

Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder



© Skogsstyrelsen, juni 2019

FÖRFATTARE

Andreas Drott
Stefan Anderson
Hillevi Eriksson

OMSLAGSFOTO

Stefan Andersson, vä Rikard Flyckt, hö

GRAFISK PRODUKTION

Bo Persson

UPPLAGA

Finns endast som pdf-fil för egen utskrift

Innehåll

Förord	4
Begrepp	5
Syfte och avgränsning	6
Uttag av grot och återföring av aska påverkar trädens tillväxt	7
Påverkan på träd tillväxt vid uttag av grot i föryngringsavverkning eller gallring	7
Påverkan på träd tillväxt vid tillförsel av aska	8
Uttag av grot påverkar kvävebalansen	9
Uttag av grot påverkar den biologiska mångfalden	11
Uttag av grot påverkar skogsmarkens närings- och försurningsstatus	14
Förlust av näringsämnen i skogsmark	14
Försurning av skogsmark	16
Försurning av ytvatten	18
Sydligaste och sydvästra Sverige är särskilt utsatt för försurning	19
Återföring av aska påverkar skogsmarkens närings- och försurningsstatus	21
Näringsämnen	21
Försurningsstatus i skogsmark och ytvatten	22
Återföring av aska kan påverka markens innehåll av tungmetaller och organiska miljögifter	24
Massbalans för metaller i aska	24
Organiska miljögifter i aska och mark	24

Förord

Den här rapporten utgör ett kunskapsunderlag för regler och rekommendationer vid uttag av grenar och toppar (grot) som skogsbränsle.

Regelverk om uttag av grot har funnits sedan år 1985 och sedan år 2001 har Skogsstyrelsen utfärdat detaljerade rekommendationer kring skogsbränsleuttag och näringskompensation. Den här rapporten samt en parallell rapport som redogör för regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder, utgör tillsammans den senaste revisionen av Skogsstyrelsens rekommendationer, och ersätter Skogsstyrelsens meddelande 2 2008.

Skogsstyrelsen anser att biobränsle från skogen har en betydelsefull roll som förnybar resurs i ett samhälle med låg klimatpåverkan. Utgångspunkten för Skogsstyrelsens rekommendationer är att uttag av skogsbränsle och kompensationsåtgärder ska kunna ske utan att möjligheterna att uppnå andra miljö- och samhällsmål påverkas nämnvärt.

Jönköping i maj 2019

Herman Sundqvist
Generaldirektör, Skogsstyrelsen

Andreas Drott
Markspecialist, Skogsstyrelsen

Begrepp

Anjon: negativt laddad jon.

Bas: kemisk förening som kan ta upp vätejoner.

Baskatjoner: icke sura positivt laddade joner. Avser oftast kalcium, magnesium och kalium.

Försurning: tillskott av en vätejon till ett system, tex skogsmark, utan att en bas tillsätts, alternativt bortförel av en bas från systemet utan att basen åtföljs av motsvarande mängd vätejoner.

Grot: grenar och toppar.

Katjon: positivt laddad jon.

pH-värde: ett mått på surhet. pH-värdet definieras som negativa logaritmen för vätejonaktiviteten. Ett lägre pH-värde innebär en surare lösning, med högre aktivitet av vätejoner.

Syra: kemisk förening som kan avge vätejoner.

Syraneutraliserande förmåga: förmåga att ta upp (neutralisera) vätejoner. Den syraneutraliserande förmågan och de buffertsystem som finns i skogsmark eller ett vattendrag, avgör markens eller vattnets förmåga att stå emot tillförel av vätejoner utan att detta medför en förändring av pH-värdet.

Vittring: nedbrytning (upplösning) av mineral och bergarter. Vittring sker både genom fysikaliska och kemiska processer. Vid kemisk vittring konsumeras vätejoner och näringsämnen frigörs.

Syfte och avgränsning

Skogsstyrelsen har till uppgift att verka för att landets skogar sköts på ett sådant sätt att de skogspolitiska mål som beslutats av riksdagen uppnås. I Skogsstyrelsens uppgift ingår också att verka för att det generationsmål för miljöarbetet och de miljö kvalitetsmål som riksdagen har fastställt nås och att vid behov föreslå åtgärder för miljöarbetets utveckling¹.

