

Markberedning nära ytvatten

RESULTAT FRÅN FÄLTINVENTERINGAR I TRE REGIONER I SVERIGE

Site preparation near surface water

– results from field inventories in three regions in Sweden



FOTO SVERKER JOHANSSON/BITZER

Summary

Mechanical site preparation is performed on significant areas of forest land in Sweden to create conditions favoring regeneration. Site preparation can adversely affect nearby watercourses and lakes if it is done in a way that increases the transport of eroded soil, nutrients, and metals, or that impairs the function of current or future forest buffers. In 2018, 174 harvested and site-prepared compartments were surveyed to determine how site preparation is performed near surface water in Sweden. Compartments were selected by analyzing digital maps obtained from the Swedish Forest Agency showing "compartments reported for harvesting" for the 2014/2015 and 2015/2016 harvesting seasons in three regions from southern to northern Sweden. Compartments were eligible for selection if the maps indicated that they had been clearcut, had undergone site preparation, and adjoined a water body with a shore length exceeding 30 m. In total, 340 compartments satisfying these criteria were selected; however, field visits revealed that 30% of these compartments had not actually undergone site preparation. Two to five study plots starting at the shoreline and ending 30 m away were inventoried in each selected compartment. Distances were assessed by eye or stepped out. The water bodies adjoining the compartments were classified as "lakes" (n=16), "natural watercourses" (n=31), "modified watercourses" (n=93), or "ditch networks" (n=34) based on maps and the field classification of the inventoried shore length. Continuous disc trenching had been performed on 49% of the compartments and mounding on 46%. Pulling base machines had been used on 72% of the compartments and excavators on 24%. When a forest buffer had been left in a compartment, it limited the extent of the area subjected to site preparation. The mean distance from site-prepared ground to the shoreline was 11.0 m (min-max 0-70) for all inventoried compartments. The corresponding distances for lakes, natural watercourses, modified watercourses, and ditch networks were 18.9 m (min-max 8.7-26.3 m), 15.0 m (min-max 1-70 m), 9.6 m (min-max 0-36.3 m), and 7.4 m (min-max 2-45 m), respectively. The width of the zone to be left without site preparation, to avoid negative impact on adjacent lakes, watercourses and ditches, must be determined in each individual case based on local conditions. One suggestion to start from is to leave a preparation-free zone of at least 10 meters of the banks of natural and modified watercourses or lakes. A preparation-free zone of 5 m along forest buffers, from the trunk of the trees, is recommended to maintain forest buffer stability. However, more knowledge on how mechanical site preparation affects surface water is needed to determine more precisely how close to surface water site preparation can be executed without causing negative impact.

Detta är en reviderad version av rapporten, publicerad 17 december 2021. Ny karta har lagts in i Figur 3.

Vid en tidigare revision, publicerad den 16 februari 2021, hade ändringar gjorts i Summary (rad 26 och framåt), Sammanfattning (rad 21 och framåt) och Figur 7, 8 och 10 och avsnittet Slutsats har ersatts av sista stycket i Diskussionen.



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling, Europa
investerar i landsbygdsområden



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2020 ISSN 1404-305X

Förord

De resultat som presenteras i denna rapport har tagits fram inom projektet "Skonsam markberedning och föryngring" som finansierats av Landsbygdsprogrammet 2014–2020 (journalnummer 2017-1895). Syftet med projektet var att ta fram underlag, producera och förmedla riktlinjer för minskad påverkan på miljö och vatten vid föryngring av skog. I denna rapport redovisas resultatet från inventeringar av markberedda hyggen intill ytvatten.

Uppsala, februari 2020

Eva Ring, Fredrik Johansson, Nils Fahlvik, Tomas Johannesson,
Rasmus Sørensen & Isabelle Bergkvist

Innehåll

Summary.....	2
Förord	3
Sammanfattning	5
Inledning.....	6
Material och metoder	7
Urval av trakter	7
Inventering.....	10
Klassificering av vattenförekomst	14
Analys av data	16
Resultat	17
Inventerade trakter.....	17
Markberedningsmetod	17
Basmaskin	18
Avstånd till vatten.....	20
Avstånd till kantzon.....	22
Föryngring	22
Överfarter och hjulspår.....	22
Jämförelse med skogsbrukets målbilder.....	24
Diskussion	25
Slutsats.....	26
Referenser.....	27

Sammanfattning

Maskinell markberedning utförs på betydande arealer skogsmark i Sverige. Syftet är att förbättra förutsättningarna för föryngring. Markberedning kan påverka närliggande vattendrag och sjöar negativt om den utförs så att transporten av eroderad jord, näring och metaller ökar eller att funktionen hos lämnade eller framtida kantzoner försämras. År 2018 inventerades 174 avverkade och markberedda trakter med avseende på hur markberedning utförts intill ytvatten. Urvalet av trakter gjordes från Skogsstyrelsens digitala kartdata över "anmälda avverkningar" för avverkningssäsongerna 2014/2015 och 2015/2016 i tre regioner från södra till norra Sverige. Trakterna skulle vara avverkade och markberedda och hysa en vattenförekomst med en strandlängd längre än 30 m. Av de besökta 340 trakterna var 30 procent inte markberedda. På varje trakt inventerades zonen 0–30 m från strandkanten på två till fem utlagda provytor. Avstånd bedömdes okulärt eller stegades upp. Med hjälp av kartor och inventeringen i fält klassificerades typen av vattenförekomst som trakten låg vid som "sjö" (n=16), "naturligt vattendrag" (n=31), "påverkat vattendrag" (n=93) eller "dikessystem" (n=34). Kontinuerlig harvning hade gjorts på 49 procent av trakterna och högläggning på 46 procent. Dragande basmaskin hade använts på 72 procent av trakterna och grävmaskin på 24 procent. Då en kantzon lämnats utgjorde den gräns för markberedningen. Avståndet från markberedd mark till strandkant var i medeltal 11,0 m (min-max 0-70 m) för alla inventerade trakter. Motsvarande avstånd för sjöar var 18,9 m (min-max 8,7-26,3 m), naturliga vattendrag 15,0 m (min-max 1-70 m), påverkade vattendrag 9,6 m (min-max 0-36,3 m) och dikessystem 7,4 m (min-max 2-45 m). Bredden på zonen som ska lämnas utan markberedning för att undvika negativ påverkan på angränsande sjöar, vattendrag och diken måste avgöras i varje enskilt fall utifrån lokala förhållanden. Ett förslag att utgå ifrån är att lämna minst tio meter utan markberedning längs naturliga och påverkade vattendrag och sjöar. Mot kantzoner föreslås att fem meter lämnas utan markberedning, räknat från trädens stam, för att bibehålla kantzonens stabilitet. Det behövs dock mer kunskap om hur maskinell markberedning påverkar närliggande ytvatten för att mer precist kunna fastställa hur nära markberedning kan utföras utan att ge oönskade effekter i ytvatten.

Inledning

Mekanisk markberedning är en skogsbruksåtgärd som utförs på en betydande andel av den avverkade arealen i Sverige. Enligt Skogsstyrelsens statistik har årligen 156 000–192 000 hektar markberetts maskinellt mellan 2004 till 2017 (3-års medelvärden, www.skogsstyrelsen.se). Mekanisk markberedning innebär att marken påverkas fysiskt för att skapa bättre förhållanden för föryngring vid både sådd och plantering (Örlander m.fl., 1990). Att skapa områden med bar mineraljord minskar risken för snytbaggeangrepp (Örlander & Nilsson, 1999; Luoranen & Viiri, 2012). Maskinell markberedning görs kontinuerligt eller intermittent (fläckvis). Harvning och högläggning kan göras med en dragande basmaskin med ett påmonterat aggregat. Högläggning kan även göras med grävmaskin. Det finns också andra markberedningsmetoder, som exempelvis inversmarkberedning och pytsning (Sörensen m.fl. 2019).

Utöver den önskade effekten på föryngringen påverkar markberedning andra miljöfaktorer. Vid harvning och högläggning skapas tiltor och fåror med olika näringsomsättning och vegetationsutveckling (Pirainen m.fl., 2007; Ring m.fl., 2013). Detta ökar troligen den rumsliga variationen i markecosystemet och kan påverka utlakningen till grundvattnet (Pirainen m.fl., 2007, 2009; Rappe George m.fl., 2017). Markens olika skikt, som bildats genom jordmånsbildande processer (exempelvis podsolering), flyttas om och kan blandas då man skapar tiltor, fåror, högar och gropar vid markberedning. Mineraljord exponeras vilket ökar risken för erosion och transport av jordpartiklar. Om markberedning utförs nära vattendrag och sjöar kan jordpartiklar transporteras ut i vattnet och försämra de akvatiska livsmiljöerna (Österling m.fl., 2010). Fysiska störningar i utströmningsområden nära ytvatten ökar risken för att metylkvicksilver ska bildas och att metyl- och totalkvicksilver ska transporteras till närliggande vatten (Munthe & Hultberg, 2004; Eklöf m.fl., 2016).

