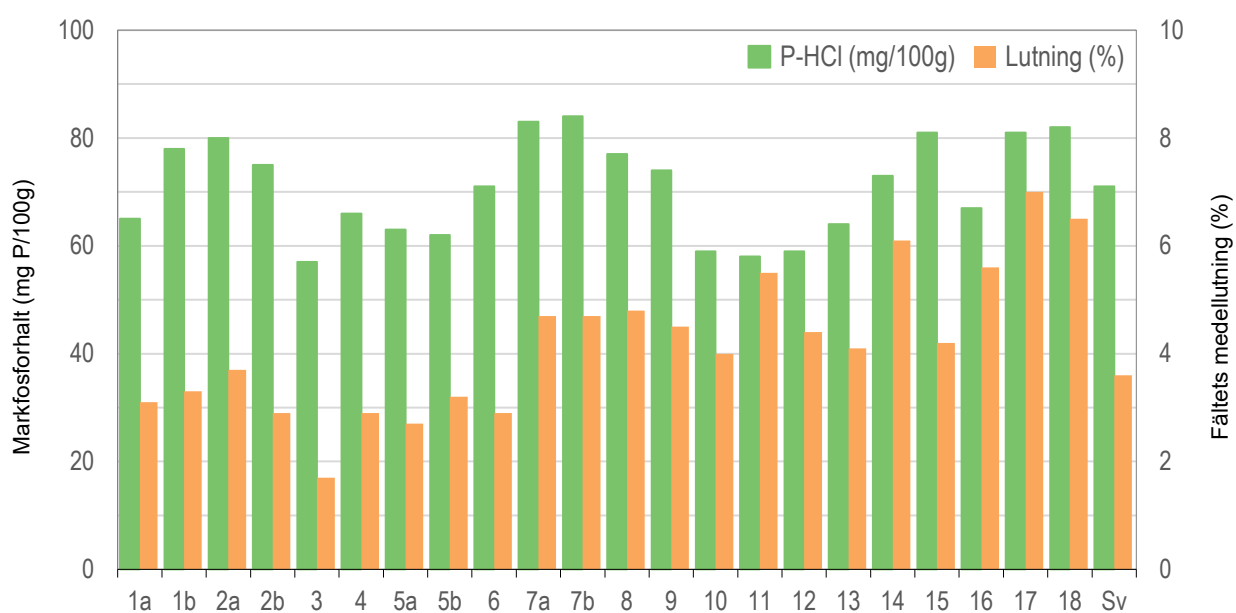
Marken

I kväveberäkningarna antogs att åkermarkens organiska pool (markens mullinnehåll) var i balans i samtliga läckageregioner, det vill säga att det varken skedde någon uppbyggnad eller minskning av mängden organiskt kväve i åkermarken i medeltal för läckageregionerna under beräkningsperioden. Motiv för detta antagande var dels att vi inte vet om aktuell odling (såsom redovisat i statistik för år 2013) leder till ökning, minskning eller oförändrad mullhalt och dels att den organiska poolen generellt bör ha nått ett jämviktsläge eftersom jordbruk bedrivits på ett relativt likartat sätt under lång tid. För att erhålla balans i markens organiska N-pool i simuleringarna har mineraliseringen av organiskt kväve (humus-N poolen) i åkermarken därför anpassats för de olika läckageregionerna.

För fosforberäkningarna är markens hydrologiska egenskaper liksom de egenskaper som reglerar fosfors löslighet avgörande. För de kemiska egenskaperna antogs att alla fält i Sverige uppför sig på likartat sätt vad gäller mineralfosfors fastläggning och löslighet. Det innebär att beräkningarna inte representerar jordar med mycket hög respektive mycket låg förmåga att fastlägga fosfor, utan representerar ett medelfält. För de hydrologiska egenskaperna har varje jordart antagits ha specifika egenskaper och parametreringen av dessa jordartsegenskaper är gjord utifrån oberoende pedotransferfunktioner (Rawls et al, 1982). Även erosionskänsligheten vid ytvavrinning är oberoende parameteriserade för att vara jordartsspecifik. Däremot kalibrerades parametervärdena för hur partiklar som transporteras i makroporer frigörs. Kalibreringen gjordes mot mätdata på fosforförlusterna från observationsfält (Stjernman m.fl., 2015). Dimensionerna för fältstorleken i de olika regionerna togs fram genom att använda medelvärdet av respektive regions blockstorlek (Jordbruksverkets blockdatabas för år 2014) och ett antagande om kvadratisk form på fälten. För att beräkna fältens lutning i de olika regionerna utnyttjades dataunderlag från Lantmäteriets ”GSD-Höjddata 2+” (Lantmäteriet, 2015) (Figur 9, Figur 10). I beräkningen har markkarteringsdata av förrådsfosfor i matjorden använts som indata för att beskriva markens förråd av mineralfosfor (P-HCl; Eriksson m.fl. 1997, 2010; Djodjic & Orback, 2013) (Figur 9, Figur 10).



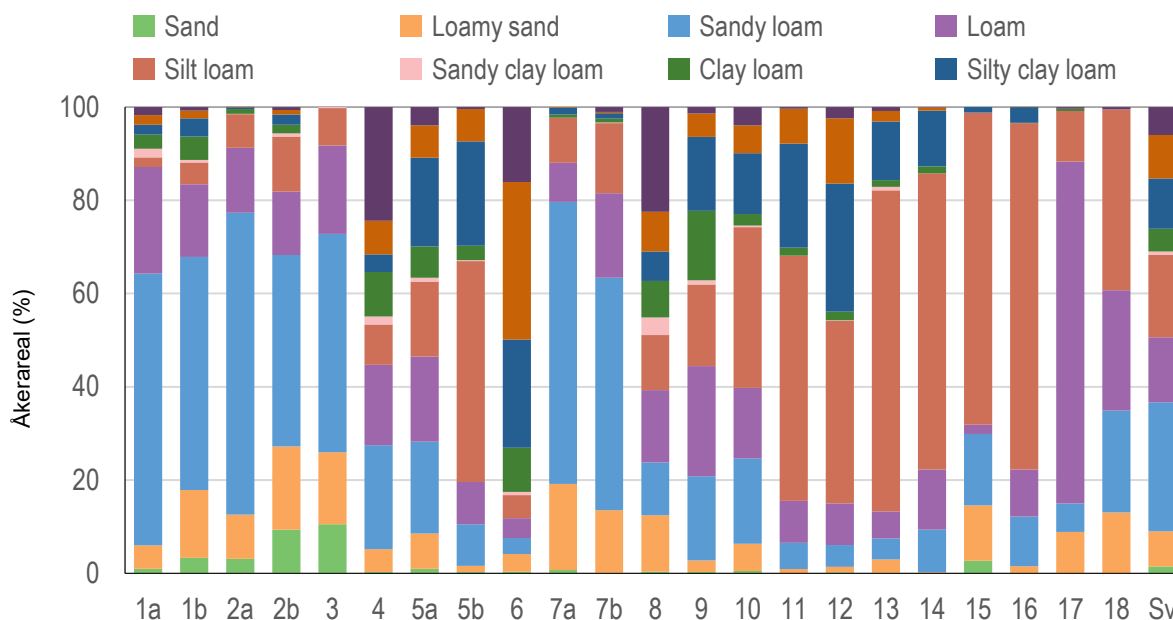
Figur 9. Fältens lutning och markfosforhalter per vattenförekomstområde.



Figur 10. Fältens lutning och markfosforhalter (arealsviktade medelvärden) som använts för beräkningen i läckageregionerna (Lr) samt för Sverige i medeltal (Sv).

Jordartsfördelning

Jordartsfördelningen (Figur 11) som använts i beräkningarna för åkermark har sitt ursprung i den nationella jordartskarteringen av åkermark (Djordjic, 2015; Jordbruksverket, 2015) men har bearbetats vidare för behoven i detta projekt (Widén-Nilsson m.fl., 2016).

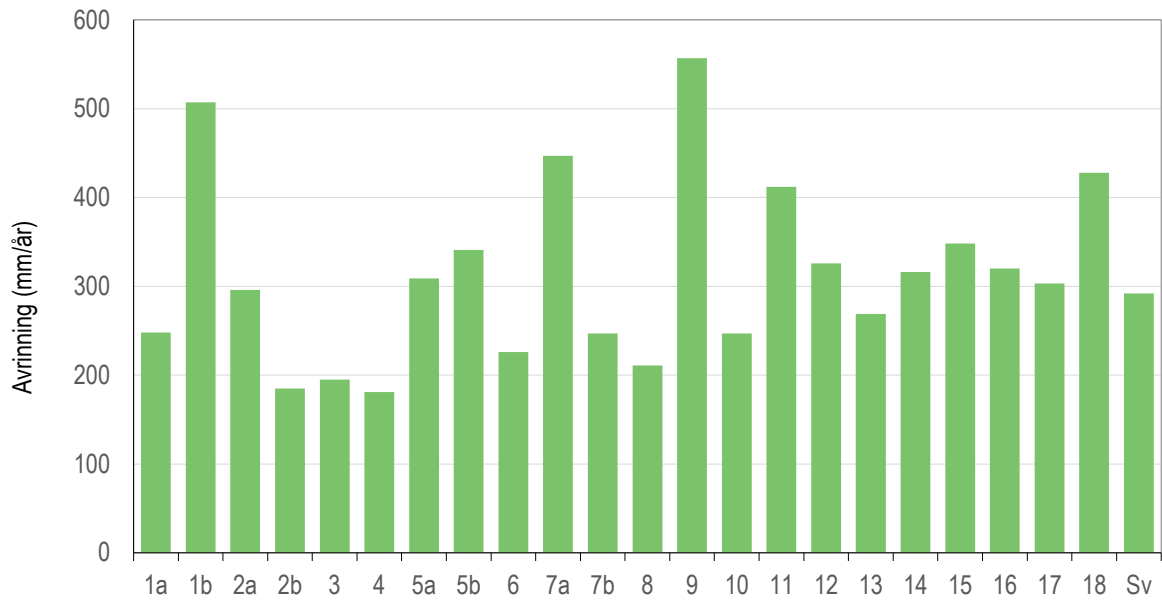


Figur 11. Fördelningen av de tio jordarterna som använts i beräkningen för åkermark i läckageregionerna samt för Sverige i medeltal (Sv).

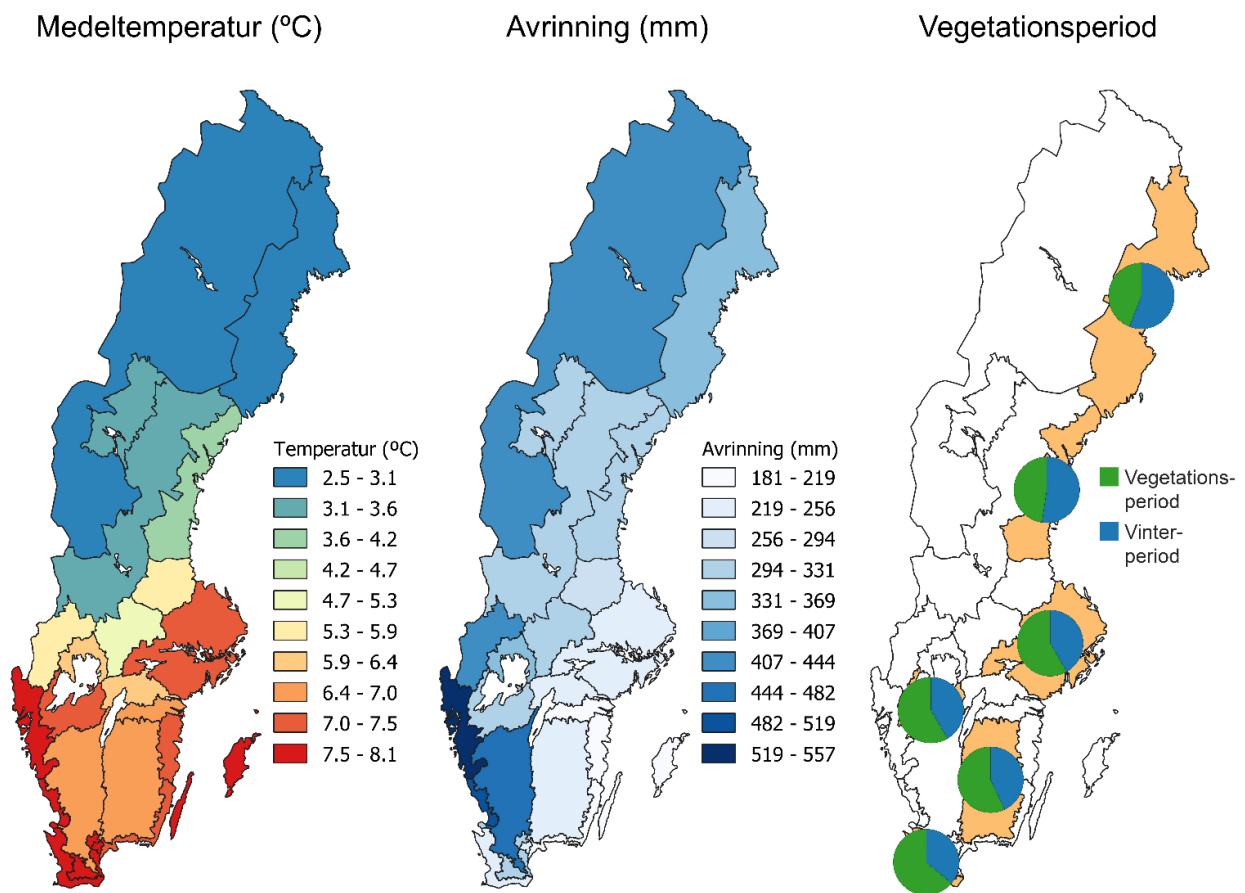
Avrinning och klimat

Nederbörden från de olika regionernas klimatstationer har korrigerats så att de simulerade avrinningarna för läckageregionerna (rotzonsdränering för kväve och rotzonsdränering + ytavrinning för fosfor) har överensstämt (+/- 0,5 mm) med målavrinningen för respektive läckageregion. För beräkningarna har meteorologiska data för perioden 1984 t.o.m. 2014 använts från respektive klimatstation, vilket ansetts vara tillräckligt långt för att representera ett normalklimat.