Den skogspolitik som beslutades av riksdagen 1993 kännetecknas av två jämställda mål: ett miljömål och ett produktionsmål². Riksdagen har 1999 och 2005 beslutat om nationella miljö kvalitetsmål³.

Uttag av skogsbränsle bidrar till uppfyllelsen av miljö kvalitetsmålet ”Begränsad klimatpåverkan”. Biobränslen från skogen och skogsindustrin bidrar till en stor del av Sveriges energiförsörjning och minskar behovet av fossila bränslen⁴. Skogsstyrelsen anser att biobränsle från skogen har en betydelsefull roll som förnybar resurs i ett samhälle med låg klimatpåverkan. Samtidigt kan uttag av skogsbränsle och kompensationsåtgärder inverka negativt på uppfyllelsen av andra miljö- och samhällsmål. Bland annat miljö kvalitetsmålen ”Levande skogar”, ”Bara naturlig försurning” och ”Ett rikt växt och djurliv” kan påverkas negativt.

Syftet med Skogsstyrelsens rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder är att ange vilken hänsyn till andra miljö- och samhällsmål som bör tas vid uttag av skogsbränsle och näringskompensation. Syftet med detta kunskapsunderlag är att på ett lättillgängligt sätt sammanställa aktuell kunskap inom några områden som är avgörande för Skogsstyrelsens rekommendationer.

Denna rapport är baserad på nuvarande kunskap, uppdaterad till och med september 2018. Kunskapsunderlaget berör uttag av avverkningsrester, skogsbränslegallring och kompensationsåtgärder. Stubbskörd ingår däremot inte. Målgrupp är i första hand personer inom och utanför Skogsstyrelsen som arbetar med skogsbränslefrågor. I kunskapsunderlaget refereras i första hand till vetenskapliga publikationer men även till tidigare kunskapssammanställningar.

Kunskapsunderlaget är relativt kortfattat beskrivet och tyngdpunkten ligger på den senaste kunskapen. Den som vill fördjupa sig mer hänvisas till tidigare kunskapssammanställningar^{5 6 7}.

¹ Förordning 2009:1393 med instruktion för Skogsstyrelsen.

² Regeringens proposition 1992/93:226.

³ Regeringens propositioner 1997/98:145 och 2004/05:150.

⁴ Skogsstyrelsens klimatpolicy, 2009-11-19.

⁵ De Jong J. m fl 2012. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram inom Skogsbränsle och Miljö 2007-2011. Energimyndigheten, ER 2012:08.

⁶ De Jong J. m fl 2018. Miljöpåverkan av skogsbränsleuttag. En syntes av forskningsläget baserat på Bränsleprogrammet hållbarhet 2011-2016. Energimyndigheten, ER 2018:02.

⁷ Egnell G. m fl 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen rapport 1 1998.

Uttag av grot och återföring av aska påverkar trädens tillväxt

Påverkan på träd-tillväxt vid uttag av grot i föryngringsavverkning eller gallring

Uttag av grenar och toppar (grot) i föryngringsavverkning medför tillväxtnedsättningar i nästa skogsgeneration för gran, men inte för tall. Uttag av grot kan underlätta plantetableringen vilket kan motverka produktionsförluster.

Uttag av grot i gallring medför tillväxtnedsättningar för både gran och tall.

Sammanställningar av resultat från nordiska försök som utvärderats 5-35 år efter plantering^{8 9} har visat att tillväxtnedsättningar uppstår för gran vid uttag av grenar och toppar (grot) och stamved i föryngringsavverkning, jämfört med uttag av enbart stamved. Tillväxtnedsättningarna motsvarar i medeltal 2 års medeltillväxt. För tall visar inte de sammantagna resultaten på tillväxtförluster vid grot-uttag i föryngringsavverkning, jämfört med uttag av enbart stamved. Vid grot-uttag i gallring visar dock resultaten på tillväxtförluster för både gran och tall¹⁰.

Tillväxtnedsättningarna kan motverkas av bättre plantetablering där grot tagits ut. Effekterna varierar dock en hel del mellan olika försökslokaler och plantetablering påverkas även av andra faktorer, tex val av markberedningsmetod¹¹. I försöken har markberedning och plantering i de flesta fall skett samma år oavsett om grot tagits ut eller ej. Uttag av grot medger i praktiken att föryngringsarbetet kan komma igång tidigare vilket kan motverka eventuella produktionsförluster.