I skogsbrukets dialogprocess om god miljöhänsyn har man tagit fram ett antal målbilder (Andersson m.fl., 2013; Andersson m.fl., 2016). I målbilderna för kantzoner mot sjöar och vattendrag berörs markberedning i målbilden för beståndsanläggning (Andersson m.fl., 2013). Punkterna som rör markberedning lyder:

- Där en funktionell kantzon med träd och buskar finns utgör den gräns för var markberedning utförs.
- På sträckor där kantzon saknas helt eller är smal sker kontinuerlig markberedning (harvning) inte inom cirka 10 meter från sjö eller vattendrag.
- Fläckmarkberedning, högläggning och sådd/plantering sker inte närmare än cirka 5 meter från sjö eller vattendrag.
- Markberedning leder inte till slamtransport ut i sjö, vattendrag eller dike som ansluter till sjö eller vattendrag.

I föreliggande rapport redovisas resultat från fältinventeringar på 174 markberedda trakter med fokus på hur markberedning utförts nära ytvatten, vilka metoder som använts och vilken hänsyn som tagits. Resultaten från inventeringarna utvärderas och diskuteras bland annat utifrån målbilden för beståndsanläggning som beskrivits ovan (Andersson m.fl., 2013). Ytterligare data från inventeringarna, om kantzoner, kommer att redovisas i en separat rapport.

MATERIAL OCH METODER

Markberedda trakter med någon typ av ytvattenförekomst inventerades mellan 27 juni och 22 oktober 2018, av totalt fem personer. Med ytvattenförekomst avses här vattendrag (det vill säga alla typer av rinnande vatten, exempelvis bäckar, surdråg, diken, åar och älvar) och sjöar. Fokus var på den 30 m breda zonen närmast ytvatten. Innan inventeringarna påbörjades genomfördes en kalibreringsövning i Uppland för att inventerarna skulle göra jämförbara bedömningar.

Urval av trakter

Kriterierna för inventering var att trakten måste 1) ligga inom utvalda geografiska regioner, 2) vara förnygringsavverkad under 2014/2015 eller 2015/2016, 3) hysa en ytvattenförekomst med en strandlängd längre än 30 m samt 4) vara markberedd. Målet var att välja ut ca 300 trakter för inventering. Processen för att välja ut dessa trakter illustreras i Figur 1 (A–K).

Urvalet av trakter baserades på Skogsstyrelsens digitala kartdata över ”anmälda avverkningar” (<http://skogsdataportalen.skogsstyrelsen.se/Skogsdataportalen/>) för avverkningssäsongerna 2014/2015 och 2015/2016 (A i Figur 1). Dessa säsonger bedömdes ge bäst förutsättningar för inventering år 2018. För trakter som avverkats innan 2014 bedömdes det bli svårare att avgöra om markberedning utförts eller inte och för trakter avverkade efter 2016 bedömdes sannolikheten öka att markberedning inte hunnit bli utförd. För att spegla eventuella geografiska skillnader i landet och effektivisera inventeringsarbetet koncentrerades urvalet av trakter till tre regioner från södra till norra Sverige, hädanefter benämnda **Götaland**, **Svealand** och **Norrland**:

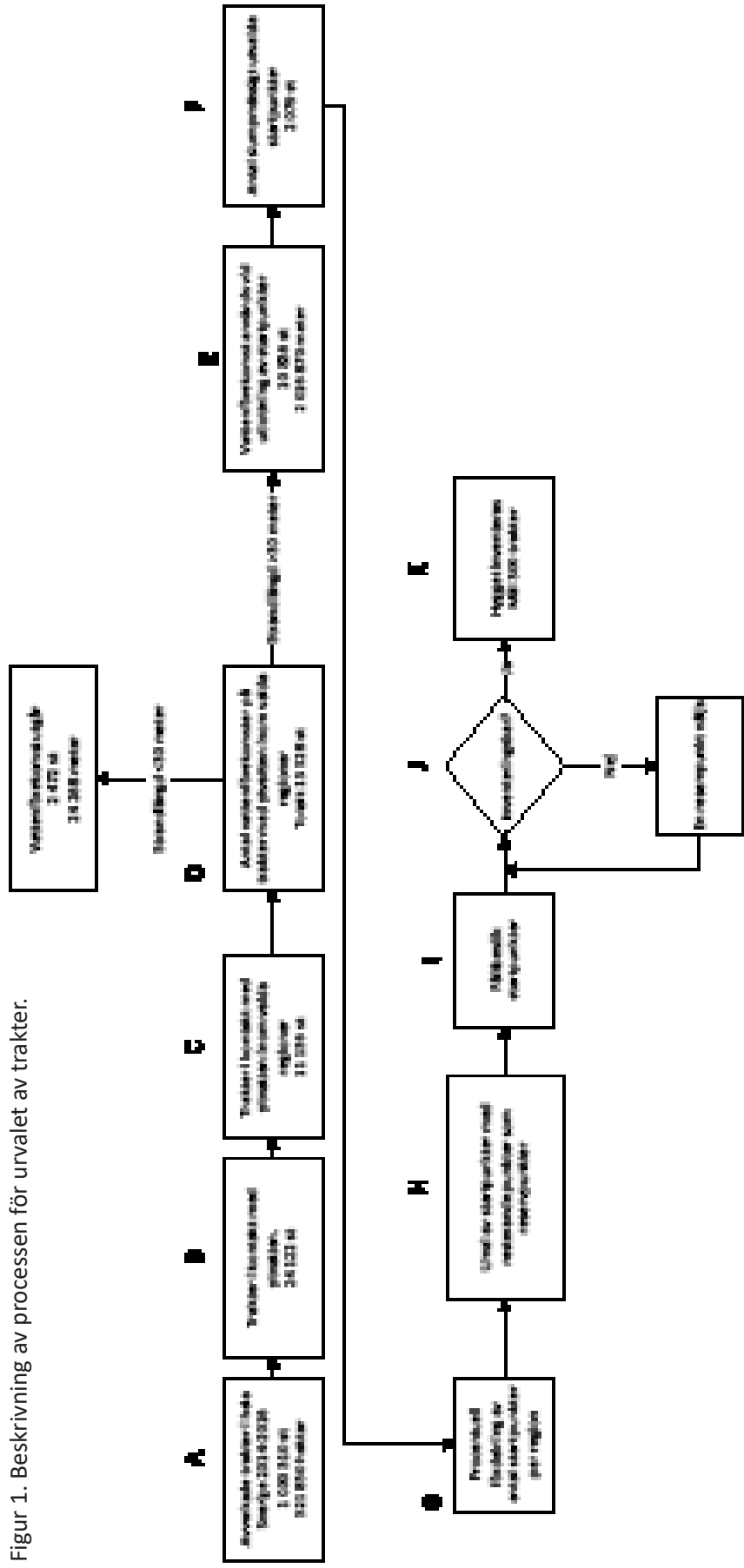
Götaland: Skåne, Hallands, Kronobergs och Blekinge län

Svealand: Upplands, Västmanlands och Örebro län

Norrland: Jämtlands, Västernorrlands och Västerbottens län

Utifrån det totala antalet trakter i Sverige anmälda för förnygringsavverkning mellan 2014 och 2016 (A) sorterades trakter (med status ”avverkat”) med vattenförekomster ut (B) för de tre utvalda regionerna (C). Vattendrag och begränsningslinjer som var kortare än 30 meter sorterades bort från materialet (D) för att sträckan skulle kunna rymma mer än en provyta. Till den digitala informationen om trakten adderades två digitala skikt: GSD-Terrängkartan, vektor, linjeskikt för hydrografi samt linjeskikt för heltäckande markdata (begränsningslinjer mellan vattenyta och barr-och blandskog) (<https://www.lantmateriet.se/>). De två skikten användes för att avgränsa de delar av vattenförekomsten som var belägna på eller i direkt anslutning till trakten. De återstående 10 856 trakterna hade vattenförekomster med en strandlängd längre än 30 m (E). En startpunkt för inventering slumpades ut (F) längs vattenförekomsten på de 2 079 trakterna med hjälp av funktionen ”Create Random Points” i ArcGIS-Pro (Figur 2). Därefter gjordes ett urval av 309 trakter med tillhörande startpunkt. Trakterna fördelades (G) enligt samma procentuella andel som den avverkade arealen i regionen utgjorde av den totala avverkade arealen i de tre regionerna under den valda perioden. Från den erhållna listan med startpunkter valdes var sjunde, femte och åttonde trakt ut regionvis för Götaland, Svealand respektive Norrland. Antalet utvalda trakter var 71 för Götaland, 88 för Svealand och 150 för Norrland. De resterande 364, 352 respektive 1 054 trakterna nyttjades som reservtrakter, då en utvald trakt inte uppfyllde kriterierna för inventering eller trakten saknade åtkomst. Enligt Skogsstyrelsens statistik över utförda avverkningar var den totala avverkade arealen ca 157 000 hektar både under 2014/2015 och 2015/2016,