Målavrinningen (årsmedelavrinning för jordbruksmarken; Figur 12, Figur 13) i varje läckageregion beräknades med hjälp av GIS (Widén-Nilsson m.fl., 2016). Detta genom utnyttjande av de beräknade medelavrinningarna för vattenförekomstområdena i Sverige för perioden 1994-2013 som utförts för belastningsberäkningarna för HELCOM/PLC6 (Tengdelius-Brunell m.fl., 2016a), digital karta över jordbruksmark (blockkartan) och digital karta över de 22 läckageregionerna.



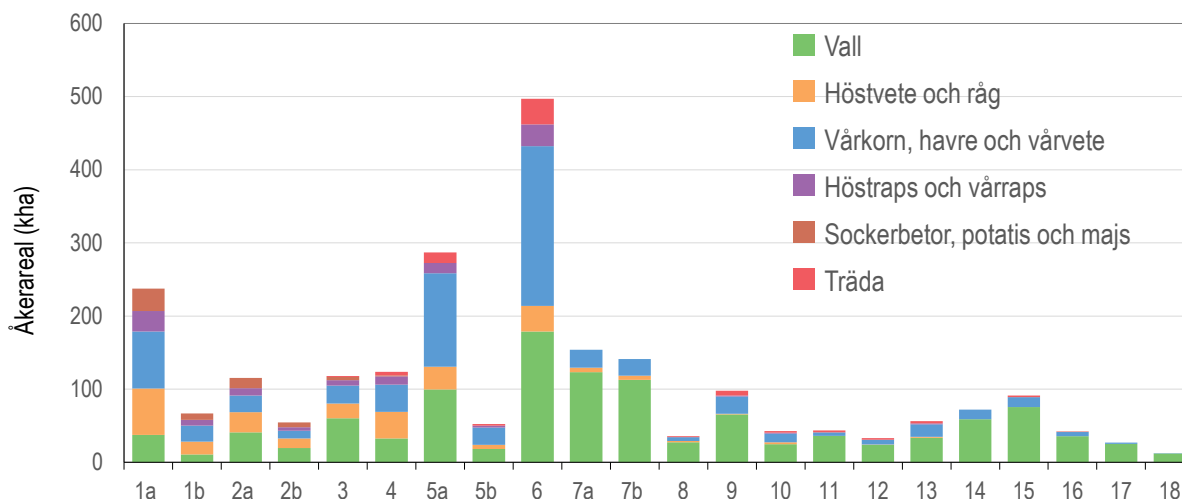
Figur 12. Avrinning (medelvärde för perioden 1994-2013) för åkermark i läckageregionerna samt för Sverige i medeltal (Sv).



Figur 13. Årsmedeltemperatur (°C), Avrinning (mm/år) och utvalda läckageregioners vegetationsperiodslängd i del av år.

Grödarealer

Grödfördelningen för de tolv grödklasserna som ingick i grödsekvensen (Figur 14) beräknades utifrån grödarealer sammanställda av SCB från Lantbruksregistret 2013 (vilken i sin tur är baserad på uppgifter från Jordbruksverkets administrativa register för arealbaserade stöd) och med kompletterande uppgifter om vall och träda från gödselmedelsundersökningen 2013 (SCB, 2014) och undersökningen om odlingsåtgärder 2012 (SCB, 2013a).



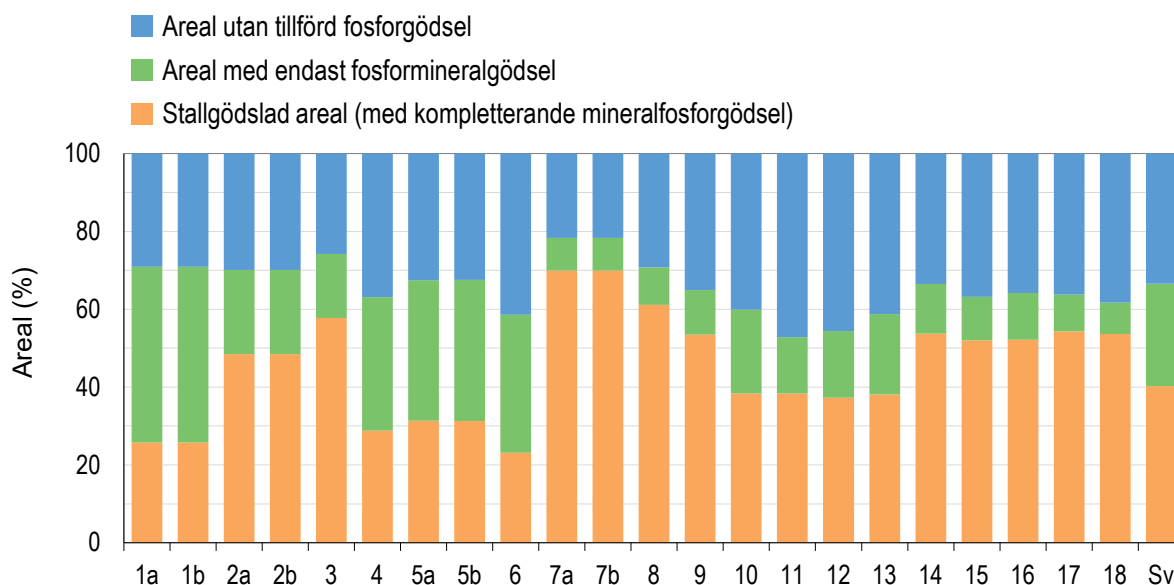
Figur 14. Sammanlagda arealer för de 12 grödklasserna som ingick i grödföljden i beräkningarna av normalläckage, per läckageregion år 2013.

Gödsling, N-fixering och deposition

För gödslingen har vi valt att använda statistik för det aktuella beräkningsårets gödselmedelsanvändning (SCB) med antagandet att gödslingsdosering alltid sker för den förväntade skörden, normskörden (som använts som indata; se nedan avsnittet ”skördar”). Gödslingsstatistik för kväve och fosfor för de olika grödorna (mineral- och stallgödselgiva, andel gödslad areal och spridningstidpunkt för stallgödsel) sammanställdes för läckageberäkningen för år 2013 av SCB för olika regionala nivåer (PO18, PO8, RO, Riket) utifrån uppgifter ifrån Gödselmedelsundersökningen 2013 (SCB, 2014). Gödslingsstatistiken användes med så hög regional upplösning som möjligt, dvs där statistik från PO18 nivån saknades så skedde komplettering från närmaste högre regionala nivå med tillgänglig statistik. Stubb- och grönträda gödslades ej.

SCB redovisar gödslingen i de fyra gödslingsklasserna mineralgödsel, enbart stallgödsel, mineral- och stallgödsel samt ingen gödsling. Klassen enbart mineralgödsling har utgjort grunden för gödslingsregimen *enbart mineralgödsling* i beräkningarna. Klasserna enbart stallgödsling och mineral- och stallgödsel har slagits samman till gödslingsregimen *stallgödsling med kompletterande mineralgödsling* i beräkningarna. Arealen som inte gödslats alls har för kväve fördelats proportionellt mellan de båda gödslingsregimerna för att all areal ska täckas in av de båda gödslingsregimerna. Areal som inte N-gödslats utgjorde dock endast en liten andel av den totala arealen. Klassen ingen gödsling utgjorde för fosfor en egen gödslingsregim. Den ogödslade arealen var för fosfor betydande och utgjorde ca en tredjedel av den totala åkerarealen (Figur 15). För gödslingsregimen med *enbart mineralgödsling* har gödsling skett en gång på våren. För gödslingsregimen *stallgödsling med kompletterande mineralgödsling* har hela givan av stallgödsel spridits antingen på hösten eller på våren/sommaren.

Uppgifter om kvävefixering för slåttervall och grönråda sammanställdes för denna beräkning av SCB för olika PO8 regionerna utifrån beräkningar av växtnäingsbalanser för jordbruksmark 2011 (SCB, 2013c). Depositionen av kväve baserades på medelvärden av grid-nätsbaserade beräkningar för Sverige för åren 2005-2012 (MATCH modellen) utförda av SMHI för denna beräkning. Ingen deposition av fosfor antogs.



Figur 15. Areell fördelning av de olika gödslingsregimerna för fosfor i de olika läckageregionerna och Sverige (Sv), redovisat som medel för alla grödor.

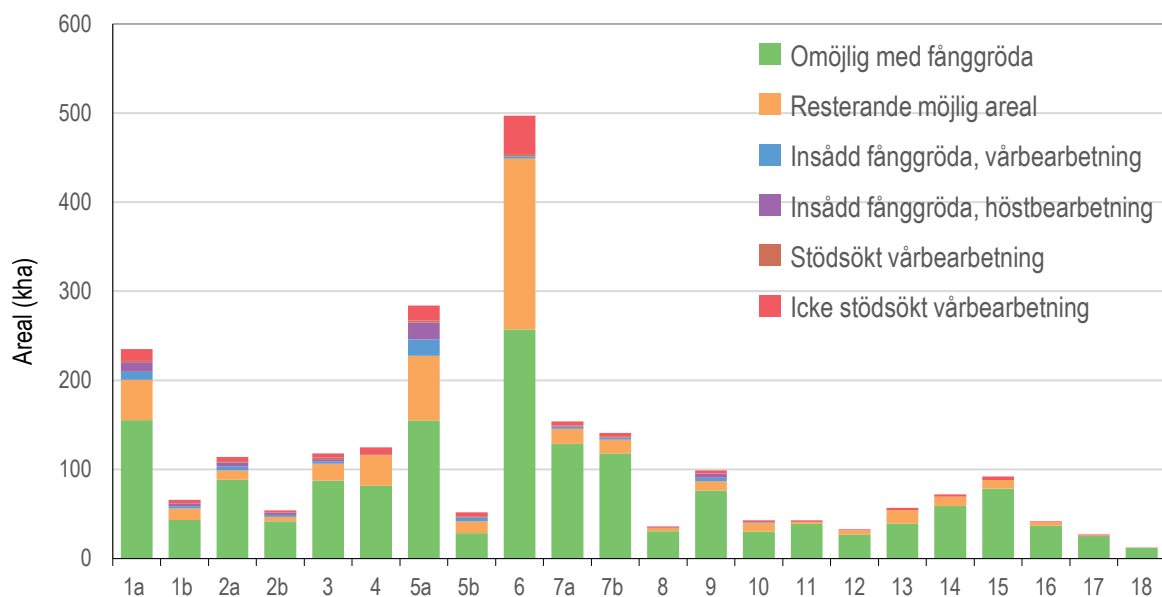
Tidpunkter för jordbearbetning, sådd och skörd

Tidpunkterna för jordbearbetning baserades på statistik från SCB från undersökningen om odlingsåtgärder i lantbruket 2012 (SCB, 2013a). Statistik om såtidpunkter för grödor saknas och dessa har därför anpassats till jordbearbetningstidpunkterna. Skördetidpunkterna har delvis baserats på statistik om tid för gulmognad (spannmål och oljevaxter) och delvis antagits utifrån uppgifter från rådgivning (potatis, majs, vall) eller jordbearbetningstidpunkt (sockerbetor). Vall antogs skördas två gånger per säsong.

Fånggröda och vårbearbetning

Statistik om arealen fånggröda och stödsökt vårbearbetning för 2013 sammanställdes för produktionsområden (PO18) från Jordbruksverkets databas för miljöstödet ”minskat växtnäingsläckage” i Landsbygdsprogrammet. I beräkningarna kunde fånggröda förekomma efter alla spannmålsgrödor, oljevaxter och majs (Tabell 2).

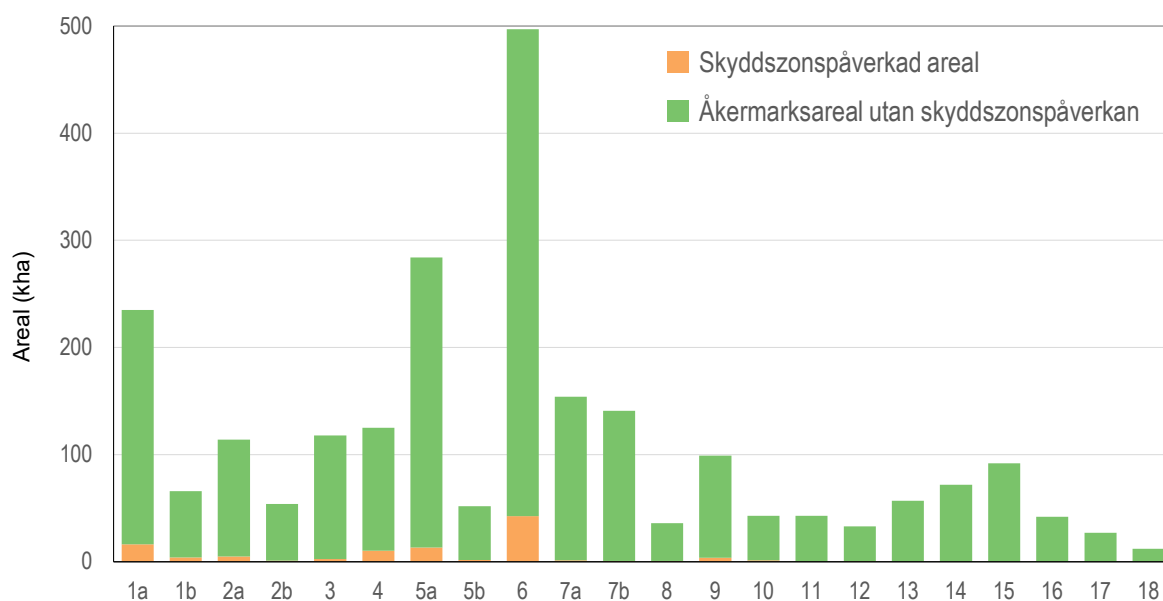
Ungefär 5 % av den beräknade arealen hade stödsökt fånggröda och/eller vårbearbetning år 2013 (Figur 16). Ytterligare ungefär lika stor areal vårbearbetades utan stöd. Brytningstidpunkterna för höstbearbetad fånggröda beräknades utifrån uppgifter från undersökningen om odlingsåtgärder i lantbruket 2012 (SCB, 2013a). I kväveläckageberäkningarna har storleken på upptaget av kväve i fånggröda och ogräs bestämts av hur lång upptagsperioden var, det vill säga tiden mellan skörd av huvudgröda och tillväxtperiodens slut på hösten. Det potentiella kväveupptaget var ca 40-60 kg N/ha om fånggrödan växte ända till växtsäsongens slut. Trots att fånggröda är en åtgärd som framförallt riktas mot kväveutlakning, så har den även ingått i grödsekvenserna för fosforberäkningarna då den även antas ha effekt på fosforläckaget.