De flesta försök med skogsbränsleuttag har inneburit att all grot avlägsnats från försöksytorna. I praktiken lämnas normalt 20-40 % av groten kvar av tekniska skäl och av hänsyn till den biologiska mångfalden. De tillväxtnedsättningar som uppmäts är sannolikt främst en effekt av ett lägre utbud av växttillgängligt kväve. I försöken har man ofta undvikit att köra med tunga maskiner, dvs en potentiell effekt av markkompaktering och rotskador till följd av att man saknar ris att köra på i behandlingen där grot tagits ut, är inte inkluderad.

⁸ Egnell G. 2017. A review of Nordic trials studying effects of biomass harvest intensity on subsequent forest production. *Forest Ecology and Management* 383:27-36.

⁹ Egnell G. m fl 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen rapport 1 1998.

¹⁰ Egnell G. m fl 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen rapport 1 1998.

¹¹ Egnell G. 2017. A review of Nordic trials studying effects of biomass harvest intensity on subsequent forest production. *Forest Ecology and Management* 383:27-36.

Påverkan på träd tillväxt vid tillförsel av aska

Asktillförsel på fastmark ger varierande effekter på tillväxt. Det finns en tendens till ökad tillväxt under ca 10 år efter asktillförsel på bättre boniteter. På svaga fastmarker finns en tendens till minskad tillväxt efter asktillförsel, medan påverkan på tillväxt tenderar att utebli på mellanboniteter.

På dikad torvmark medför asktillförsel ofta en ökad tillväxt.

Resultat från 10 fältförsök på fastmark med yngre eller medelålders tall- och granbestånd i olika delar av landet, som utvärderats 5-15 år efter asktillförsel, visade inte på några signifikanta effekter av asktillförsel på tillväxt för något av de enskilda försöken. Däremot fanns ett positivt samband mellan tillväxtökning efter asktillförsel och bonitet. Försök med en bonitet över ca 6-7 m³sk/ha, år (eller en kol/kväve-kvot i humuslagret under ca 30) uppvisade en positiv tillväxtrespons på upp till 10 %. På svaga marker (kol/kväve-kvot i humuslagret över ca 40) uppmättes däremot minskad tillväxt efter asktillförsel¹². Resultaten visar alltså att påverkan på tillväxt av asktillförsel på fastmark är varierande, men att det finns tendenser till ökad tillväxt på bättre boniteter och minskad tillväxt på låga boniteter¹³.

Tidigare sammanställningar¹⁴ har visat på ett liknande mönster. Aska kan ge en tillväxtökning på upp till 15 % under ca 10 år på bördigare fastmarker, men effekten är ofta inte signifikant för enskilda försök till följd av stor variation mellan provytor. Den förklaring som oftast har framförts är att den pH-höjning som askan medför ökar utbudet av växttillgängligt kväve på bördigare marker, på grund av ökad nedbrytning och kväveomsättning. Det kan också vara så att tillskottet av andra näringsämnen (framför allt fosfor) påverkar tillväxten positivt parallellt med kvävet.

På torvmark är träd tillväxten ofta begränsad av tillgången på fosfor och kalium. Askans innehåll av fosfor och kalium gör att en ökad tillväxt ofta kan förväntas efter asktillförsel på dikad torvmark. Resultat från gödslingsförsök med yngre tallskog på dikad torvmark har visat på en ökad tillväxt i storleksordningen 1-3 m³sk/ha, år under minst 20 år efter tillförsel av aska¹⁵ ¹⁶. Hur stor effekten blir beror bland annat på hur produktiv torvmarken är och hur stort torvdjupet är, men också på skogstillståndet före asktillförsel. Tillförsel av aska med högt innehåll av fosfor och kalium i gallringsskog på dikad torvmark kan förväntas medföra en betydligt ökad tillväxt.

¹² Jacobsson S. m fl 2014. Is tree growth in boreal coniferous stands on mineral soils affected by the addition of wood ash? *Scandinavian Journal of Forest Research* 29:675-685.