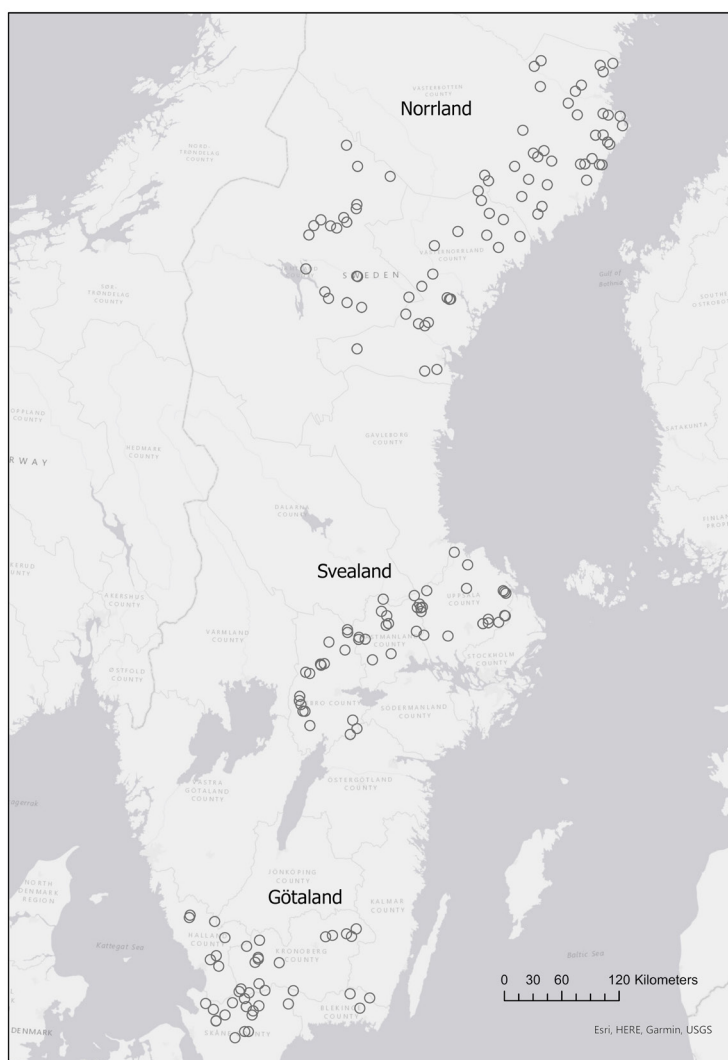
Figur 1. Beskrivning av processen för urvalet av trakter.



varav 35 000 hektar i Götaland (22 procent), 46 000 hektar i Svealand (29 procent) och 75 000 hektar i Norrland (48 procent). Antalet utvalda trakter fördelades enligt dessa procentsatser, men då reservtrakterna inkluderades (H) blev andelen 21 procent för Götaland respektive Svealand och 58 procent för Norrland. På grund av att många av de utvalda trakterna och reservtrakterna inte uppfyllde kriterierna (eller gick att besöka), behövdes ett stort antal startpunkter för att klara det uppsatta inventeringsmålet på ca 300 trakter. Detta uppenbarades under arbetets gång. Då en trakt måste ersättas valde inventeraren en närliggande trakt för att minska restiden. En karta över de inventerade trakterna visas i Figur 3.



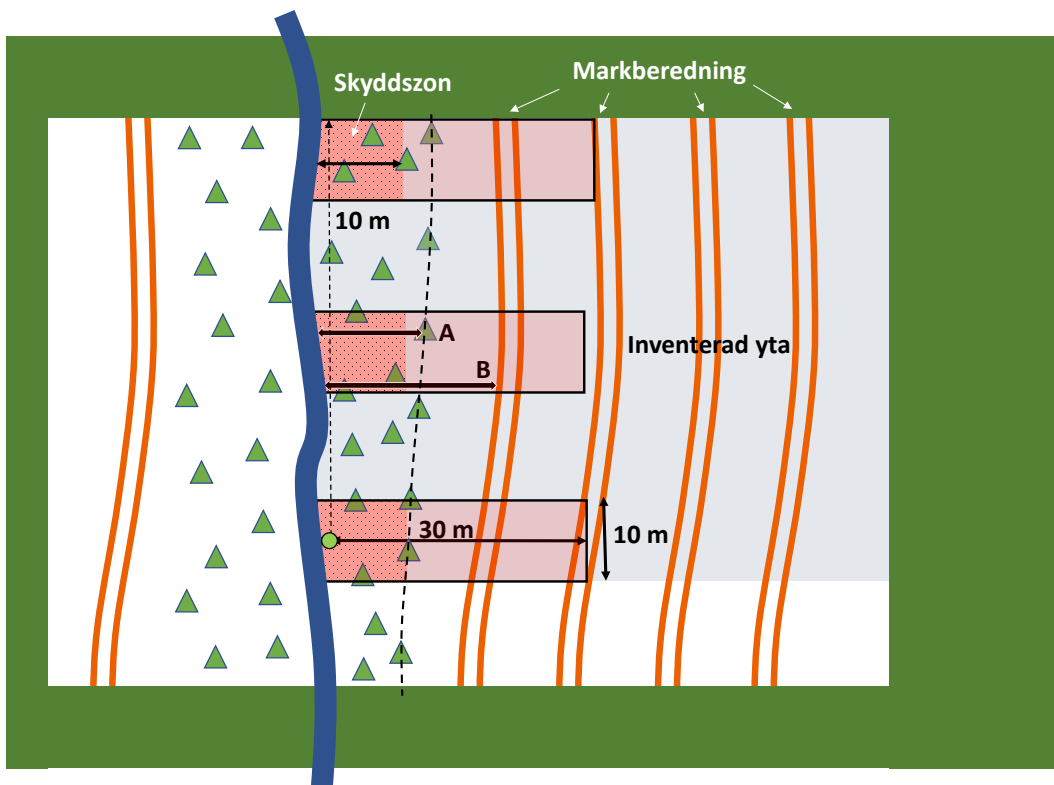
Figur 2. Flygfoto över en trakt vars gräns markeras med streckad linje, vattendrag med heldragen vit linje och startpunkten för inventering (grön punkt). Ortofotot i bakgrunden har tillhandahållits av Lantmäteriet.



Figur 3. Karta över de inventerade trakterna i de tre regionerna benämnda Götaland, Svealand och Norrland.

Inventering

Vid ankomsten till trakten bedömde inventeraren först om trakten markberetts och om trakten hade en vattenförekomst. Om så var fallet startades inventeringen från den utlottade startpunkten på den sida av vattendraget där den största delen av hygget låg (Figur 4). Utmed den längsta sträckan mot vattenförekomsten, från startpunkt till beståndsgräns, lades 30 m långa och 10 m breda provytor ut vinkelrätt mot strandkanten. Provytans mått liksom avståndet mellan provytor stegades upp. Antalet provytor per trakt anpassades till den inventerade strandlängden vilken mättes i fält med hjälp av ”Collector for ArcGIS” installerad på en surfplatta eller mobiltelefon. Den uppmätta längden varierade mellan 20 och 500 m och var i genomsnitt 123 m. Utifrån den uppmätta strandlängden beräknades avståndet mellan centrum på provytorna enligt Tabell 1. Inventeringen utfördes med hjälp av formulär i ”Survey123 for ArcGIS” som beskrivs i Tabell 2. Avstånd och längder stegades upp eller bedömdes okulärt. Trädskiktets egenskaper bedömdes okulärt.



Figur 4. Schematisk skiss av ett hygge som korsas av ett vattendrag där en kantzon lämnats (gröna trianglar). Från den utslumpade startpunkten (grön punkt) visas den inventerade strandlängden som en streckad pil. I exemplet inventeras tre provytor (10 m × 30 m) med skyddszon (10 m × 10 m, prickat område). Kantzonens bredd (A) samt det kortaste avståndet från strandkanten till där markberedningen börjar (B) skattas inom provytorna.

Tabell 1. System för utläggning av provytor på trakterna.

Uppmätt längsta strandlängd (l) på hygget	Antal provytor	Beräkning av avstånd (a) mellan centrum på provytor
$30 \text{ m} < l < 100 \text{ m}$	2	$a=l/2$
$100 \text{ m} \leq l < 200 \text{ m}$	3	$a=l/3$
$200 \text{ m} \leq l < 400 \text{ m}$	4	$a=l/4$
$400 \text{ m} \leq l < 600 \text{ m}$	5	$a=l/5$
$l \geq 600 \text{ m}$	6	$a=l/6$

Tabell 2. Beskrivning av formuläret som användes vid fältinventeringarna. Se Figur 4 för "Inventerat område". Avstånd och längder stegades upp eller bedömdes okulärt, förutom vattenförekomstens strandlängd som mättes i "Collector for ArcGIS".