Figur 16. Insådd fånggröda och/eller vårbearbetad areal samt areal som antas vara omöjlig alternativt möjlig att ha fånggröda på år 2013. All möjlig areal är inte möjlig för vårbearbetning. Fånggröda kan inte följas av vall, höstsådd gröda eller komma efter träda, sockerbeter eller potatis. Region 12-18 omfattades inte av stöd för fånggröda och/eller vårbearbetning.

Skyddszon

Statistik om arealen stödsökt skyddszon kommer från Jordbruksverkets databas för miljöstödet ”minskat växtnäringsläckage” i Landsbygdsprogrammet. Skyddszoneffekten inkluderades i läckageekvationerna för fosforläckage på följande sätt: Två beräkningar genomfördes med NLeCCS där den ena beräkningen saknade skyddszon på åkermarken och där den andra beräkningen hade skyddszon på åkermarken. Därefter viktades resultatet av de båda simuleringarna ihop i förhållande till deras relativa areella täckning år 2013 (Figur 17). År 2013 var den totala skyddszonarealen i Sverige 11 198 ha. Bredden för skyddszonen sattes till medianvärdet för hela Sverige (14m) beräknat utifrån data från Jordbruksverkets stöddatabas över skyddszonens areal samt korresponderade areal för hela fältet.



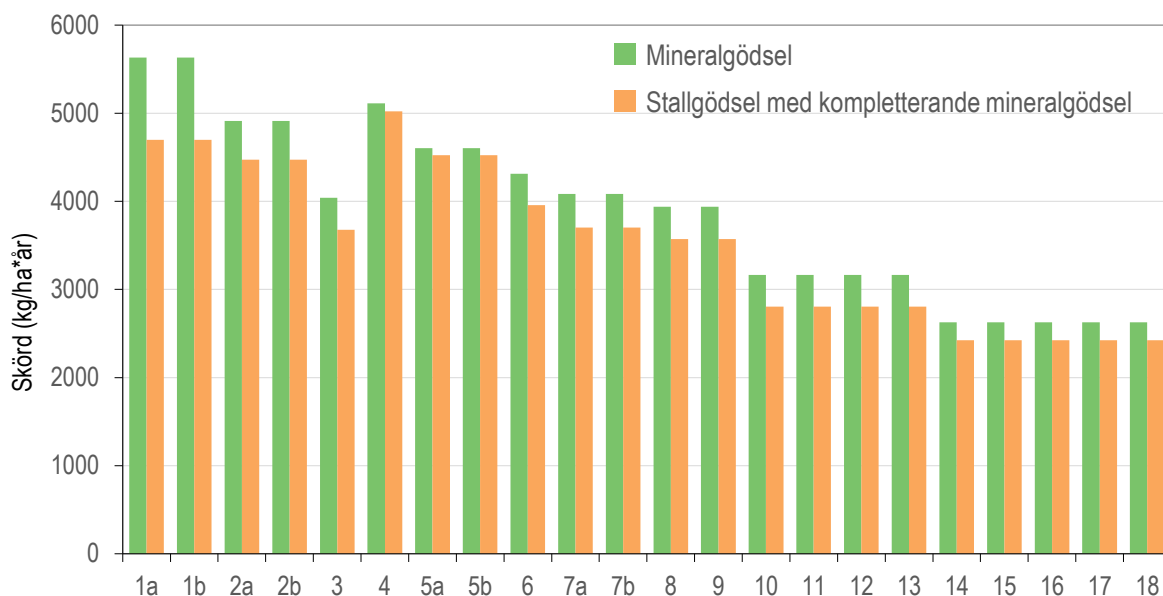
Figur 17. Åkermarksareal med respektive utan skyddszonspåverkan redovisat för läckageregioner (läckageregionerna 13 - 18 omfattades inte av stöd för skyddszon).

Påverkansarealen är den åkermarksareal som är påverkad av en skyddszon. I beräkningarna har det antagits att om ett fält har skyddszon på någon del av fältet så påverkas hela det fältet. Beräkningen av påverkansarealen gjordes genom att räkna fram vattendragssträckan för dels all åkermark och dels för den del av åkermarken som hade skyddszon för att sedan räkna ut den procentuella andelen av åkermark med skyddszon. I detta ligger ett antagande om att all den åkermark vi beräknar ligger i anslutning till en ytvattenförekomst eller dike som ansluter till en ytvattenförekomst. Skyddszon var inte inkluderad i beräkningen av normalläckaget av kväve (skyddszon påverkar dock arealanvändning/grödfördelning och ger därför en effekt på kväveläckaget i samband med belastningsberäkningar då kväveläckaget från areal med skyddszon antagits lika stort som läckaget från extensiv vall).

Skördar

Skördarna varierar mycket mellan enskilda år beroende på årsmån. Vid beräkningar av normalläckaget med NLeCCS har vi därför valt att använda normaliserade värden för skördenivåer, s.k. normskördar (Jordbruksverket och SCB) som indata. Dessa normvärden ändras något från år till år beroende på långsiktiga förändringar i odlingen (t ex förändrade brukningsmetoder, nya grödsorter, nya gödslingsstrategier). I SOILNDB och ICECREAMDB simuleras växtens aktuella skörd utifrån en potentiell skörd angiven som indata till modellen. Som grund för att sätta denna potentiella skörd har normskörden för varje gröda och region använts som ”målskörd” för den simulerade skörden. För beräkningarna av normalläckaget år 2013 användes statistik från SCB över normskördar år 2013 (Jordbruksverket och SCB, 2013) för att skatta målskördarna för samtliga grödor utom vall och majs (för vall och majs användes flerårsmedelvärden).

I kväveberäkningen användes uppjusterade målskördar (10-25% beroende på gröda) som värden för de potentiella skördarna i simuleringarna. De simulerade kväveskördarna för grödorna tilläts variera så att de för enskilda år i grödsekvenserna översteg kvävemålskörden (målskörden multiplicerad med skördeproduktens kvävehalt) och andra år underskred den med målsättningen att de simulerade skördarna i medeltal för grödsekvenserna skulle överensstämma med målskördarna. Uppgifter om skördar och gödslingar hämtades från samma regionala nivå. Statistik över normskördarna avser all areal av en viss gröda oberoende av typ och nivå av gödsling. Genom att utnyttja SCB:s sambearbetningar av skörde- och gödselmedelsunderökningarna (Bergström m.fl., 2009 och SCB, 2013b) kunde representativa målskördar för de två olika gödslingsregimerna för spannmålsgrödor (förutom majs) och oljevaxter beräknas (Figur 18). Kriteriet för beräkningarna har varit att kvoten mellan den simulerade kväveskörden och kvävemålskörden skulle vara 1,00 i medeltal för alla grödor exklusive vall och träda, i de olika läckageregionerna. För att uppfylla kvotkriterierna har kvävehalten i skördeprodukterna justerats. Kväveupptaget för stubb- och gröntträda har beräknats ifrån ett antaget potentiellt dygnsupptag under växtperioden.



Figur 18. Målskördar använda i kväveberäkningen för **vårkorn** för gödslingsregimerna *endast mineralgödsling* respektive *stallgödsling med kompletterande mineralgödsling* år 2013.

I fosforberäkningen kalibrerades simulerad skörd av såväl biomassa som fosfor för att överensstämja med målskörderna för respektive gröda och läckageregion. För fosfor är det inte en lika stark koppling mellan fosforgödsling och skördenivåer som det är i fallet med kväve. I och med den svagare kopplingen har målskördarna för fosforberäkningen valts efter bästa möjliga upplösning på statistisk data, det vill säga ingen synkronisering har gjorts mot vilken nivå gödslingsuppgifterna kom ifrån. Om det funnits data för normskördar för PO18 har dessa använts i första hand (sedan i fallande ordning PO8, RO och slutligen riket).

Extensiv vall/Bakgrund

Som bakgrundsläckage i belastningsberäkningarna för PLC6 användes läckage från extensiv vall, definierad som en permanent gräsvegetation som inte gödulas eller skördas. Extensiv vall har inte ingått i grödsekvanserna enligt ovan utan har för alla kombinationer av jordart och läckageregion beräknats separat som monokultur för en 30-årsperiod för vilken årsmedelvärden beräknats.

För kväveberäkningen antogs det dagliga potentialupptaget av kväve till växten överstiga tillgängligt mineralkväve i marken det faktiskt simulerade kväveupptaget under större delen av växtsäsongen, det vill säga vegetationen har antagits ta upp det kväve som finns tillgängligt via mineralisering och deposition, etc. Under början och framförallt slutet av växtsäsongen antogs dock potentialupptaget vara lägre än tillgängligt kväve. I likhet med beräkningen av normalläckaget för åkermarken 2013 har markens organiska pool antagits vara i balans i samtliga läckageregioner vid beräkningen av kväveläckage för extensiv vall. För att erhålla balans i markens organiska N-pool i simuleringarna har mineraliseringen av organiskt kväve (humus-N) i åkermarken därför anpassats för de olika läckageregionerna.

För fosforberäkningen har den extensiva vallens upptag av fosfor antagits motsvara ungefär 2/3 av en normal slåttervall. Vidare antogs att all ovanjordisk biomassa dog under vintrarna och inkorporerades i markens organiska pool. Uppmätta värden på fosforinnehållet från alven (Djordjic & Orback, 2013) har använts för matjordens fosforinnehåll i beräkningen av extensiv vall för bakgrundsläckage för att bortse från den uppgödsling av fosfor som har skett i matjorden (Andersson m.fl., 2000).

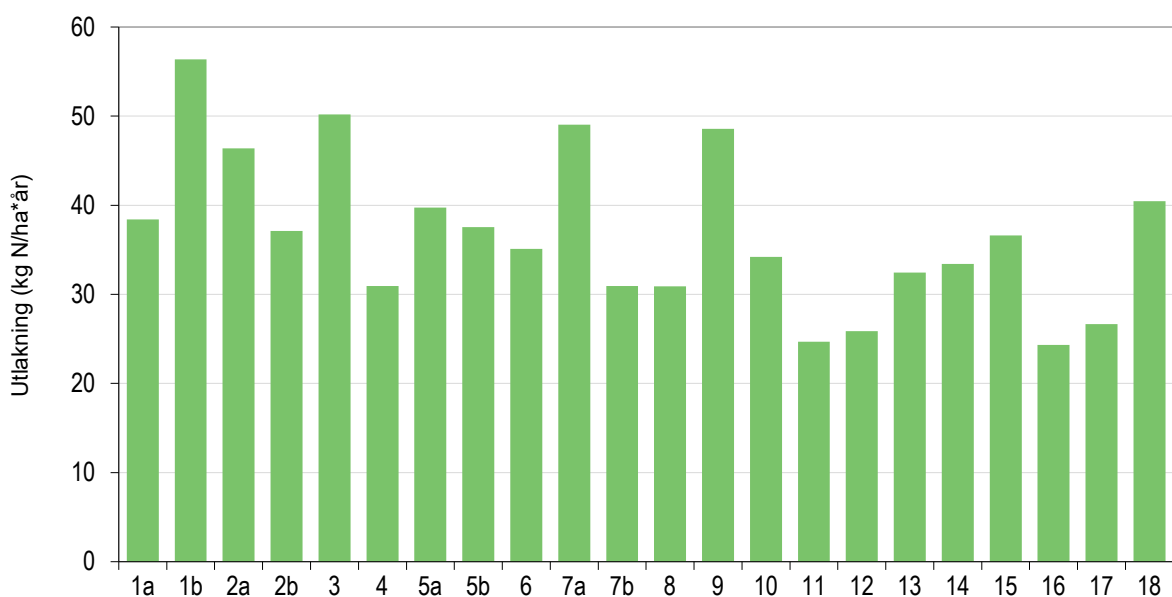
Exempel på beräknat normalläckage

Nedan beskrivs översiktligt några exempel på beräknade normalläckage för år 2013 och vad som påverkar deras storlek. För en mer fullständig beskrivning av resultaten se Johnsson et al (2016).