¹³ De Jong J. m fl 2018. Miljöpåverkan av skogsbränsleuttag. En syntes av forskningsläget baserat på Bränsleprogrammet hållbarhet 2011-2016. Energimyndigheten, ER 2018:02.

¹⁴ Egnell G. m fl 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen rapport 1 1998.

¹⁵ Sikström U., Almqvist C., Jansson G. 2010. Growth of *Pinus sylvestris* after the application of wood ash or P and K fertilizer to a peatland in southern Sweden. *Silva Fennica* 44:411-425.

¹⁶ Hökkä H., Repola J., Moilanen M. 2012. Modelling volume growth response of young scots pine (*Pinus sylvestris*) stands to N, P, and K fertilization in drained peatland sites in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 42: 1359-1370.

Uttag av grot påverkar kvävebalansen

Uttag av grot medför en nettoförlust av kväve från bestånd i norra och mellersta Sverige.

Uttag av grot minskar tillgången på kväve och gör att etablering av hyggesvegetation går snabbare. Detta minskar risken för utlakning av kväve efter föryngringsavverkning.

Uttag av grot medför, jämfört med uttag av endast stamved, att mer kväve förs bort från skogsmarken. Detta påverkar förrådet av kväve i marken.

Resultat från fältförsök har tidigare visat att förrådet av kväve i marken (i humuslager och/eller mineraljord) är mindre efter grot-uttag, upp till 14-18 år efter föryngringsavverkning, på lokaler med gran i norra Sverige^{17 18}. Uppföljning av en del av dessa fältförsök (i både norra och södra Sverige) upp till 40 år efter uttag av grot har visat på generellt totalt mindre kväveförråd i marken. Effekterna varierar dock i humuslagret och mineraljorden¹⁹.

Mellan åren 2000-2013 minskade det våta nedfallet av oorganiskt kväve över landet med ca 25-30 %²⁰. Massbalanser för markens kväveförråd har gjorts med de ingående komponenterna nedfall, tillförsel genom kvävefixering, bortförsel genom skörd, förlust genom utlakning, förlust genom denitrifikation och ackumulation i biomassa och mark. I ett scenario där nedfallet minskat med ca 30 % jämfört med år 2000 och där grot-uttag görs i föryngringsavverkning, har massbalanserna visat att nettot för kväve i mark typiskt blir negativt i Svealand och Norrland. Underskottet är i genomsnitt 1,3 – 1,4 kg N/ha, år²¹. Med en omloppstid på 100 år motsvarar detta 130 – 140 kg kväve per hektar.

Arealen med uttag av grot i Svealand och Norrland har efter år 2010 legat i storleksordningen 20 000 ha per år. Efter 2010 har arealen som kvävegödsling i Sverige legat i storleksordningen 25 000 – 80 000 ha per år. Merparten (minst 70 %) av kvävegödslingen sker i norra Sverige och givan är normalt 150 kg kväve per hektar och gödslingstillfälle. Sett till hela regionen Svealand och Norrland är alltså tillförseln av kväve genom kvävegödsling större än nettoförlusten på grund av uttag av grot.

I södra och särskilt sydvästra Sverige kan förlusterna av kväve från marken genom utlakning efter avverkning uppgå till flera tiotals kg per hektar och år²².

¹⁷ Björkroth G. 1983. Inverkan av hyggesavfall på kvävet och den organiska substansen i några 14-18 år gamla försöksplanteringar med gran. SLU, Inst. för skogsskötsel, rapport nr 9.

¹⁸ Olsson B. A. m fl 1996. Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *Forest Ecology and Management* 82:19-32.

¹⁹ Olsson B.A. m fl 2015. Effekter av grotuttag på markens näringsförråd och försurningen av mark och vatten. Slutrapport till Energimyndigheten, projekt 35214-1.

²⁰ Naturvårdsverket 2015. Fördjupad utvärdering av miljö kvalitetsmål: Bara naturlig försurning. Dnr NV 018-46-14.

²¹ Akselsson C. och Westling O. 2005. Regionalized nitrogen budgets in forest soils for different deposition and forestry scenarios in Sweden. *Global Ecology and Biogeography* 14:85-95.