Fråga	Svarsalternativ	Förklaring	Inventerat område
Är hygget inventeringsbart?	Ja, hygget inventeras Nej, hygget utgår		Hygge
Orsak till att hygget inte inventeras	Vid Nej på föregående fråga Ingen åtkomst Inte markberett Vattendrag saknas Annat		
Koordinater	GPS-koordinater för hygget		
Har GROT skördats?	Ja Ja, delvis Nej Oklart	Bedömningen görs för hela trakten	Hygge
Typ av markberedning?	Högläggning Harvning Övrig intermittent metod Invers Övrigt	Övriga intermittenta metoder, t.ex. pytsning	Hygge
Med vilken basmaskin har markberedningen utförts?	Grävmaskin Dragande basmaskin Övrigt		Hygge
Typ av vatten?	Naturligt vattendrag Rätat vattendrag Dike Sjö Ålv Övrigt	Övrigt, t.ex. blötområden utan tydlig vattenfåra	Längs inventerad strandlängd och dess närområde
Vattenförekomstens strandlängd	Längd i meter	Den längsta delen av linjen mäts i Collector for ArcGIS från startpunkten till dess att linjen tar slut, eller till beståndsgräns om den nås innan linjen har tagit slut.	
Vattenfårans bredd	Bredd i meter (utan decimaler)	Diken: dikets bredd. Naturliga och rätade (påverkade) vattendrag: fårans bredd, dvs. där mineraljord är blottad eller där växtligheten är präglad av hög vattennivå.	Vid startpunkten
Har en kantzon med träd lämnats vid avverkning?	Kantzon har lämnats utmed: 100 % av sträckan 75 % av sträckan 50 % -75 % av sträckan <50 % av sträckan Saknas	En kantzon är sammanhållna partier med träd längs med vattendraget där avståndet mellan träden (diameter i brösthöjd >7 cm) är mindre än 10 m.	Inventerad strandlängd
Kantzonens struktur	Flerskiktad Enskiktad Enstaka träd Sly Sumpskog	"Enstaka träd" är även ett alternativ för kantzon "saknas" enligt föregående fråga. "Sly" är stamtäta partier med ungskog som kan bestå av olika trädslag och buskar.	Inventerad strandlängd

Forts. tabell 2.

Utläggning av provytor (10 m × 30 m)			
Välj den sida av vattendraget som vetter mot huvuddelen av hygget. Gå till startpunkten. Lägg ut provytan (10 m bred längs med vattenförekomsten och 30 m lång vinkelrät mot vattenförekomsten), inventera och stega avståndet till nästa provyta baserat på appens beräkning (se nästa punkt) och så vidare. Vissa variabler inventeras endast inom skyddszonen på provytan (det vill säga 0–10 m närmast vattenförekomsten).			
Fråga	Svarsalternativ	Förklaring	Inventerat område
Avstånd mellan provytor	Avstånd i meter mellan provytor från startpunkten	Avståndet beräknas enligt Tabell 1. Om en provyta hamnar på en mycket avvikande typ av mark, t.ex. en håll, flyttar man ytan stegvis om 10 m parallellt med strandlinjen.	
Har markberedning utförts inom provytan?	Ja Nej		Provyta
Har träd planterats på provytan?	Ja Nej		Provyta
Vilket träslag har planterats?	Tall Gran Björk Övrigt	Flera val möjliga	Provyta
Finns det självföryngring i skyddszonen?	Ja Nej		Skyddszon
Vilka träslag finns självföryngrade i skyddszonen	Tall Gran Björk Övrigt	Flera val möjliga	Skyddszon
Bärighet	Klass 1 till 5	1: Mycket god (året runt) 2: God (ej tjällossning) 3: Medelgod (sommar) 4: Dålig (längre torrperiod) 5: Mycket dålig (frusen mark)	Provyta
Ytstruktur	Klass 1 till 5	Enligt terrängtypschema där klass 1 är jämn mark och klass 5 är tekniskt omöjlig att avverka (Berg, 2006).	Provyta
Markfuktighet	Klass 1 till 4	1: Torr 2: Frisk 3: Fuktig 4: Blöt	Skyddszon resp. resterande zon ^{a)}
Hur bred är kantzonen?	Avstånd i meter	Längsta avståndet mellan strandkant och trädstam i kantzonens gräns, max 30 m ^{b)}	Provyta
Hur långt är det från strandkant till markberedd mark?	Avstånd i meter	Kortaste avståndet mellan markberedd mark och strandkant, max 30 m ^{c)}	Provyta

^{a)} Markfuktighetsklass bedömdes för skyddszonen respektive resterande yta inom provytan, dvs. för zonen 10–30 m från strandkanten (Figur 4).

^{b)} Dock två provytor där kantzonens bredden angetts till >30 m.

^{c)} Dock 11 provytor där avståndet mellan markberedd mark och strandkant angetts till >30 m.

Forts. tabell 2.

Fråga	Svarsalternativ	Förklaring	Inventerat område
Trädslagsfördelning	Anges i 1/10: Andel tall inkl. contorta Andel gran inkl. lärk Andel björk Andel övrigt löv Andel ädellöv	Baserat på volym för träd med brösthöjdsdiameter över 7 cm	Provyta
Inventering av provytans skyddszone, det vill säga 0–10 m närmast vattenförekomsten			
Markskador inom skyddszone	Notera all markpåverkan inom skyddszone	Fläckmarkberedning summeras till en skada	Skyddszone
Typ av skada	Hjulspår Markberedning	”Skada” är när mineraljord exponerats	
Längd på skadan inom skyddszone	Längd i meter	Spår från båda hjulparen summeras	Skyddszone
Spår djup	Maximalt spår djup i dm		Skyddszone
Har vattendraget korsats?	Ja Nej		Inventerad strandlängd
Finns det några överfarter på sträckan?	Ja Nej Går ej att bedöma		Inventerad strandlängd
Vilken typ av överfart?	Bro av virke som är kvar Bro av virke/stockmattor som är borttagen (bedöm) Bro med trumma	Vid förekomst av permanent bro anges ”bro med trumma”	
Ta ett foto		Ta ett foto vid behov	

Klassificering av vattenförekomst

Karaktären på vattnet vid den inventerade sträckan bedömdes i fält enligt Tabell 2 (”Typ av vatten”). För rinnande vatten innefattar ”vattenförekomst” sträckan uppströms den inventerade sträckan, den inventerade sträckan (som gränsar mot trakten) och sträckan nedströms fram till det första utloppet till en sjö eller vattendrag. Då den inventerade sträckan gränsade mot en sjö klassificerades vattenförekomsten som ”sjö”. För rinnande vatten bedömdes typ av vattenförekomst utifrån klassificeringen i fält (Tabell 2) samt från GSD-Terrängkartan, vektor, linjeskikt för hydrografi (<https://www.lantmateriet.se/>), Skogsstyrelsens markfuktighetskarta och Lantmäteriets digitala ortofoton från 2012–2018 (<https://www.lantmateriet.se/>). Om det var en sjö uppströms eller nedströms vattendraget innefattar vattenförekomsten endast vattendraget. Ibland utgjorde den inventerade sträckan den första delen på vattendraget och då klassificerades vattenförekomsten utifrån den inventerade sträckan och sträckan nedströms. Klassindelningen som användes var ”naturligt vattendrag”, ”påverkat vattendrag” och ”dikessystem” (Figur 5). Bedömningen gjordes enligt:

Naturligt vattendrag: slingar sig fram i landskapet, kan starta i ett myrområde utan diken och även rinna genom myrområden utan diken samt följer markfuktighetskartan.

Påverkat vattendrag: det finns spår av grävaktivitet inom området, exempelvis uppgrävda stenar och vattendraget ser ut att vara rätat på en eller flera sträckor.

Dikessystem: tydliga raka vattenfåror, följer inte alltid markfuktighetskartan vilket antyder att fåran är skapad av människor.

Först bestämdes vattnets flödesriktning vid startpunkten. Vattendragets sträckning uppströms (kan innefatta flera vattenfåror) och nedströms startpunkten bedömdes med hjälp av linjeskiktet för hydrografi. En visuell kontroll gjordes för att se om den digitala dragningen överensstämde med ortofotot och därefter bedömdes visuellt från ortofotot om grävaktivitet förekommit utmed sträckningen. Markfuktkartan användes som stöd för att hitta vattenfåror. Då alla tre delsträckorna, det vill säga uppströms (om sådan fanns), inventerad och nedströms, bedömdes som "naturligt vattendrag" eller "dike" klassificerades vattenförekomsten som "naturligt vattendrag" respektive "dikessystem". I alla övriga fall blev klassificeringen "påverkat vattendrag". I denna rapport utvärderas resultaten i förhållande till typ av vattenförekomst.



Figur 5. Exempel på de tre typerna av vattenförekomst för rinnande vatten: naturligt vattendrag (överst), påverkat vattendrag (mitten) och dikessystem (nederst). Streckade linjer anger traktgräns och vita heldragna linjer digitalt dragna linjer för vattenförekomster. Markfuktighetskartorna kommer från Skogsstyrelsen och ortofotona i bakgrunden från Lantmäteriet.

Analys av data

Data analyserades på både traktnivå (n=174) och provyttenivå (n=495). För att kunna jämföra olika trakter med varandra, utan inverkan av att antalet provytor varierade mellan trakter, beräknades ett medelvärde per trakt för varje variabel, härnäst benämnt "traktmedel". Dessa medelvärden lades in i samma tabell som de data som samlats in på traktnivå från Skogsstyrelsens register, och analyserades deskriptivt främst med hjälp av pivot-tabeller i Excel. Analysen gjordes huvudsakligen på traktnivå. Inga statistiska tester har gjorts. I materialet saknas en del data vilket innebär att antalet observationer (n) ibland kan vara lägre än det möjliga antalet inventerade trakter med vissa egenskaper.