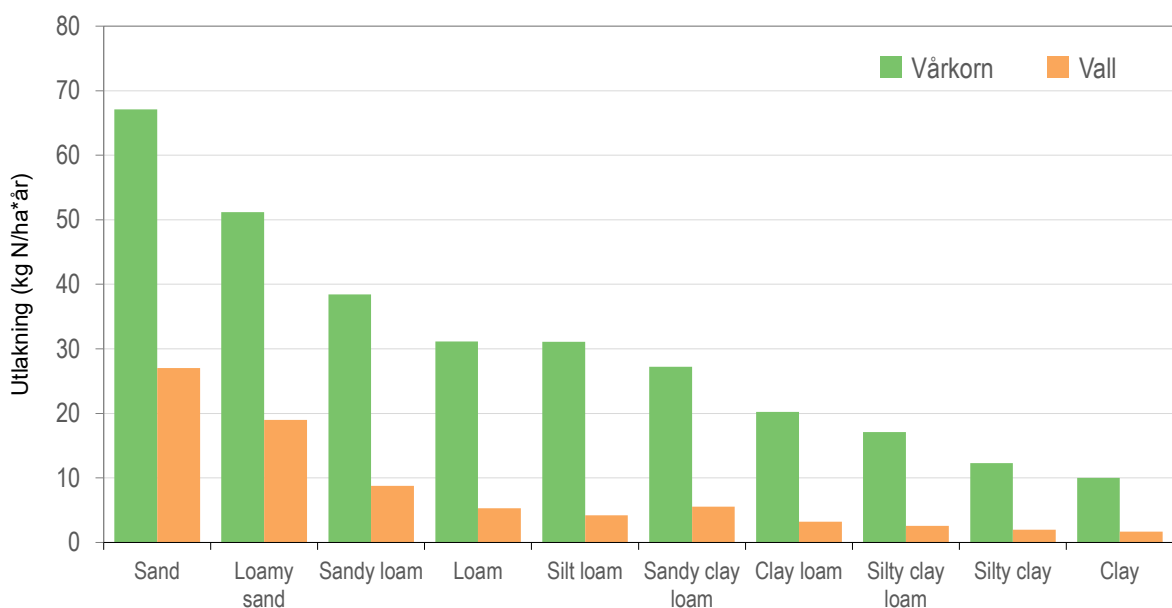
Kväveläckage

Påverkan av region, gröda och jordart

Skillnader i storleken av det beräknade normalläckaget av kväve mellan de olika läckageregionerna beror av flera faktorer; odlingspraxis är olika för de olika läckageregionerna, klimatet är olika (nederbörd, temperatur och växtsäsongens längd, mm) och dessutom varierar kvävedepositionen mellan läckageregionerna (Figur 19). Jordartens påverkan på kväveläckaget är betydande. I beräkningarna för år 2013 syns ett tydligt samband mellan ökat kväveläckage och minskande lerhalt i marken (Figur 20).

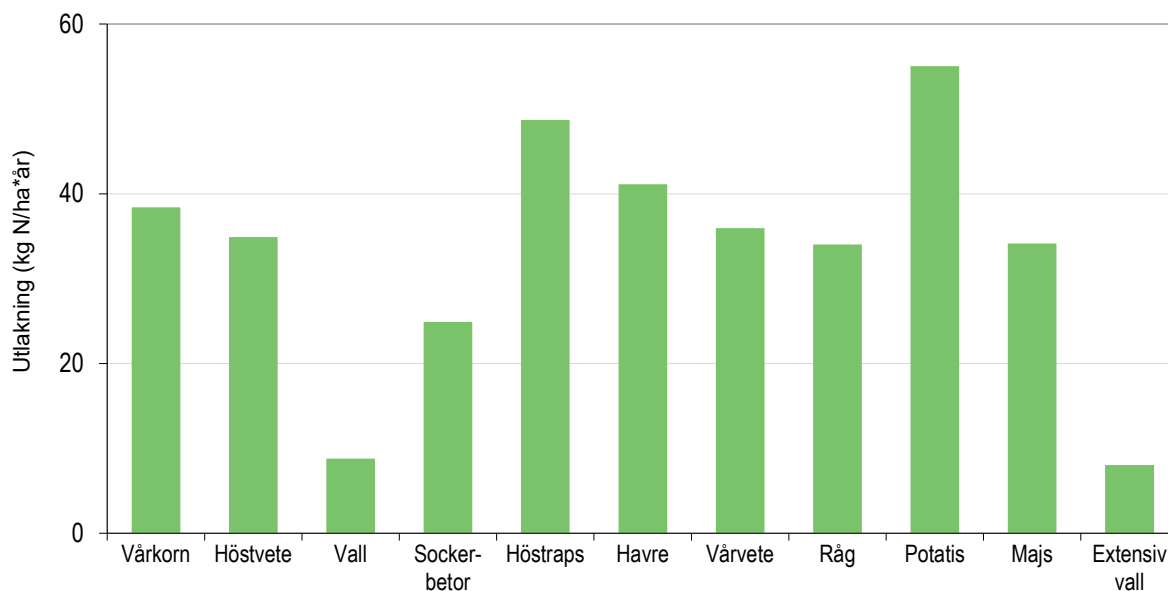


Figur 19. Exempel på effekt av region: Normalläckage av kväve år 2013 för **vårkorn** på **sandy loam** i samtliga läckageregioner.



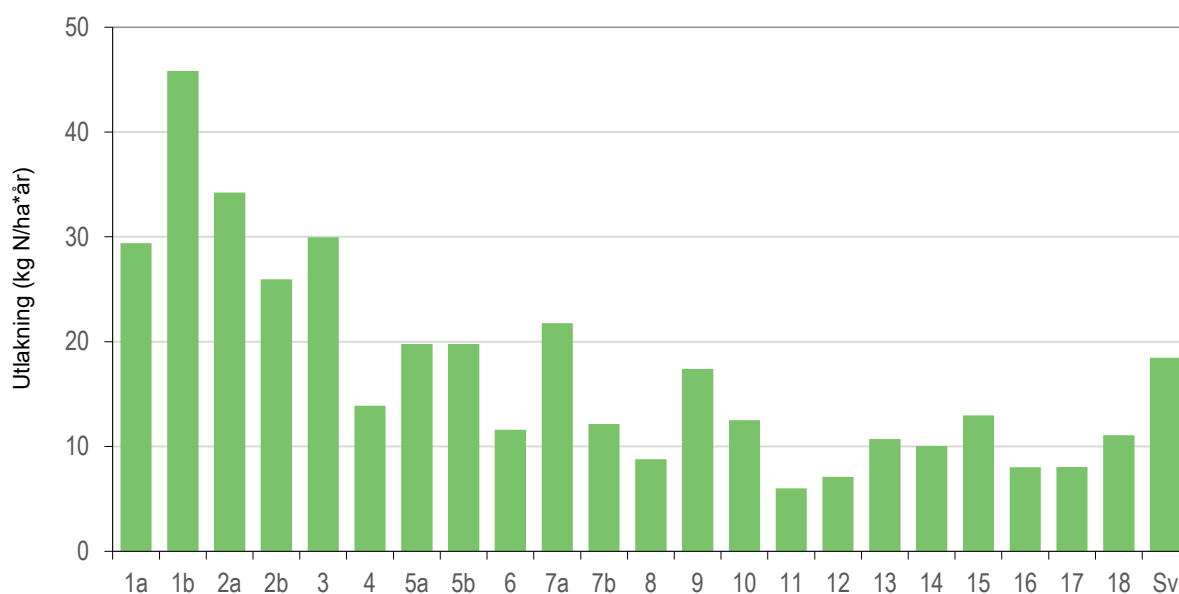
Figur 20. Exempel på effekt av jordart: Normalläckage av kväve år 2013 för grödorna **vårkorn** och **vall** i läckageregion **1a** för samtliga jordarter.

Vid jämförelsen av normalläckaget av kväve mellan olika grödor är växtsäsongens längd av stor betydelse. De största grödskillnaderna uppstod mellan flerårig vall och annuella grödor som har kortare växtsäsong än vall (Figur 21). Högt läckage från potatis berodde på kort växtsäsong och stora mängder lätt nedbrytbart kväve som plöjdes ned. Kväveläckaget för en viss gröda beror även till stor del på vilken gröda som följer i växtsekvensen och hur stor den grödans kväveupptag är (se nedan under ”påverkan av grödkombinationer”).



Figur 21. Exempel på effekt av gröda: Normalläckage av kväve år 2013 för samtliga grödor i läckageregion 1a, för jordarten *sandy loam*.

När man tar hänsyn till den jordartsammansättning och grödfördelning som fanns i de olika regionerna kunde man i beräkningarna för år 2013 konstatera att normalläckaget var störst i den sydvästra delen av landet och lägre i de östra och norra delarna av landet (Figur 22). Det höga läckaget i Västsverige berodde främst på hög avrinning och hög andel lätta jordar, d.v.s. jordar med låg lerhalt. Lågt läckage i norra Sverige berodde till stor del på hög andel vallodling.

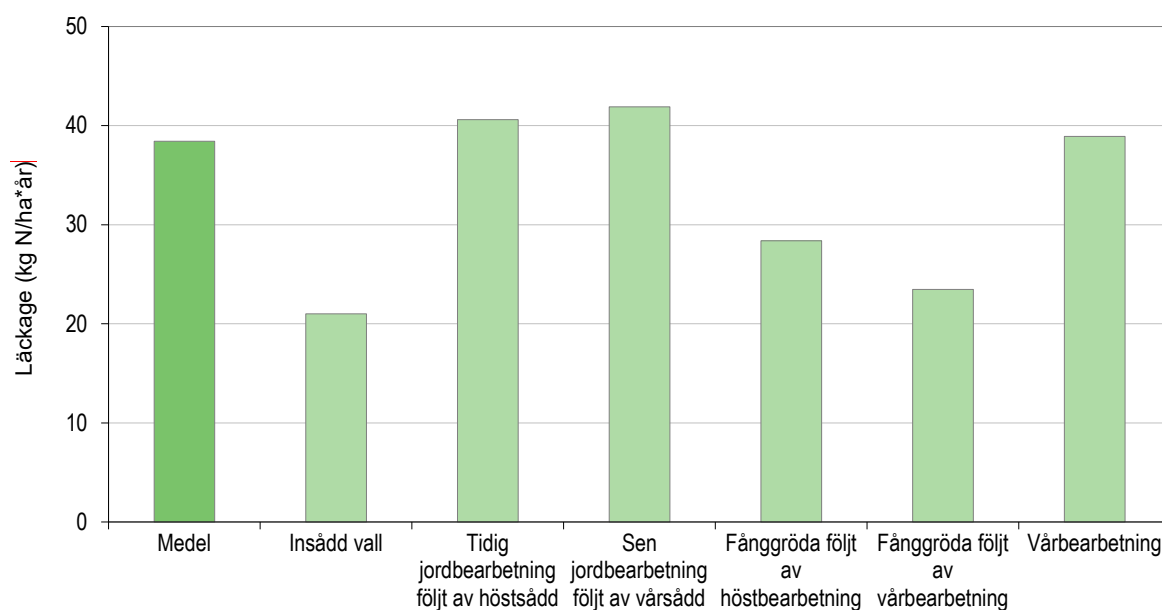


Figur 22. Arealviktade medelvärden med avseende på jordarts- och grödfördelning för normalläckage av kväve år 2013, för beräknad areal i alla läckageregioner samt för hela Sverige (Sv).

Påverkan av Grödkombinationer och odlingsåtgärder

Växtföljdseffekt, fånggröda och jordbearbetningstidpunkt

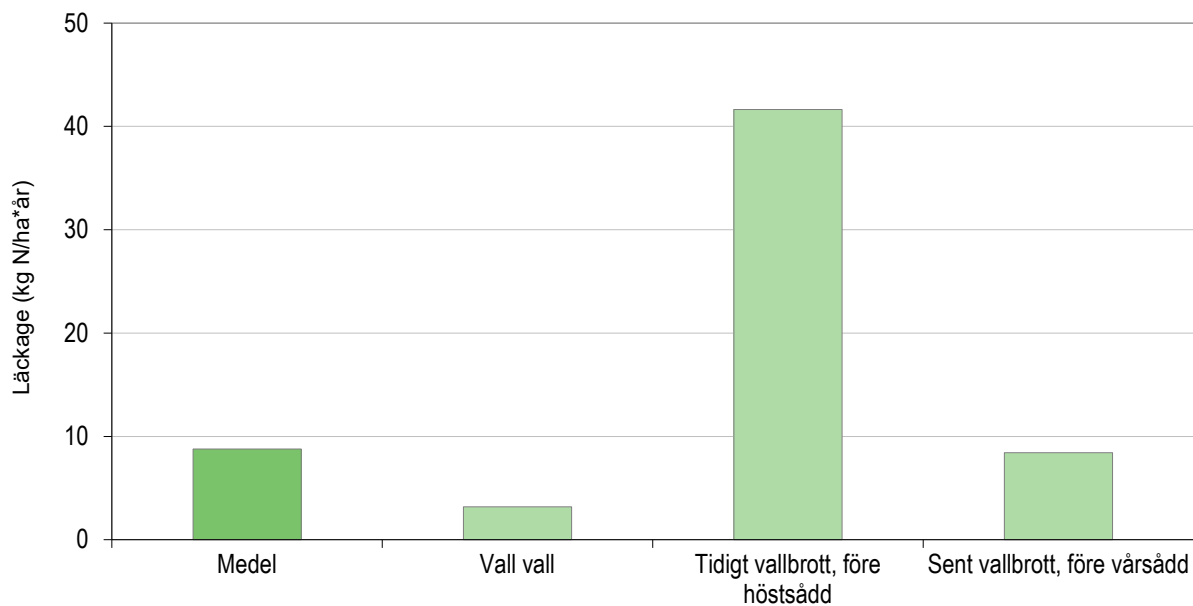
Grödsammansättningen i en läckageregion avgör vilka växtföljder som förekommer och i vilken omfattning. Olika efterföljande grödor ger olika påverkan eftersom den efterföljande grödan bestämmer t.ex. jordbearbetningstid, nästa upptagsperiods start och upptagets storlek. Följs exempelvis vårkorn av vårkorn startar ett ogräsupptag efter skörden som pågår fram till en relativt sen jordbearbetning. Följs vårkorn istället av en höstsådd gröda, t.ex. höstvetete, blir ogräsupptaget inte lika långvarigt eftersom jordbearbetning och sådd av höstsådd gröda sker relativt snart efter vårkornskörden. Den höstsådda grödan har då istället ett höstupptag som pågår fram t.o.m. växtperiodens slut. Alla dessa skillnader i grödföljder påverkar kväveläckagets storlek och i vissa fall mycket som beräkningarna för 2013 visar: Exempelvis medförde både vallinsådd och insådd fånggröda i vårkorn ett större kväveupptag efter skörd än vad ogrästtillväxten efter vårkornskörden medförde och därmed ett betydligt mindre läckage (Figur 23).



Figur 23. Exempel på effekt av växtföljd, jordbearbetning och fånggröda: Normalläckage av kväve år 2013 för vårkorn följt av olika grödkombinationer, jordbearbetningstidpunkter och fånggrödor på sandy loam i läckageregion 1a.