²² Akselsson C. m fl 2004. Regional mapping of nitrogen leaching from clearcuts in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 202:235-243.

Viktiga faktorer för hur mycket kväve som utlakas efter avverkning är hur stor bildningen av nitrat är²³, avrinningens storlek och hur mycket vegetation det finns som kan ta upp kväve. Uttag av grenar och toppar minskar tillgången på kväve och gör att etableringen av hyggesvegetation går snabbare^{24 25 26}, vilket kan minska kväveutlakningen under hyggesfasen.

²³ Magnusson T. 2009. Skogsbruk, mark och vatten. Skogsstyrelsen, skogsskötselserien nr 13.

²⁴ Rosén K., Lundmark-Thelin A. 1987. Increased nitrogen leaching under piles of slash – a consequence of modern forest harvesting techniques. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2:21-29.

²⁵ Ring E., Jacobson S., Jansson G., Högbom L. 2017. Effects of whole-tree harvest on soil-water chemistry at five conifer sites in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 47:349-356.

²⁶ Ring E., Högbom L., Nohrstedt H.-Ö., Jacobson S. 2015. Soil and soil-water chemistry below different amounts of logging residues at two harvested forest sites in Sweden. *Silva Fennica* 49 no 4 article id 1265.

Uttag av grot påverkar den biologiska mångfalden

Ett stort antal organismer nyttjar klen död ved.

Uttag av grot medför förlust av substrat, men också en förändrad miljö på hygget, med mer solexponering, mindre variation och mindre skydd.

Det har bedömts att uttag av 70 % av mängden grot från gran kan göras på 50 % av hyggena utan någon stor påverkan på långsiktig överlevnad av svampar, lavar och skalbaggar. Uttag av grot från tall och lövträd behöver däremot begränsas mer.

Det är viktigt att ökat uttag av grot inte medför negativ påverkan på lämnad miljöhänsyn.

Många arter är beroende av någon form av död ved och ett stort antal organismer nyttjar klen död ved, exempelvis grot. De organismgrupper som studerats är framför allt vedsvampar, mossor, lavar och skalbaggar. Det är få rödlistade arter som är knutna till grot från gran. Några rödlistade arter är knutna till grot från tall, och ett flertal rödlistade arter är knutna till grot från lövträd^{27 28}.

I en modelleringsstudie av ved- och barklevande svampar, lavar och skalbaggar gjordes bedömningen att ett uttag av 70 % av mängden grot från gran på 50 % av hyggena, endast i liten utsträckning påverkade arternas regionala långsiktiga överlevnad. En faktor som bidrar till detta är att det moderna skogsbruket medfört en ökad produktion av klen död ved²⁹. Slutsatsen att grot från gran kan tas ut på upp till 50 % av hyggena utan att riskera långsiktig överlevnad av svampar, lavar och skalbaggar dras även i Energimyndighetens skogsbränslesyntes³⁰. Uttag av grot från tall och framför allt löv bör däremot begränsas mer³¹.

Förutom att uttag av grot medför förlust av klen död ved, medför detta även en ökad solexponering, minskad strukturell variation och mindre skydd på hygget.

²⁷ De Jong J. m fl 2012. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram inom Skogsbränsle och Miljö 2007-2011. Energimyndigheten, ER 2012:08.

²⁸ De Jong J. m fl 2018. Miljöpåverkan av skogsbränsleuttag. En syntes av forskningsläget baserat på Bränsleprogrammet hållbarhet 2011-2016. Energimyndigheten, ER 2018:02.

²⁹ Dahlberg A. m fl 2011. Modelled impact of Norway spruce logging residue extraction on biodiversity in Sweden. Canadian Journal of Forest Research 41:1220-1232.

³⁰ De Jong J. m fl 2018. Miljöpåverkan av skogsbränsleuttag. En syntes av forskningsläget baserat på Bränsleprogrammet hållbarhet 2011-2016. Energimyndigheten, ER 2018:02.

³¹ De Jong J. m fl 2012. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram inom Skogsbränsle och Miljö 2007-2011. Energimyndigheten, ER 2012:08.

Detta påverkar bland annat marklevande skalbaggar^{32 33}, men även smågnagare³⁴. Sannolikt är de strukturella förändringar och den ökade solexponering som uttag av grot innebär negativa för vissa arter, men positiva för andra.