Avståndet från markberedd mark till strandkant angavs som "999" för åtta provytor fördelade på fem trakter. På dessa provytor var avståndet större än 30 m. För att kunna beräkna ett medel för dessa trakter ersattes "999" med "saknas", vilket innebär att dessa medelvärden underskattar avståndet. Fyra av dessa fem trakter var harvade med en dragande basmaskin och typ av vattenförekomst för dessa fyra trakter var naturligt vattendrag (1), påverkat vattendrag (2) och dikessystem (1). Det femte hygget avvattnades av ett påverkat vattendrag och var höglagt med grävmaskin.

Resultat

INVENTERADE TRAKTER

Totalt besöktes 340 trakter varav 174 inventerades. Återstående 166 trakter inventerades inte på grund av att trakten inte var markberedd (103 trakter), vattenförekomst saknades (3 trakter), trakten inte kunde nås exempelvis på grund av vägbom (40 trakter) eller på grund av annan orsak (17 trakter). För tre trakter saknades angiven orsak. I medeltal inventerades 2,8 provytor per hygge (3,3 för Götaland och 2,7 för Svealand och Norrland).

Medelarealen för de inventerade trakterna var 3,1 ha i Götaland (min-max 0,2-11,2 ha, n=42), 6,9 ha i Svealand (min-max 0,7-40,2 ha, n=46) och 9,2 ha i Norrland (min-max 0,6-45,2 ha, n=74). GROT-skörd var vanligt förekommande för Svealand där GROT hade skördats helt eller delvis på 87 procent av de inventerade trakterna. För Norrland och Götaland var GROT-skörd utförd på 9 respektive 26 procent av de inventerade trakterna. Götaland hade högst andel trakter (23 procent) där förekomst av GROT-skörd bedömdes som oklar.

Typen av vattenförekomst på de inventerade trakterna var 31 naturliga vattendrag, 93 påverkade vattendrag, 34 dikessystem och 16 sjöar (Tabell 3). Vattenfårans bredd för vattendrag och dikessystem var ≤ 7 m utom för ett naturligt vattendrag i Norrland som var 80 m brett. Av alla inventerade rinnande vatten hade 71 procent en 1 till 2 m bred vattenfåra. Den inventerade strandlängden var totalt 21,5 km varav 15 km var längs naturliga och påverkade vattendrag, 4,7 km längs dikessystem och 1,7 km längs sjöar (Tabell 3). Av den totala inventerade strandlängden återfanns 22 procent i Götaland, 30 procent i Svealand och 47 procent i Norrland.

Tabell 3. Antal inventerade vattenförekomster (n) i olika klasser och den totala inventerade strandlängden (Σ) per region och sammanlagt.

	Naturliga vattendrag		Påverkade vattendrag		Dikes-system		Sjöar		Totalt	
	n	Σ (m)	n	Σ (m)	n	Σ (m)	n	Σ (m)	n	Σ (m)
Götaland	3	195	25	2 481	13	1 694	6	442	47	4 812
Svealand	5	475	26	3 538	13	2 015	3	460	47	6 488
Norrland	23	2 923	42	5 418	8	977	7	842	80	10 160
Totalt	31	3 593	93	11 437	34	4 686	16	1 744	174	21 460

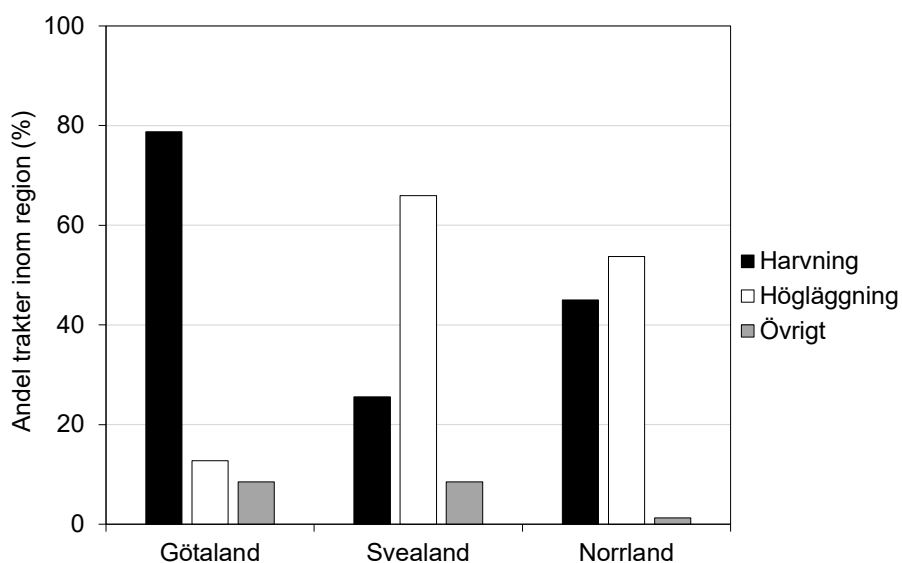
MARKBEREDNINGSMETOD

Utförd markberedning registrerades på 92 procent av alla provytor (454 provytor: markberedning utförd, 37 provytor: ingen markberedning, 4 provytor: uppgift saknas), det vill säga inom 30 m från strandkanten. Kontinuerlig harvning hade utförts på 49 procent av de inventerade trakterna (174 inventerade trakter) och högläggning på 46 procent. För Götaland var harvning vanligare än högläggning och för Svealand var det omvänt (Figur 6). För trakterna i Norrland var det mer jämnt fördelat mellan harvning och högläggning. Det var ingen tydlig skillnad i markegenskaper för den 30 m breda zonen närmast vattenförekomsten för trakter som markberetts genom harvning respektive högläggning (Figur 7).

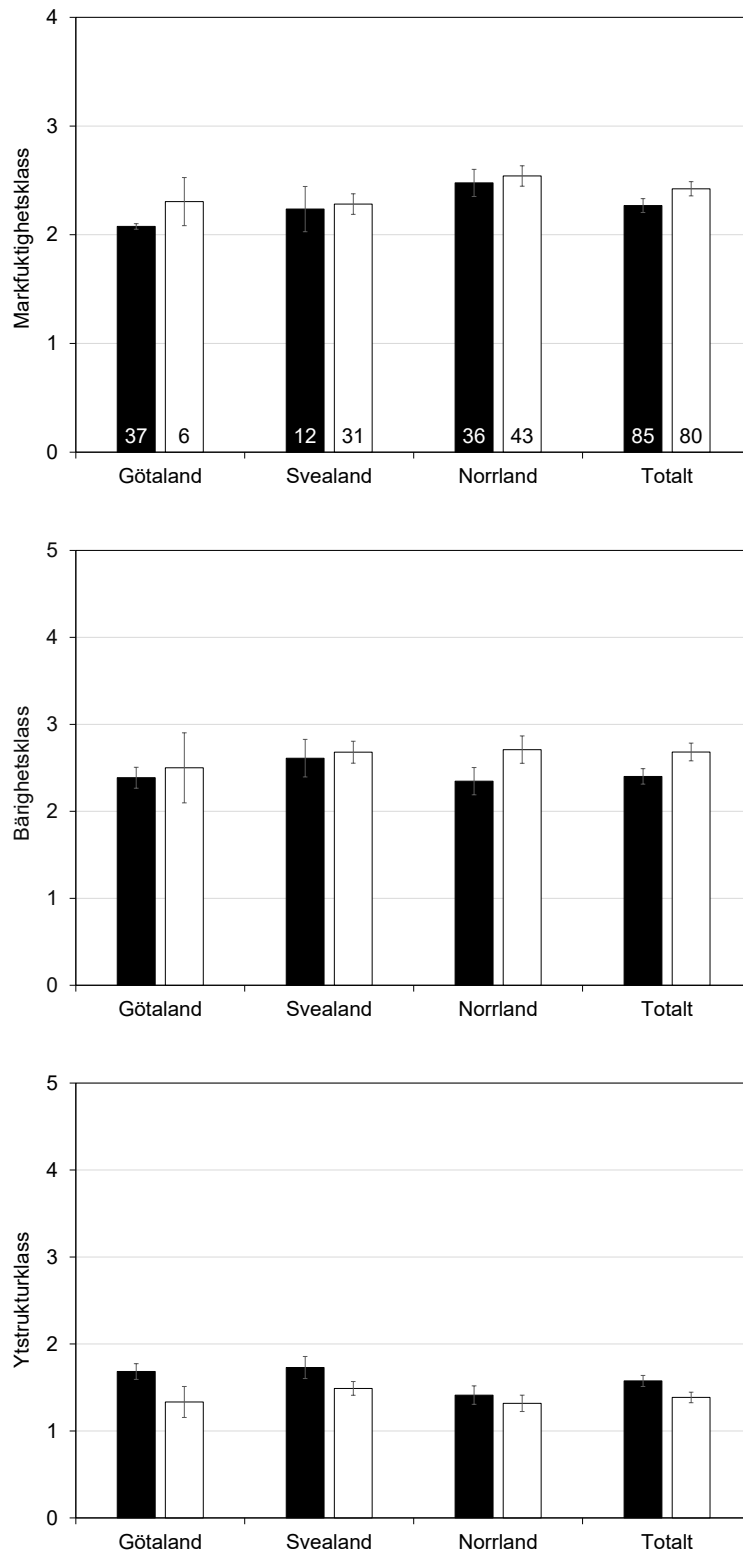
BASMASKIN

Dragande basmaskin hade använts på 72 procent (n=125) av de inventerade trakterna och grävmaskin på 24 procent (n=41). I Götaland användes en dragande basmaskin på 83 procent av trakterna, i Svealand på 51 procent av trakterna och i Norrland på 79 procent av trakterna. Andelen trakter som markberetts med grävmaskin var högst för Svealand (45 procent).