Vall och vallbrott

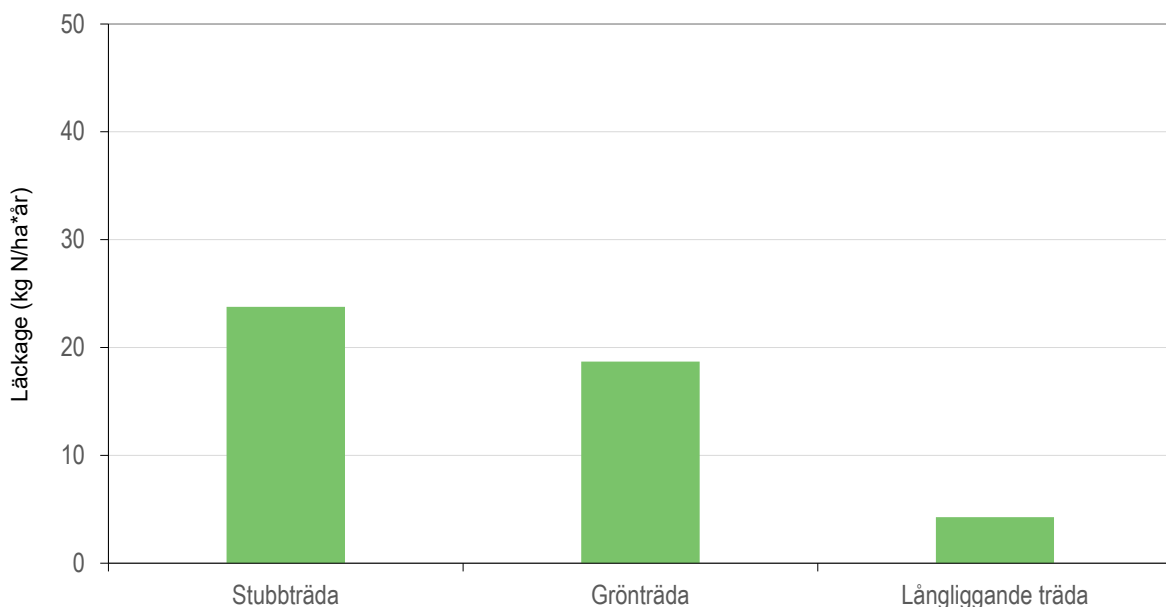
I grödsekvensen för beräkningen av normalläckaget av kväve år 2013 förekom vallar i sekvenser om upp till fem eller sex år, varav bara det sista året jordbearbetades vilket påverkade kväveläckagets storlek: För åren där vall följdes av vall var läckaget mycket lågt medan de sista året med vall (som avslutas med ett vallbrott) hade ett betydligt högre läckage (Figur 24). Vid tidig jordbearbetning, det vill säga när vall följs av höstsådd, förmådde höstgrödan bara ta upp en liten del av det kväve som blev tillgängligt efter vallbrottet och utlakningen kunde bli mycket hög.



Figur 24. Exempel på effekt av vall och vallbrott: Normalläckage av kväve år 2013 för vall (medel) och vall följt av olika grödkombinationer; vall följt av vall (Vall vall) samt vallbrott med olika jordbearbetningstidpunkter på **sandy loam** i läckageregion **1a**.

Stubb- och grönträda

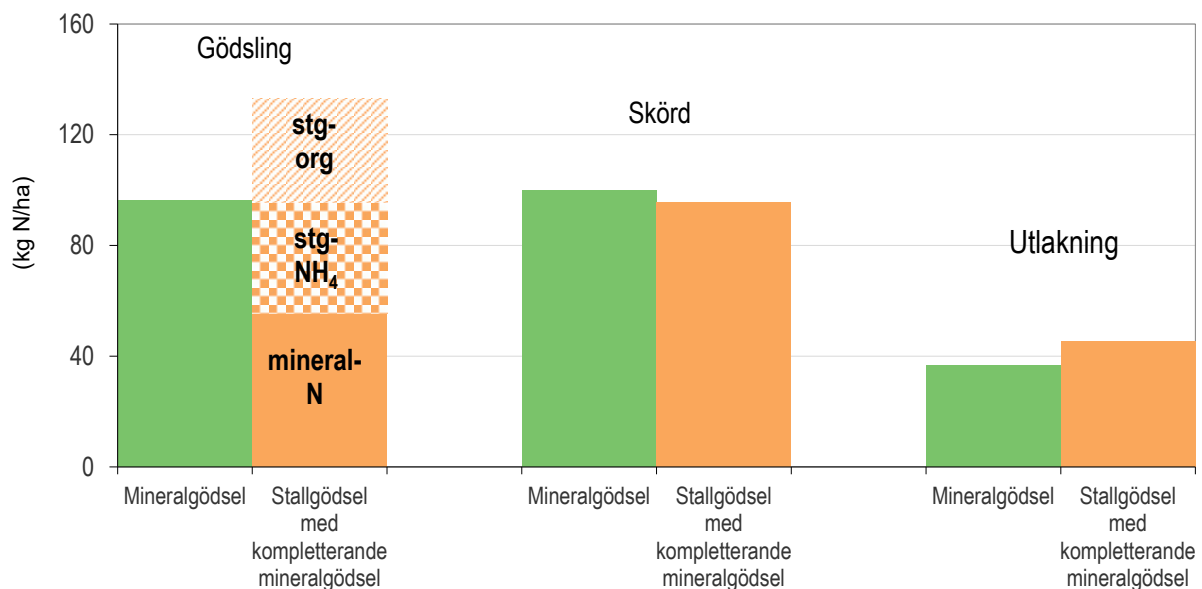
Trädan bestod i beräkningarna för år 2013 av stubb- och grönträda, som ingick i växtföljden, och långliggande träda. Grönträda hade lägre läckage än stubbträdan på grund av ett högre växtupptag av mineralkväve från marken (Figur 25). Långliggande träda ingick inte i grödsekvensen utan har antagits ha ett permanent växttäckte med ett läckage som vall följt av vall som har ett betydligt lägre läckage (se ovan avsnitt ”vall och vallbrott”).



Figur 25. Exempel på effekt av olika trädor: Normalläckage av kväve år 2013 för stubb-, grön- och långliggande träda på **sandy loam** i läckageregion **6**.

Gödslingsformer

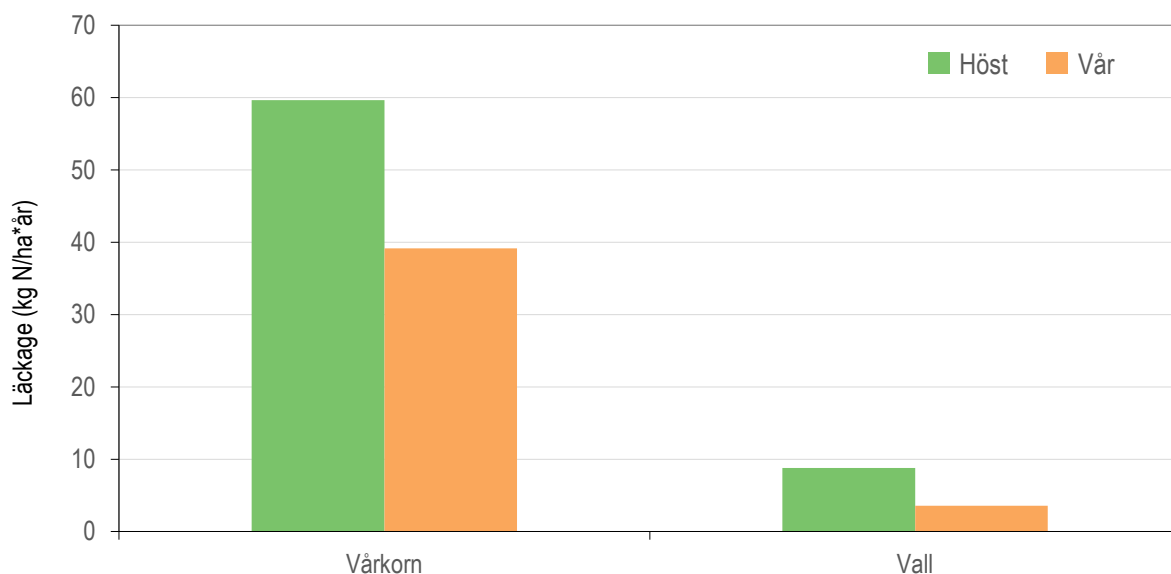
Den huvudsakliga skillnaden mellan gödslingsregimen *stallgödsling kompletterad med mineralgödsling* och gödslingsregimen *enbart mineralgödsling* består i tillförseln av organiskt bundet kväve i den förstnämnda. I stort sett tillförs lika mycket mineralkväve (nitrat och ammonium) i båda gödslingsregimerna (Figur 26). Det tillförda organiska kvävet kan bidra till en ökad mineralisering av kväve även under perioder då det inte finns någon gröda som kan tillgodogöra sig mineralkvävet med ökad utlakningsrisk som följd. Dessutom sker en del av stallgödslingen på hösten vilket också kan bidra till en högre utlakning (se nedan avsnitt ”stallgödslingstidpunkt”). I beräkningen för år 2013 var normalläckaget av kväve från gödslingsregimen *stallgödsling med kompletterande mineralgödsling* något högre jämfört med läckaget från regimen *enbart mineralgödsling* (Figur 26). Det tillfördes en större mängd kväve i gödslingsregimen *stallgödsling med kompletterande mineralgödsling* jämfört med gödslingsregimen *enbart mineralgödsling* utan att motsvarande skördar var större.



Figur 26. Exempel på effekt av gödslingsformer: Kvävegödsling, kväveskörd och Normalläckage av kväve år 2013 för **vårkorn** redovisat för de två gödslingsregimerna *endast mineralgödsling* och *stallgödsling med kompletterande mineralgödsling* på **sandy loam** i läckageregion **1a**. Stg-org avser den organiska delen av kväveinnehållet i stallgödseln, stg-NH₄ avser den direkt växttillgängliga delen av kväveinnehållet i stallgödseln och mineral-N den kompletterande mineralkvävegödseln.

Stallgödslingstidpunkt

Kväveläckagets storlek påverkas av huruvida stallgödseln sprids på hösten eller våren. Vid höstspridning av stallgödsel riskerar mineralkvävet som finns i stallgödseln att utlakas under vintern om inget växtupptag sker. I normalläckageberäkningen för 2013 var utlakningen av kväve i exempelvis läckageregion 5a högre vid höstspridning av stallgödsel jämfört med vårspridning för vårkorn och vall (Figur 27).

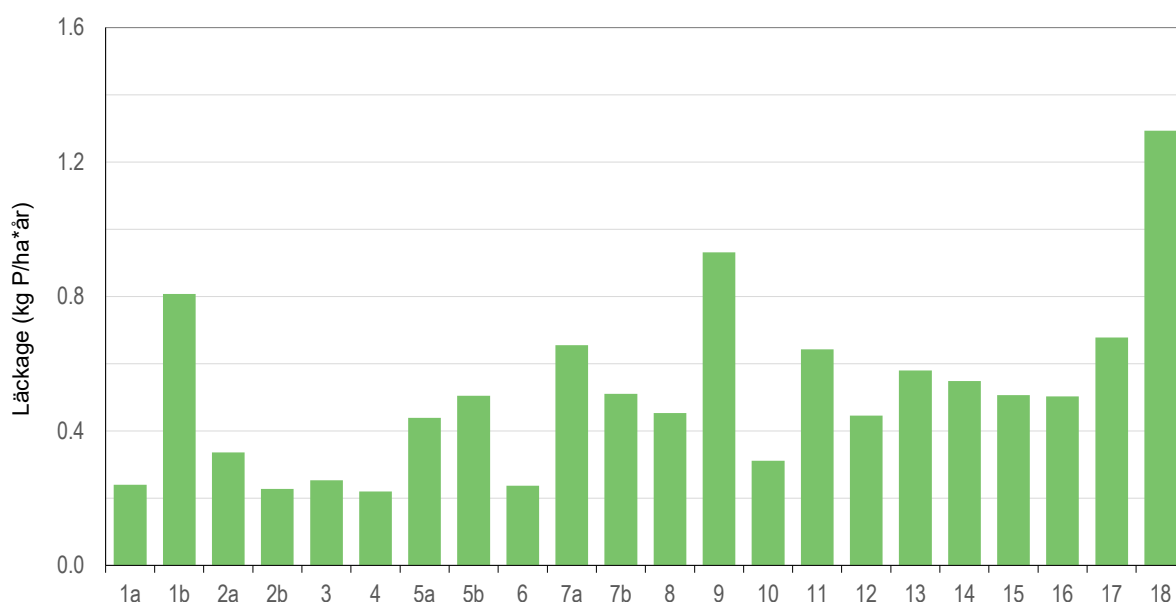


Figur 27. Exempel på effekt av stallgödsetidpunkt: Normalläckage av kväve år 2013 för vårkorn och vall för gödningssystemet *stallgödning med kompletterande mineralgödning* fördelat på spridningstidpunkt för stallgödsel på **sandy loam** i läckaregion **5a**. Utlakningen som redovisas i figuren är utlakningen från det agrohydrologiska året då stallgödseln spreds, dvs året före det år som vanligtvis redovisas.

Fosforläckage

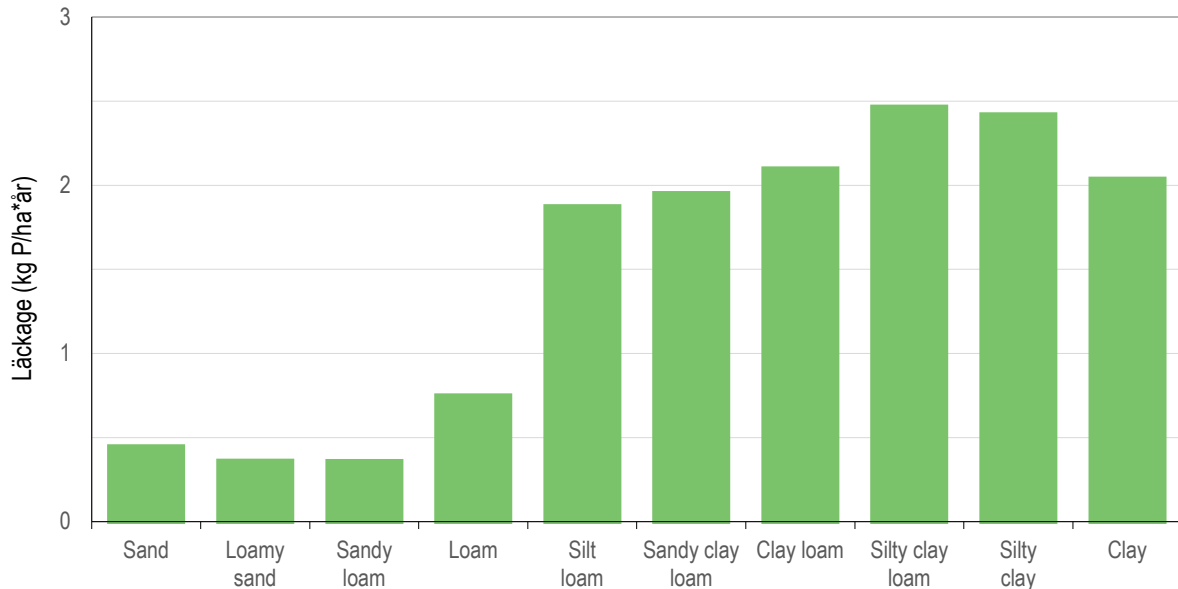
Påverkan av region, jordart, lutning och markfosforhalt

Precis som för kväve är det många faktorer som påverkar hur stort normalläcketaget av fosfor blir från en region. Men för fosfor har särskilt nederbörds- och avrinningsförhållandena stor betydelse. Det var tydligt i läckageberäkningen för år 2013 där regioner med hög nederbörd och avrinning, så som region 1b, 7a, 11 och 18 hade höga fosforförluster (Figur 28). I nordliga regioner med mycket snöbildning kan kraftiga flöden vid snösmältningen också ge höga förluster.



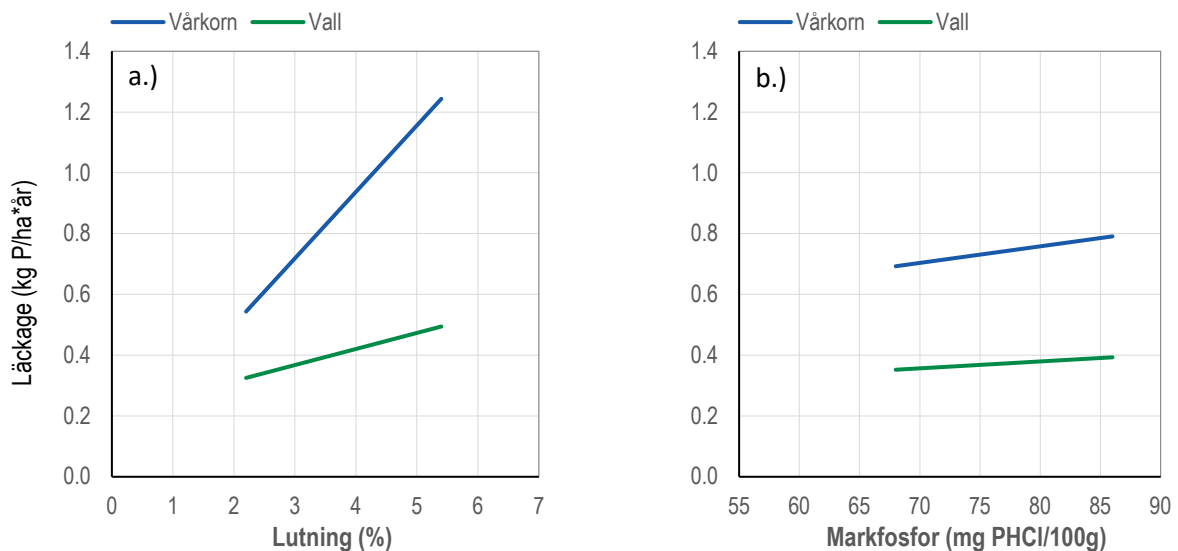
Figur 28. Exempel på effekt av läckaregion: Normalläckage av fosfor år 2013 för grödan **vårkorn** för jordarten **loam** i samtliga läckaregioner. För alla regioner i denna figur har både lutning och markfosfornivå satts till Sverigemedlet (3,7% respektive 71 mg P/100g), detta för att här endast redovisa skillnader som beror på klimat och odlingsåtgärder.

Även jordarten har stor betydelse för det beräknade fosforläckaget (Figur 29). De mest betydande egenskaperna hos jordarna är hur lätt de släpper ifrån sig sediment och därmed partikulärt P, om det finns makroporer och om det ofta bildas ytvatten. I siltiga och leriga jordar både frigörs och transporteras sediment och partikulärt P i större utsträckning än i de mer grovkorniga jordarna.



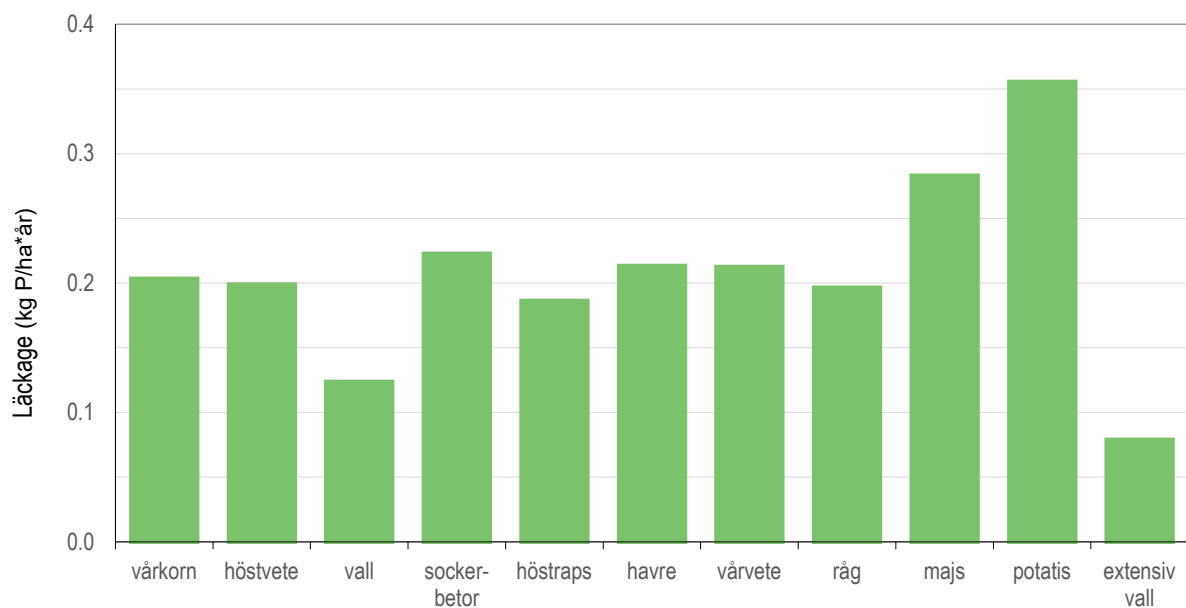
Figur 29. Exempel på effekt av jordart: Normalläckage av fosfor år 2013 för **vårkorn** i läckaregion **1b** för samtliga jordarter.

Andra avgörande faktorer för fosforläckagets storlek är fältets lutning och markfosforhalt. Ökad lutning ökar i första hand risken för erosionsförluster och därmed förluster av partikulärt P vid ytvavrinning (Figur 30a). Högre markfosforhalt ger högre P-koncentration hos sedimenten som förloras från fälten liksom mer löst P i avrinnande vatten (Figur 30b).



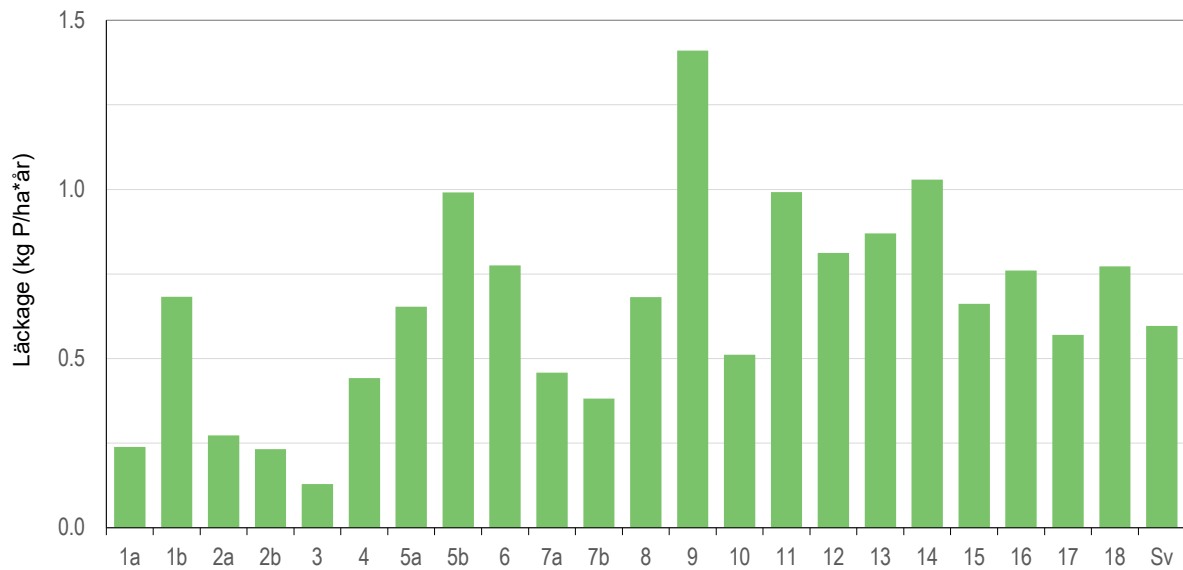
Figur 30. Exempel på effekt av lutning och markfosforhalt: Normalläckage av fosfor år 2013 (löst + partikulärt) beroende av markens lutning (a) och markfosforhalt (b) redovisat för grödorna **vårkorn** och **vall** i läckaregion **1b** för jordarten **Loam**. Linjernas ändpunkter utgörs av 10:e respektive 90:e percentilerna av lutningsvärdena/markfosfor i regionen.

De olika grödornas inverkan på de beräknade fosforförlusterna bestäms till största delen av hur de påverkar avrinningen och hur de skyddar markytan vid häftiga regn (Figur 31). För vårsådda grödor kan marken lämnas obevuxen under en stor del av året och markytan blir därmed exponerad för regn och kraftiga avrinningstillfällen. Höstsådda grödor täcker marken under en större del av året jämför med vårsådda grödor, men är fortfarande gles under vinter och vår. Bäst skyddande effekt har vall som med sitt fleråriga växttäckte har hög transpiration som torkar ut jorden liksom ger ett gott skydd för markytan vid regn och ytavrinning. För vallen har vi dock inte tagit hänsyn till att utfrysning av fosfor kan ske från växande gröda under vintern, vilket kan innebära att förlusten från t ex vall kan vara delvis underskattade. Beräknade fosforförluster från extensiv vall, det vill säga fält med ett permanent ogrödslat gräs, används som mått på bakgrundsförluster från jordbruksmark. Den låga förlusten från extensiv vall beror dels på att det är ett flerårigt växttäckte precis som för ordinarie vall, men också på att markfosforhalten är lägre eftersom det inte sker någon gödsling. Majs och potatis sticker ut som högläckande grödor i beräkningarna, framför allt vad gäller förlusten av partikulärt P.



Figur 31. Exempel på effekt av gröda: Normalläckage av fosfor år 2013 från läckageregion 1a för alla beräknade grödor på **loam**, redovisat för medellutning och medelmarkfosforhalt för respektive läckageregion.

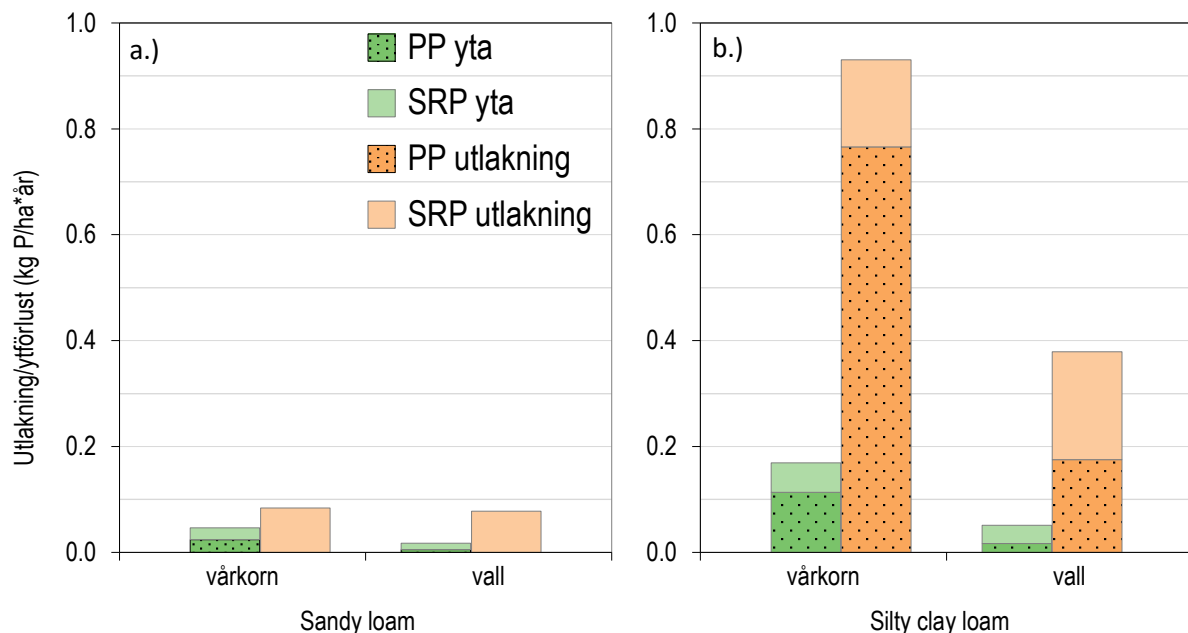
Den sammanväktade effekten av olika jordar och grödor och deras påverkan på avrinningen, flödesvägar (ytavrinning, makropor- och mikroporflöde) och fosforformer (löst respektive partikulärt) är mycket komplex (Figur 32). Till skillnad från kväve har de nordligaste läckageregionerna med kraftigt vårflood relativt höga förluster, trots ett mindre intensivt jordbruk.