Harvning hade utförts med en dragande basmaskin på 84 av de 85 harvade trakterna. På de 80 höglagda trakterna hade markberedningen utförts med en dragande basmaskin på 40 trakter och med grävmaskin på 39 trakter.



Figur 6. Andel inventerade trakter inom region som markberetts med olika metoder. "Övrigt" inkluderar klasserna intermittent metod, inversmarkberedning och övrigt.

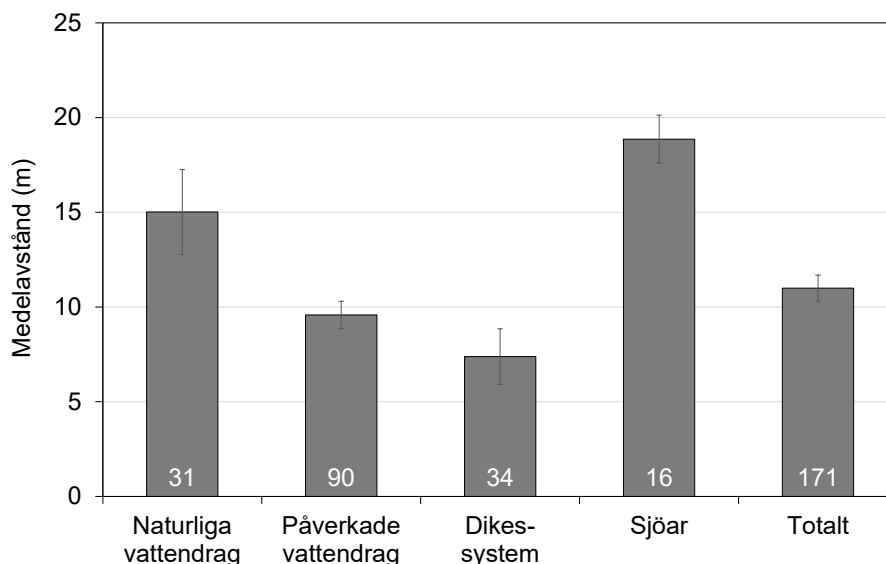


Figur 7. Genomsnittlig markfuktighet-, bärighet- och ytstrukturklass för harvade (svarta staplar) och höglagda (vita staplar) trakter beräknat på traktmedel. Felstaplarna anger ± 1 medelfel. Markfuktighetsklass (4 klasser) avser 10–30 m från strandkant medan bärighet och ytstruktur gäller 0–30 m. Siffrorna i staplarna för markfuktighet visar antalet trakter i varje grupp (gäller för alla tre diagram).

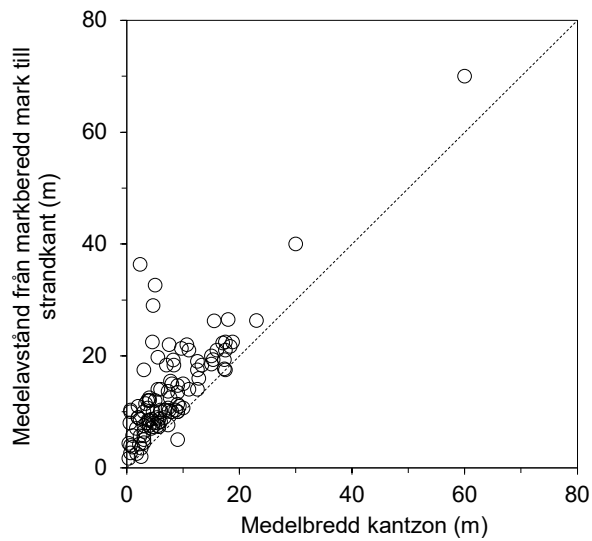
AVSTÅND TILL VATTEN

Avståndet från markberedd mark till strandkant var i medeltal 11,0 m (min-max 0-70 m, n=171) beräknat på traktmedel. För Götaland var medelavståndet 9,8 m (min-max 1,7-26,3 m, n=47) för Svealand 10,1 m (min-max 0-70 m, n=46) och för Norrland 12,2 m (min-max 1-45 m, n=78). Medelavståndet tenderade att vara längst för sjöar följt av naturliga vattendrag, påverkade vattendrag och dikessystem (Figur 8).

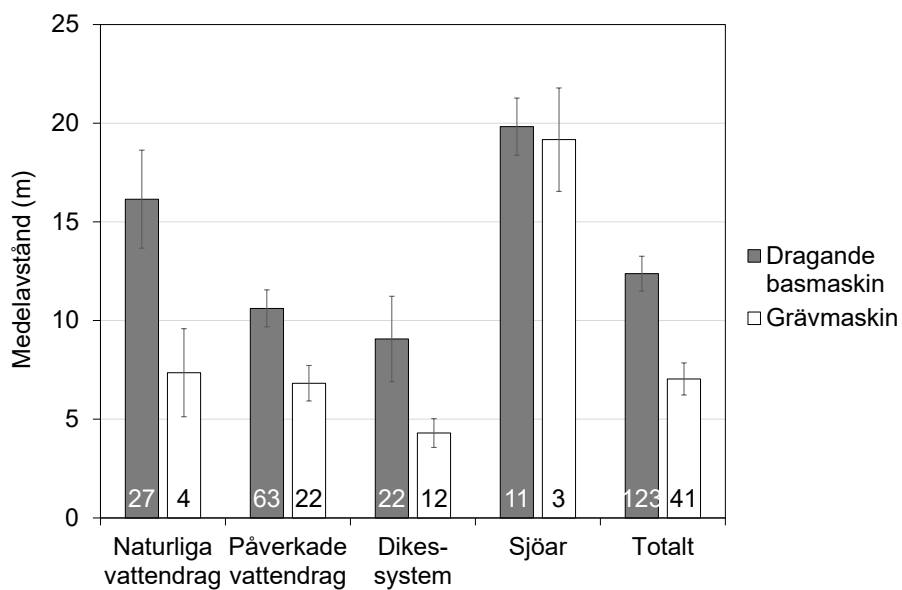
Avståndet från markberedd mark till strandkant var generellt större än kantzonen bredd (Figur 9). Data från en provyta angav att markberedning utförts i kantzonen. På de två andra provytorna på samma hygge hade harvning dock utförts tre respektive en meter från kantzonen som var lämnad utmed 100 procent av strandkanten. På två av de 495 provytorna hade markberedning utförts hela vägen fram till strandkanten. Medelavståndet från markberedd mark till strandkant tenderade att vara större för dragande basmaskin än för grävmaskin (Figur 10).



Figur 8. Genomsnittligt avstånd från markberedd mark till strandkant (beräknat på traktmedel) för olika typer av vattenförekomster samt totalt för alla. Felstaplarna visar ± 1 medelfel och siffrorna nederst i staplarna antalet trakter i gruppen. Min-max avstånd var 1-70 m för naturliga vattendrag, 0-36,3 m för påverkade vattendrag, 2-45 m för dikessystem och 8,7-26,3 m för sjöar. Data från alla tre regioner.



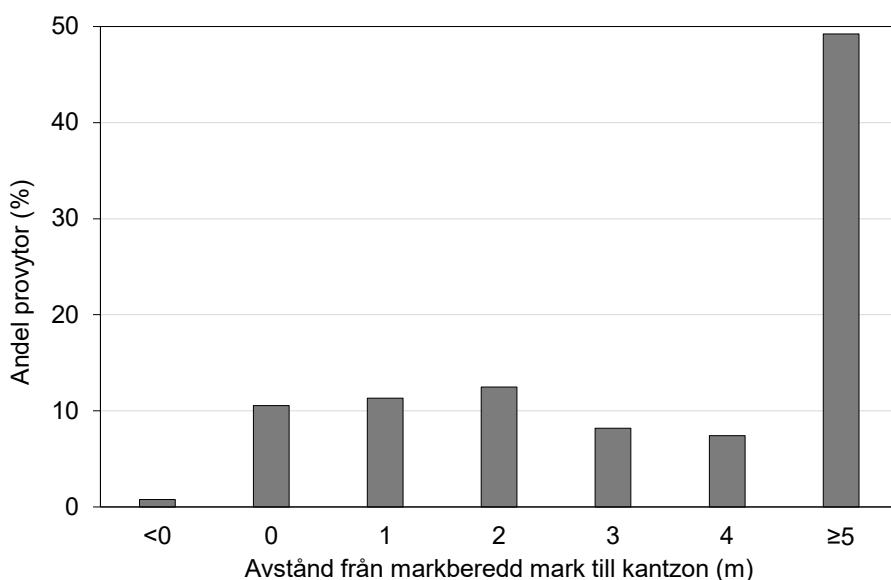
Figur 9. Medelavstånd (traktmedel) från markberedd mark till strandkant i förhållande till kantzons medelbredd på trakter där någon form av kanton lämnats, det vill säga där kantzons medelbredd översteg 0 m (data från 107 trakter).