Figur 32. Arealviktade medelvärden med avseende på jordarts- och grödfördelning för normalläckaget av fosfor år 2013, för beräknad areal i alla läckageregioner samt i hela Sverige (Sv).

Förlustvägar

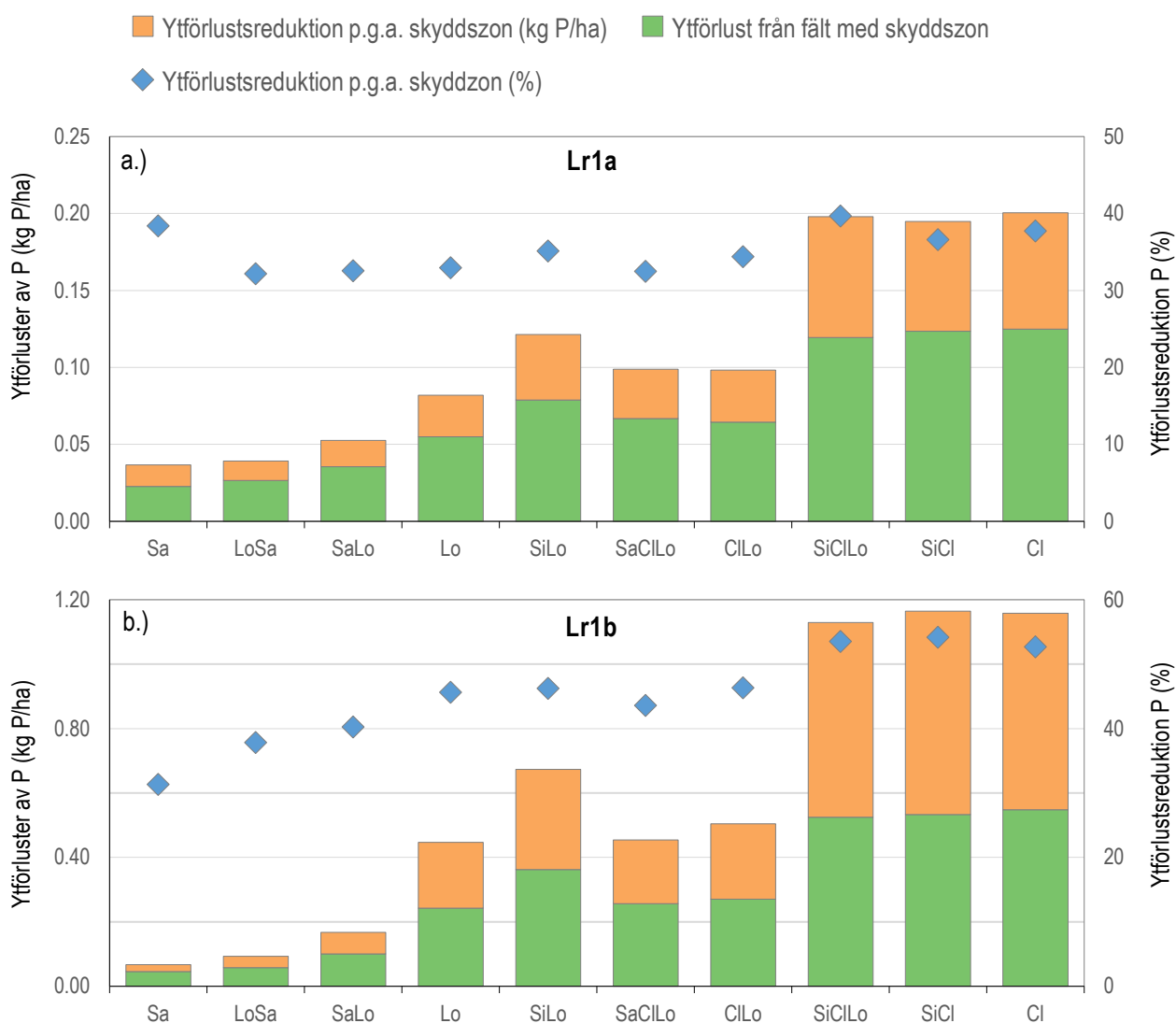
Jordart, grödor såväl som nederbörds- och avrinningsdynamik är alltså avgörande för via vilka transportvägar fosfor kommer att förloras i beräkningarna såväl som för vilka former av fosfor det är (Figur 33). Både transport via ytavrinning och genom makroporer är episodiska och sker bara när nederbörden överstiger markens infiltrationsförmåga, jämfört med transport via markens finare porsystem som sker mer kontinuerligt med perkolerade markvatten. Då förlusterna sker via makroporflöde är halterna mer beroende av markens innehåll av fosfor i matjorden, dels på grund av att ingen fastläggning av löst P sker i djupare jordlager dels eftersom det blir en transport av partikulärt P.



Figur 33. Exempel på effekt av förlustvägar (yta/infiltration) /fraktioner (SRP/PP): Normalläckage av fosfor år 2013 uppdelat mellan förluster via ytavrinning (yta) samt förluster genom marken via utlakning (SRP = löst fosfor, PP = partikulärt fosfor) för vårkorn och vall representerat för läckageregion 6 för jordarna sandy loam (a) och silty clay loam (b). Redovisat för medellutning och medelmarkfosforhalt för respektive läckageregion.

Skyddszone

Skyddszone har en betydande effekt på det beräknade läckaget av fosfor. Skyddszoneeffekten är beroende av i första hand jordart, fältets lutning och vilken gröda som odlas på fältet tillsammans med nederbördsmonstret. På lättare jordar (sand, loamy sand och sandy loam) med hög hydraulisk konduktivitet sker sällan ytavrinning och ytförlusterna av fosfor blir små (Figur 34). På tyngre lerjordar (silty clay loam, silty clay och clay) däremot bildas det oftare ytvatten och förlusterna med ytavrinning blir också höga. På jordarna med de största ytförlusterna får också skyddszone störst effekt i minskad förlust av kg P/ha. I områden med högre nederbörd sker mer ytavrinning oavsett jordartstyp än i områden med lägre nederbörd (Figur 34 a och b) och därför kommer skyddszonerna att reducera förlusterna mer i nederbördsrika områden. I 2013 år beräkningar reducerade en skyddszone ytförlusterna av fosfor från ett fält med mellan 30 och 40 % i områden med lägre avrinning (Figur 34a) och med mellan 30 och 55 % i områden med hög avrinning (Figur 34b).

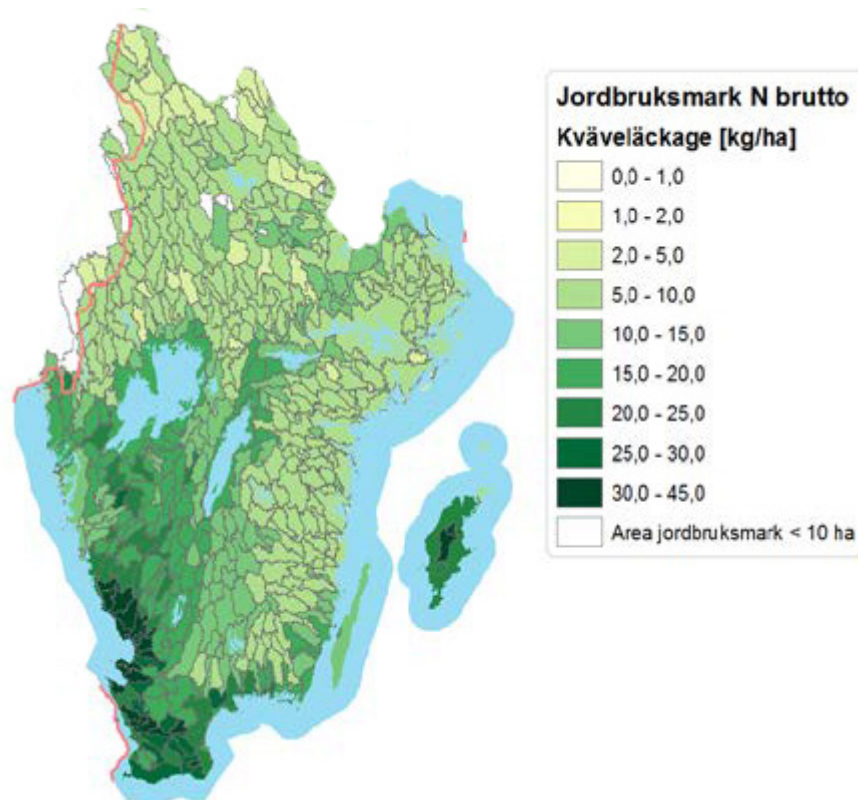


Figur 34. Exempel på effekt av skyddszone: Del av normalläckaget av fosfor 2013 som förloras via ytavrinning (SRP+PP) för de olika jordarterna i läckageregion 1a (a) och läckageregion 1b (b) redovisat för **vårkorn**. Avrinningen i region 1a är 256mm och i region 1b 515 mm. Summan av ytförlustersreduktion p.g.a. skyddszone (orange) och ytförlust från fält med skyddszone (grön) motsvarar förlusterna från ett fält utan skyddszone (i.e. ytförlustersdelen av normalläckaget 2013). Reduktionseffekten redovisas både som kg P/ha (staplar) samt i procent (punkter). Redovisat för medellutning och medelmarkfosforhalt för respektive läckageregion.

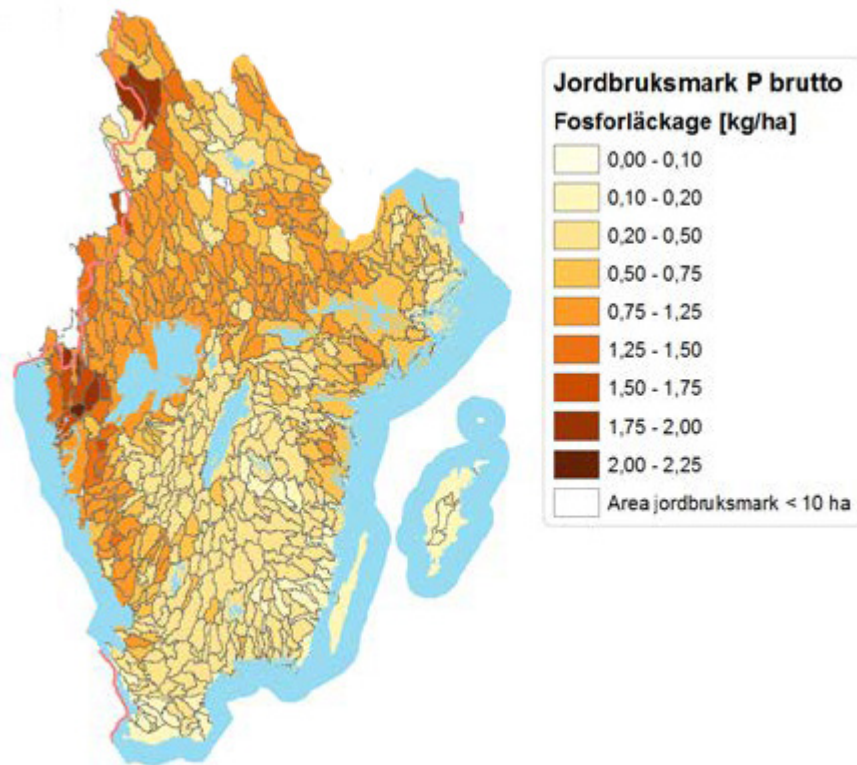
Exempel på tillämpningar av normalläckagevärden

Beräkning av belastning på omgivande hav (HELCOM/PLC6)

Vid beräkningarna av näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet 2014 för rapporteringen till HELCOM-PLC6 (Havs och vattenmyndigheten, 2016) användes de beräknade normalläckagen av kväve och fosfor för att beräkna den totala bidraget från jordbruket. Läckagekoefficienterna användes då tillsammans med information om grödfördelning, jordarter, lutning och markfosforhalter för delavrinningsområden i Sverige för att beräkna läckaget i dessa. Utifrån dessa beräkningar kunde en detaljerad bild av den geografiska variationen i normalläckage i Sverige beskrivas (Figur 35, Figur 36).



Figur 35. Exempel på användning av läckagekoefficienter: Normalläckage av kväve (kg/ha*år) från jordbruksmark per area jordbruksmark när läckagekoefficienterna kombineras med information om jordart och grödor i avrinningsområden i södra Sverige. Avser år 2014 flödesnormaliserat för perioden 1994-2013. Bearbetad från Havs- & vattenmyndigheten (2016).



Figur 36. Exempel på användning av läckagekoefficienter: Normalläckage av fosfor år (kg/ha*år) från jordbruksmark per area jordbruksmark när läckagekoefficienterna kombineras med information om jordart och grödor, lutning och markfosforhalt i avrinningsområden i Sverige. Avser år 2014 flödesnormaliserat för perioden 1994-2013. Bearbetad från Havs och vattenmyndigheten (2016).