Figur 10. Medelavstånd från markberedd mark till strandkant (beräknat på traktmedel) för dragande basmaskin respektive grävmaskin för olika typer av vattenförekomster samt totalt för alla. Felstaplarna visar ± 1 medelfel och siffrorna nederst i staplarna antalet trakter i gruppen.

AVSTÅND TILL KANTZON

För provytor med någon form av kantzon (det vill säga då kantzonens bredd var större än 0 m) var avståndet från markberedd mark till kantzon i medeltal 5,9 m (min-max-3-89 m, n=256). På 11 procent av provytorna, fördelade på 21 trakter jämnt spridda mellan regionerna (6–8 trakter per region), hade markberedning utförts hela vägen fram till kantzonen (Figur 11). På 49 procent av provytorna var avståndet från markberedd mark till kantzon fem meter eller mer.



Figur 11. Andel provytor med olika avstånd från markberedd mark till kantzon. Antalet provytor med någon form av kantzon var 256.

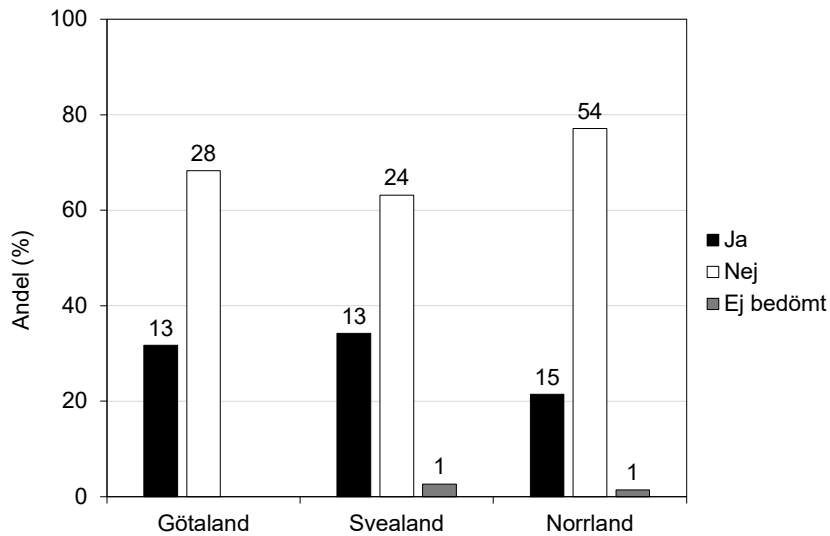
FÖRYNGRING

Plantering hade utförts på 79 procent av alla provytor, det vill säga någonstans inom 30 m från strandkanten. Enbart tall hade planterats på 19 procent av provytorna och enbart gran på 56 procent. På ytor som saknade kantzon registrerades självföryngring på 26 procent av provytorna.

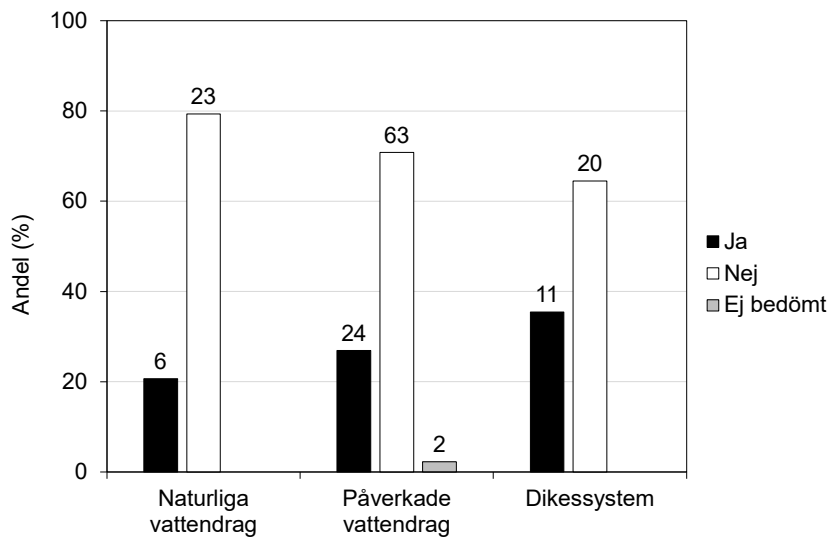
ÖVERFARTER OCH HJULSPÅR

Förekomst av hjulspår och om vattendraget eller diket korsats registrerades för hela den inventerade strandlängden. På 106 trakter med vattendrag eller diken observerades inga överfarter. Totalt registrerades 41 överfarter. Andelen vatten som korsats tenderade att vara något högre för Svealand och Götaland än för Norrland (Figur 12). Dikessystem hade högst andel överfarter och naturliga vattendrag lägst (Figur 13). I 21 av totalt 37 fall var överfarten/bron borttagen vid inventeringen. I sex fall hade en permanent bro byggts och i tio fall var en virkesbro kvarlämnad. Totalt hade sex överfarter gjorts utan att någon bro eller motsvarande byggts. Typ av vattenförekomst där de sex överfarterna gjorts var två naturliga vattendrag, tre påverkade vattendrag och ett dikessystem.

Hjulspår observerades på 30 trakter. Det maximala spårdjupet varierade mellan 0,1 och 0,6 m och spårlängden mellan 2 och 20 m. För Götaland var det mycket svårt att bedöma förekomst av hjulspår på grund av riklig vegetation.



Figur 12. Andel naturliga och påverkade vattendrag samt dikessystem som korsats (Ja), respektive inte korsats (Nej), inom varje region. Siffran ovan varje kolumn anger antalet vattenförekomster i gruppen.



Figur 13. Andel vattenförekomster som korsats via en byggd överfart (Ja) respektive inte korsats (Nej) för naturliga vattendrag, påverkade vattendrag respektive dikessystem. Siffran ovanför varje kolumn anger antalet vattenförekomster i gruppen.

JÄMFÖRELSE MED SKOGSBRUKETS MÅLBILDER

Inventeringsdata från denna studie utvärderades utifrån skogsbrukets målbilder för kantzoner mot sjöar och vattendrag avseende beståndsanläggning (Andersson m.fl., 2013). Enligt Andersson m.fl. (2013) innefattar ”vattendrag” i första hand vattendrag som normalt är vattenförande året runt och diken som utgör del av ett vattendrag, rätade, rensade och fördjupade sträckor. Grävda diken ingår inte. Nedan redovisas inventeringsdata för sjöar och naturliga och påverkade vattendrag (inte dikessystem) utifrån målbilden:

”Där en funktionell kantzon med träd och buskar finns utgör den gräns för var markberedning utförs.” Markberedning hade inte utförts i kantzonen, möjligen med ett undantag (en provyta). Avståndet från markberedd mark till strandkant var generellt större än kantzons bredd (Figur 9).

”På sträckor där kantzon saknas helt eller är smal sker kontinuerlig markberedning (harvning) inte inom cirka 10 meter från sjö eller vattendrag.” Då alla harvade trakter intill sjöar och naturliga och påverkade vattendrag inkluderades var medelavståndet från harvad mark till strandkant mindre än 10 m på 29 av 67 trakter (43 procent). På 14 av de 18 harvade trakterna som saknade kantzon (kantzons medelbredd var 0 m) var medelavståndet från harvad mark till strandkant mindre än 10 m. På harvade trakter med en smal kantzon, här definierad som en kantzon med 0–5 m medelbredd, var medelavståndet från harvad mark till strandkant mindre än 10 m på 25 av 37 trakter (68 procent).

”Fläckmarkberedning, högläggning och sådd/plantering sker inte närmare än cirka 5 meter från sjö eller vattendrag.” På 16 (22 procent) av de 73 höglagda eller på annat sätt fläckmarkberedda trakterna var medelavståndet från markberedd mark till strandkant mindre än 5 m. För 54 trakter var medelavståndet 5 m eller mer och för tre trakter saknades uppgifter. Då en kantzon saknades var medelavståndet mindre än 5 m på 11 av 23 trakter (varav två trakter saknade uppgifter).

”Markberedning leder inte till slamtransport ut i sjö, vattendrag eller dike som ansluter till sjö eller vattendrag.” I denna studie registrerades inte ”slamtransport” (det vill säga transport av eroderad jord), utan endast hjulspår och avstånd från strandkant till markberedd mark. Från dessa data går det inte att avgöra om hjulspår eller markberedning på de inventerade trakterna orsakat transport av eroderad jord till närliggande vatten.

Diskussion

Markberedning kan leda till oönskad miljöpåverkan exempelvis om åtgärden ökar tillförseln av näring, jordpartiklar och kvicksilver till angränsande ytvatten (Munthe & Hultberg, 2004; Österling m.fl., 2010; Eklöf m.fl., 2016). Markberedning hela vägen fram till strandkanten med påföljande plantering av barrträd för skogsproduktion kan även komma att försämra kantzons ekologiska funktion, eftersom olikåldriga flerskiktade kantzoner med en betydande andel lövträd ofta eftersträvas (Skogsstyrelsen, 2019). Jämfört med skogsbrukets målbilder för beståndsanläggning, för kantzoner mot sjöar och vattendrag (Andersson m.fl., 2013), bör harvning och högläggning generellt avslutas längre från vatten baserat på resultaten från studien. I målbilden anges dock ”inom cirka 10 m” och ”närmare än cirka 5 m” vilket ger ett visst tolkningsutrymme. Observera att målbilderna ger exempel på hur god miljöhänsyn i skogsbruket kan uppnås, men utesluter inte att det även finns andra sätt att nå detta mål. Målbilden för kantzoner mot sjöar och vattendrag publicerades ett till två år innan de inventerade trakterna avverkades. Vid denna tidpunkt är det sannolikt att målbilderna ännu inte hunnit implementeras i skogsbruket i så hög utsträckning.