Referenser

- Arheimer, B., Andreasson, J., Fogelberg, S., Johnsson, H., Pers, C., & Persson K. 2005. Climate change impact on water quality: Model results from southern Sweden. *Ambio* 34:559-566.
- Andersson, A., Eriksson, J. & Mattson, L., 2000. Phosphorus accumulation in Swedish agricultural soils. *Naturvårdsverket rapport 5110*, Stockholm
- Bergström, J., Brånvall G., Andrist Rangel Y. & Svensson J. 2009. Aspects of the Swedish survey on use of fertiliser and animal manure. Regions and Environmental Department & Process Department, Statistics Sweden.
- Blombäck, K. & Persson, K. 2009. Utveckling av mer platsberoende parametrering av ICECREAMDB. *SMED Rapport Nr 33 2009*.
- Blombäck, K., Johnsson, H., Lindsjö, A., Mårtensson, K., Persson, K.; & Schmieder F. 2011. Läckage av näringsämnen från svensk åkermark för år 2009 beräknat med PLC5-metodik Beräkningar av normalläckage av kväve och fosfor för 2009. *SMED Rapport Nr 57 2011*.
- Blombäck, K., Johnsson, H., Markensten, H., Mårtensson, K., Orback, C., Persson, K., och Lindsjö, A., 2014. Läckage av näringsämnen från svensk åkermark för år 2011 beräknat med PLC5-metodik, *SMED Rapport, in prep, 100 pp*.
- Blombäck, K., Börgesen, C. D., Eckersten, H., Gielczewski, M., Piniewski, M., Sundin, S., Tattari, S. & Väisänen, S. 2012. Productive agriculture adapted to reduced nutrient losses in future climate – Model and stakeholder based scenarios of Baltic Sea catchments. *Baltic Compass report*.
- Brandt, M. & Ejhed, H., 2002 TRK, Transport – Retention – Källfördelning, Belastning på haven *Naturvårdsverket rapport 5247*, 117 pp.
- Bärlund, I. & Tattari, S., 2001. Ranking of parameters on the basis of their contribution to model uncertainty. *Ecol. Model.* 142, 11-23.
- Djodjic, F. 2015. Jordartsfördelning och växtnäringstillstånd i svensk åkermark – sammanställning av resultat från Jordbruksverkets nationella jordartskartering. *SLU, Vatten och miljö, Rapport 2015:11*.
- Djodjic, F., Blombäck, K., Lindsjö, A., & Persson, K. 2008. Förbättring av beräkningsmetodiken för diffus belastning av fosfor från åkermark. *SMED rapport 2008:20*.
- Djodjic, F. & Orback, C. 2013. Förbättrad karta över P-halt i jordbruksmark. *SMED-rapport 139 2013*
- Eriksson, J., Andersson, A. & Andersson, R., 1997. Tillståndet i svensk åkermark. *Naturvårdsverket rapport 4778*, Stockholm.
- Eriksson, J., Andersson, A. & Andersson, R., 1999. Åkermarkens matjordstyper. *Naturvårdsverket rapport 4955*, Stockholm.
- Eriksson, J., Mattsson, L. & Söderström, M., 2010. Tillståndet i svensk åkermark och gröda - Data från 2001-2007. *Naturvårdsverket rapport 6349*, Stockholm.
- Havs och vattenmyndigheten, 2016. Näringsbelastningen på Östersjön och västerhavet 2014 – Sveriges underlag till HELCOM's sjätte Pollution Load Compilation. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2016:12.
- Hoffmann, M., 1999 Assessment of Leaching loss estimates and gross load of nitrogen from arable land in Sweden. *Agraria* 169. Swedish university of agricultural sciences, Uppsala.

- Hoffmann, M. & Johnsson, H., 1999. A method for assessing generalised nitrogen leaching estimates for agricultural land. *Environmental Modeling and Assessment*, 4:35-44.
- Hoffmann, M. & Johnsson, H., 2000. Nitrogen leaching from agricultural land in Sweden – Model calculated effects of Measures to reduce leaching loads. *Ambio* 29:67-73.
- Jansson, P.-E. & Halldin, S., 1980. Model for annual water and energy flow in a layered soil. In *Comparison of Forest Water and Energy Exchange Models* (ed. S. Halldin), 145-163. International Society for Ecological Modelling, Copenhagen.
- Jansson, P.-E., 1991. Simulation model for soil water and heat conditions. Description of the SOIL model. *Report 165*, Department of Soil Sciences, Division of Biogeophysics, SLU, P.O. Box 7014, SE-75007, Uppsala, Sweden. 72 pp.
- Johnsson, H. & Hoffmann, M., 1997. Kväveläckage från svensk åkermark – beräkningar av normalutlakning och möjliga åtgärder. *Naturvårdsverket, rapport 4741*, Stockholm.
- Johnsson, H. & Hoffmann, M., 1998. Nitrogen leaching from agricultural land in Sweden – Standard rates and Gross loads in 1985 and 1994. *Ambio* 27:481-488.
- Johnsson, H & Mårtensson, K., 2002. Kväveläckage från svensk åkermark. Beräkningar av normalutlakning för 1995 och 1999. *Naturvårdsverket rapport nr 5248*. 89 pp.
- Johnsson, H., Bergström, L., Jansson, P.-E. & Paustian, K., 1987. Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. *Agric. Ecosystems Environ.* 18:333-356.
- Johnsson, H & Mårtensson, K., 2006a. Beräkning av effekten på kväveutlakningen av miljöersättningen ”Minskat kväveläckage” år 2001 med utgångspunkt i TRK-beräkningarna för år 1999. *Teknisk rapport 108*. Avd för vattenvårdslära. SLU
- Johnsson, H & Mårtensson, K., 2006b. Beräkning av förändringen av kväveutlakningen mellan 1995 och 2003 och den förväntade effekten av åtgärder som föreslagits för minskade utlakningsförluster. Delredovisning av projektet ”beräkningar av kväveutlakningen”. *Teknisk rapport 104*. Avd för vattenvårdslära. SLU
- Johnsson, H., Larsson, M., Mårtensson, K. & Hoffmann, M., 2002. SOILNDB: A decision support tool for assessing nitrogen leaching losses from arable land. *Environmental Modelling & Software* 17:505-517.
- Johnsson, H., Mårtensson, K., Larsson, M. & Matsson, L. 2006a. Beräkning av kväveutlakningen vid förändrad gödsling för höstvetete och vårkorn. *Teknisk rapport 106*. Avdelning för vattenvårdslära, SLU, Uppsala
- Johnsson, H., Mårtensson, K., Torstensson, G. & Persson, K. 2006b. Beräkning av normalutlakningen av kväve 2003 för den ekologiskt odlade arealen. *Teknisk rapport 105*. Avdelning för vattenvårdslära, SLU, Uppsala
- Johnsson, H., Larsson, M., Brandt, M., Pers, L. & Rosberg, J. 2006c. Framtagning av nytt fosforberäkningssystem för beräkningssystem för diffus belastning, retention och tillförsel till havet för PLC5 rapporteringen 2007. *SMED Rapport Nr 16 2006*.
- Johnsson, H., Larsson, M., Lindsjö, A., Mårtensson, K., Persson, K.; & Torstensson, G. 2008. Läckage av näringsämnen från svensk åkermark Beräkningar av normalläckage av kväve och fosfor för 1995 och 2005. *Naturvårdsverket rapport nr 5823*. 152 pp.

- Johnsson, H., Lindsjö, A., Mårtensson, K., & Persson, K. 2009. Läckage av näringsämnen från svensk åkermark för år 1999 beräknat med PLC5-metodik. Teknisk rapport 132. Avdelningen för biogeofysik och vattenvårdslära, SLU, Uppsala.
- Johnsson, H., Mårtensson, K., Lindsjö, A., Persson, K., Andrist Rangel, Y. & Blomäck, K. 2016. Läckage av näringsämnen från svensk åkermark Beräkningar av normalläckage av kväve och fosfor för 2013. *SMED Rapport nr 189*. 208 pp.
- Jones, C.A., C.V. Cole, A.N. Sharpley, and J.R. Williams. 1984. A simplified soil and plant phosphorus model: I. Documentation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:800–805.
- Jordbruksverket, 2015. Nationell jordartskartering - Matjordens egenskaper i åkermarken. *Jordbruksverket Rapport 2015:19*.
- Jordbruksverket och SCB, 2013. Normskördar för skördeområden, län och riket 2013. *Statistiska meddelanden, JO 15 SM 1301*.
- Knisel, W.G., 1980. CREAMS: a field-scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems. USDA, *Conservation Research Report 26*.
- Kyllmar, K., Johnsson, H. & Mårtensson, K. 2002. Metod för bestämning av jordbrukets kvävebelastning i mindre avrinningsområden samt effekter av läckagereducerande åtgärder- Redovisning av projektet ”gröna fält och blåa hav”. *Ekohydrologi 70*, Uppsala.
- Kyllmar, K. Mårtensson, K., Johnsson, H. 2005. Model-based coefficient method for calculation of N leaching from agricultural fields applied to small catchments and the effect of leaching reducing measures. *Journal of Hydrology 304:343-354*.
- Lantmäteriet. 2015. <https://www.lantmateriet.se/sv/kartor-och-geografisk-information/hojddata/GSD-hojddata-grid-2/>
- Larsson, M., Johnsson, H., Hoffmann, M. & Mårtensson, K., 2002. Technical description of SOILNDB (V. 1.0). Teknisk rapport 64. Department of Soil Sciences, Division of Water Quality Research, SLU, P.O.Box 7072, SE-75007 Uppsala Sweden.
- Larsson, M., Kyllmar, K., Jonasson, L. & Johnsson H. 2005. Estimating reduction of nitrogen leaching from arable land and the related costs. *Ambio 34:538-543*.
- Larsson, M., Persson, K., Ulén, B., Lindsjö, A. & Jarvis, N.J., 2007. A dual porosity model to quantify phosphorus losses from macroporous soils. *Ecological Modelling 205:123-134*.
- Naturvårdsverket, 1997b. Källor till kväveutsläpp. Underlagsrapport. *Naturvårdsverket rapport 4736*, Stockholm
- Persson, K., Larsson, M., & Johnsson, H., 2007a. Nutrient Leaching Coefficient Calculating System (NLeCCS) - Technical description. *Teknisk rapport 116*. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.
- Persson, K., Larsson, M., Johnsson, H. & Lindsjö, A., 2007b. ICECREAMDB 1.0.34 - Technical description. *Teknisk Rapport 117*. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.
- Persson, K., 2009. Automatisering av beräkningsrutiner i NLeCCS. *SMED rapport (avtal: 3080905)*.
- Persson, K. 2016. Klimatdatabasen version PLC6. Teknisk dokumentation. Inst. för mark och miljö, SLU, Uppsala.
- Posch, M., Rekolainen, S., 1993. Erosivity factor in the Universal Soil Loss Equation estimated from Finnish rainfall data. *Agric.Sci. Finland 2*, 271–279.

- Radcliffe, D. E., Reid, D. K., Blombäck, K., Bolster, C. H., Collick, A. S., Easton, Z. M., Francesconi, W., Fuka, D.R., Johnsson, H., King, K., Larsbo, M., Youssef, M.A., Mulkey, A. S., Nelson, N.O., Persson, K., Ramirez-Avila, J.J., Schmieder, F., & Smith, D.R., 2015. Applicability of models to predict phosphorus losses in drained fields: A review. *ASDR*
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., Saxton & K.E., 1982. Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE* 1316-1320.
- Rekolainen, S. & Leek, R. (ed.), 1996 Regionalisation of erosion and nitrate losses from agricultural land in Nordic countries. *Tema Nord 1996:615*, Copenhagen, Denmark.
- Rekolainen, S. & Posch, M., 1993. Adapting the CREAMS model for Finnish conditions. *Nordic Hydrol.* 24, 309-322.
- SCB, 2013a. Odlingsåtgärder i jordbruket 2012 Träda, slåttervall, vårkorn, havre, höstspannmål samt användning av halm och blast. *Statistiska meddelanden, MI 30 SM 1302*.
- SCB, 2013b. reviderad 2014. Sambearbetning av Gödselmedelsundersökningen och Skördeundersökningarna 2011. *PM Lantbruksstatistik 2013:2*.
- SCB, 2013c Kväve- och fosforbalanser för jordbruksmark och jordbrukssektor 2011. *Statistiska meddelanden, MI 40 SM 1301*.
- SCB, 2014. Gödselmedel i jordbruket 2012/2013. Mineral- och stallgödseltill olika grödor samt hantering och lagring av stallgödsel. *Statistiska meddelanden, MI 30 SM 1403*.
- Schmieder, F., Blombäck, K., Persson, K. & Lindsjö, A., 2010. Modeling the effect of buffer strips on surface losses of particulate phosphorus. Proceedings from the 6th International phosphorus workshop (IPW6), Sevilla, Spain, 27 September – 1 October 2010.
- Sharpley, A.N., Jones, C.A., Gray, C., & Cole, C.V. 1984. A Simplified Soil and Plant Phosphorus Model: II. Prediction of Labile, Organic, and Sorbed Phosphorus. *Soil Science Society of America Journal* 48(4): 805-809.
- Stjernman Forsberg, L., Johansson, G. & Blomberg, M. (2015). Växtnäringsförluster från åkermark 2013/2014. Årsredovisning för miljöövervakningsprogrammet Observationsfält på åkermark. *Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil and Environment. (Ekohydrologi; 140)*.
- Tattari, S., Bärlund, I., Rekolainen, S., Posch, M., Siimes, K., Tuhkanen, H.-R. & Yli-Halla, M., 2001. Modelling sediment yield and phosphorus transport in Finnish clayey soils. *Trans. ASAE* 44, 297-307.
- Tengdelius Brunell, J., Gustavsson, H., Alavi, G. 2016a. Avrinning beräknad med S-HYPE till PLC6 och jämförelse med PLC5-resultat – Underlagsrapport till Pollution Load Compilation 6. SMED Rapport Nr 185 2016.
- Torstensson, G., Persson, K., Johnsson, H., Mårtensson, K., & Larsson, M., 2006. SOILNDB 3.0. *Teknisk rapport 98*. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.
- Widén-Nilsson, E., Djodjic, F., Englund, D., Hellgren, S., Liljeberg, M., Olshammar, M., Olsson, H., Orback, C., Tengdelius-Brunell, J. 2016. Kartdata till PLC6 – Underlagsrapport till Pollution Load Compilation 6 rörande markanvändning, vattenförekomstområden, regionsindelning, jordbruksmarkens jordart, lutning och fosforhalt samt medelvärdesberäkningar. SMED Rapport Nr 186 2016.