Vilken hänsyn som ska tas till vatten måste bedömas i en större geografisk skala än vattnets karaktär på själva trakten. Förhållandena uppströms och nedströms en trakt är också viktiga att beakta. Av det skälet klassificerades typen av vattenförekomst i studien. Att identifiera ”sjö” var enkelt men att särskilja olika typer av rinnande vatten var svårt eftersom många rinnande vatten i Sverige har påverkats av dikning. Klassificeringen av vattenförekomst innehåller därför en viss osäkerhet. Samma svårigheter möter dock skogsbruket och myndigheter i sin vardag då man ska planera hänsynsåtgärder till vatten. För att kunna utforma hänsynsåtgärderna på bästa sätt bör man studera kartunderlag, exempelvis markfuktkartor, för området/regionen där trakten ligger och även besöka trakten.

Resultaten från studien antyder att avståndet från markberedd mark till strandkant avtog i ordningen sjö, naturligt vattendrag, påverkat vattendrag och dike. Att hänsynen, uttryckt som detta avstånd, tenderade att vara störst för sjö och naturligt vattendrag kan tyckas rimligt. Skogens vatten bildar emellertid stora sammankopplade nätverk och därför kan hänsynen till påverkade vattendrag och dikessystem ses som en del av den övergripande hänsynen till vatten förutom att dessa vattenförekomster hyser värden i sig. Om de zoner som lämnats utan markberedning varit tillräckliga som skydd på de hyggen som inventerats kan inte utläsas från resultaten.

I målbildsrapporten skriver Andersson m.fl. (2013) att ”när det gäller sådd/plantering i anslutning till äldre bestånd, till exempel kantzoner, är konkurrens effekten stor om vatten och näring varför sådd/plantering närmare än 5–10 meter från kantzonen inte är meningsfull, vilket även innebär att det området kan lämnas utan markberedning.” Detta är dock inte utpekade som en målbild. Data från föreliggande studie visar att markberedning utförts närmare än fem meter från kantzonen på ca 50 procent av provytorna.

En betydande andel av trakterna som besöktes var inte markberedda. För södra Sverige kan grönsisplantering vara ett skäl till att hyggen inte markbereds. För mellersta Sverige kan markberedningsaktiviteten ha varit lägre på grund av extra försiktighet efter den

stora branden i Västmanland 2014. Exakta orsaker till att så många hyggen inte var markerade gick dock inte att fastställa, bland annat för att dessa hyggen inte inventerades.

Resultaten gav ingen tydlig bild av om traktens egenskaper påverkat valet av markeringsmetod (Figur 7). Eftersom ett urvalskriterium i studien var att trakten skulle hysa någon form av ytvattenförekomst kan andelen trakter som höglagts förväntas vara högre än genomsnittet. Enligt författarnas erfarenhet kan tillgången till olika maskiner hos olika entreprenörer begränsa valet av markeringsmetod.

Denna studie omfattar ett relativt stort antal trakter och ger troligen en god bild över hur markering nära vatten utförts under den aktuella perioden. Dock finns det osäkerheter som behöver beaktas:

- Eftersom det var flera inventerare finns det sannolikt en viss variation i bedömning trots den genomförda kalibreringsövningen. Inventeringsarbetet delades i huvudsak upp regionvis, vilket kan ha betydelse för jämförelser mellan regioner om det fanns systematiska skillnader i bedömning.
- Alla avstånd (förutom den inventerade strandlängden) bedömdes okulärt eller genom stegning och inte med måttband. Med ett stort material blir förhoppningsvis över- och underskattningar av avstånd slumpmässigt fördelade. Skillnader mellan enskilda klasser, exempelvis för vattendrag av olika bredd, bör dock inte ges för stor vikt utan klassindelningen bör mer ses som en glidande skala.
- Förutsättningarna i fält varierade mellan de olika regionerna. Den rikliga hyggesvegetationen i södra Sverige försvårade bedömningen av grot-skörd, typ av intermittent markeringsmetod, använd basmaskin och förekomst av hjulspår. Avståndsbedömningarna påverkades dock inte.
- En övervägande del av de inventerade vattendragen var sannolikt vattenförande året om, eftersom urvalet av trakter baserades på terrängkartan (1:50 000) (Ågren m.fl., 2015). De minsta vattendragen är troligen dåligt representerade i materialet.

Viktiga mål för hänsynen till ytvatten vid maskinell markering är att undvika ökad tillförsel av näring, eroderad jord och spårmetaller men även att bibehålla eller skapa bra förutsättningar för funktionella kantzoner (se beskrivning i Andersson m.fl. 2013). Man måste avgöra i varje enskilt fall vilken bredd som behövs för att undvika negativ påverkan på angränsande ytvatten, även mot diken. Då är det viktigt att beakta markeringsmetod (kontinuerlig eller punktvis metod) och utförande, markens lutning och känslighet för erosion, bredd på utströmningsområdet med mera. Ett förslag att utgå ifrån är att lämna minst tio meter utan markering längs naturliga och påverkade vattendrag och sjöar. Mot kantzoner föreslås att fem meter lämnas utan markering, räknat från trädens stam, för att bibehålla kantzonens stabilitet. Det behövs dock ytterligare kunskap om hur maskinell markering påverkar tillförseln av näring, eroderad jord och spårmetaller för att mer precist kunna fastställa hur nära sjöar, vattendrag och diken maskinell markering kan utföras utan att ge oönskade effekter i ytvatten.

Referenser

- Andersson, E., Andersson, M., Birkne, Y., Claesson, S., Forsberg, O., Lundh, G., 2013. Målbilder för god miljöhänsyn. En delleverans från Dialog om miljöhänsyn. Skogsstyrelsen Rapport 5.
- Andersson, E., Andersson, M., Blomquist, S., Forsberg, O., Lundh, G., 2016. Nya och reviderade målbilder för god miljöhänsyn – Skogssektorns gemensamma målbilder för god miljöhänsyn vid skogsbruksåtgärder. Skogsstyrelsen Rapport 12.
- Berg, S., 2006. Terrängtypsschema för skogsarbete. Skogforsk Handledning.
- Eklöf, K., Lidskog, R., Bishop, K., 2016. Managing Swedish forestry's impact on mercury in fish: Defining the impact and mitigation measures. *Ambio* 45: 163-174.
- Luoranen, J., Viiri, H., 2012. Soil preparation reduces pine weevil (*Hylobius abietis* (L.)) damage on both peatland and mineral soil sites one year after planting. *Silva Fennica* 46: 151-161.
- Munthe, J., Hultberg, H., 2004. Mercury and methylmercury in runoff from a forested catchment – concentrations, fluxes, and their response to manipulations. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 4, 607-618.
- Piirainen, S., Finér, L., Mannerkoski, H., Starr, M., 2007. Carbon, nitrogen and phosphorus leaching after site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Forest Ecology and Management* 243: 10-18.
- Piirainen, S., Finér, L., Mannerkoski, H., Starr, M., 2009. Leaching of cations and sulphate after mechanical site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Geoderma* 149: 386-392.
- Rappe George, M.O., Hansson, L.J., Ring, E., Jansson, P.E., Gärdenäs, A.I., 2017. Nitrogen leaching following clear-cutting and soil scarification at a Scots pine site – A modelling study of a fertilization experiment. *Forest Ecology and Management* 385: 281-294.
- Ring, E., Högbom, L., Jansson, G., 2013. Effects of previous nitrogen fertilization on soil-solution chemistry after final felling and soil scarification at two nitrogen-limited forest sites. *Canadian Journal of Forest Research* 43: 396-404.
- Skogsstyrelsen, 2019. Skogsvårdslagstiftningen Gällande regler 1 april 2019.
- Sörensen, R., Johansson, F., Johannesson, T., Eliasson, L., Hajek, J. och Bergkvist, I. 2019. Utvärdering av markberedningsmetoden "pytsning". Skogforsk Arbetsrapport 1011-2019.
- Ågren, A.M., Lidberg, W., Ring, E., 2015. Mapping temporal dynamics in a forest stream network—implications for riparian forest management. *Forests* 6: 2982-3001.
- Örlander, G., Gemmel, P., Hunt, J., 1990. Site preparation: A Swedish overview. Ministry of Forests, Research Branch, British Columbia, FRDA Report 105.

- Örlander, G., Nilsson, U., 1999. Effect of reforestation methods on pine weevil (*Hyllobius abietis*) Damage and seedling survival. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 341-354.
- Österling, M.E., Arvidsson, B.L., Greenberg, L.A., 2010. Habitat degradation and the decline of the threatened mussel *Margaritifera margaritifera*: influence of turbidity and sedimentation on the mussel and its host. *Journal of Applied Ecology* 47: 759-768.