Vilka kvaliteter som finns i det omgivande skogslandskapet är sannolikt viktigt för vilka effekter uttag av grot får på den biologiska mångfalden. Resultat från en studie av vedlevande svampar i Finland³⁵ visade att svampsamhället skilde sig åt mellan tall- och grandominerad skog, mellan naturskog och brukad skog och mellan död ved av olika diameterklasser. De flesta sällsynta arter hittades bara i naturskog. Det substrat som mest påverkade mångfalden av vedlevande svampar var grövre död ved, men det var viktigt att det också fanns tillräcklig tillgång på klen död ved i landskapet. Vid ett ökat uttag av grot bedömdes det finnas en risk att arter som lever på klen död ved kan bli rödlistade³⁶. Resultat från en studie av vedlevande skalbaggar visade att det fanns färre arter och en annan artsammansättning på hyggen jämfört med mogen brukad skog och reservat. Det var ingen skillnad i totalt antal individer per hektar, i samhällets sammansättning eller i artrikedom mellan mogna brukade skogar och reservat, men antalet rödlistade individer per hektar var högre i reservat³⁷. Resultat från en landskapsstudie visade att både fler arter och ett högre antal individer av vedlevande skalbaggar förekom i landskap med en större andel gammal skog³⁸.

En viktig kvalitet hos grenar och toppar på hyggen är att de är solexponerade. Slutna, skuggiga skogar dominerar ofta i omgivande landskap. För arter som är beroende av solexponering är därför grot på hyggen ett viktigt substrat.

Vid uttag av skogsbränsle i gallring finns en möjlighet att rikta detta mot bestånd med behov av naturvårdande skötsel. Sådana gallringar kan ha en positiv effekt på biologisk mångfald i bestånd där igenväxning är ett problem. Samtidigt är det viktigt att behålla variation i landskapet, så att en viss andel tät yngre skog också förekommer, och ger upphov till klen död ved^{39 40}. Skörd av sly kan i många fall gynna biologisk mångfald⁴¹.

³² Gunnarsson B. m fl 2004. Effects of logging residue removal on ground-active beetles in temperate forests. *Forest Ecology and Management* 201:229-239.

³³ Nittérus K. och Gunnarsson B. 2006. Effect of microhabitat complexity on the local distribution of arthropods in clear-cuts. *Environmental Entomology* 35:1324-1333.

³⁴ Ecke F. m fl 2002. Population dynamic of small mammals in relation to forest age and structural habitat factors in northern Sweden. *Journal of Applied Ecology* 39:781-792.

³⁵ Juutilainen K. m fl 2014. The effects of forest management on wood-inhabiting fungi occupying dead wood of different diameter fractions. *Forest Ecology and Management* 313:283-291.

³⁶ Juutilainen K. m fl 2014. The effects of forest management on wood-inhabiting fungi occupying dead wood of different diameter fractions. *Forest Ecology and Management* 313:283-291.

³⁷ Hjältén J. m fl 2012. Micro and macro-habitat associations in saproxylic beetles: implications for biodiversity management. *PLoS ONE* 7:e41100.

³⁸ Olsson J. m fl 2012. Landscape and substrate properties affect species richness and community composition of saproxylic beetles. *Forest Ecology and Management* 286:108-120.

³⁹ Nordén B. m fl 2004. Relative importance of coarse and fine woody debris for the diversity of wood-inhabiting fungi in temperate broadleaf forests. *Biological Conservation* 117:1-10.

⁴⁰ Götmark F. m fl 2005. Evaluating partial cutting in broadleaved temperate forests under strong experimental control: short-term effects on herbaceous plants. *Forest Ecology and Management* 214:124-141.

⁴¹ Ebenhard T. m fl 2017. Environmental effects of brushwood harvesting for bioenergy. *Forest Ecology and Management* 383:85-98.

En risk är att insekter lägger ägg i grot-högar på hygget eller vid avlägg, och att äggen inte hinner utvecklas, utan följer med när högen tas ut⁴². Huvuddelen av insekterna i en grot-hög tycks dock finnas i det översta lagret och om detta lämnas kvar kan det göra stor skillnad⁴³. Detta kan vara särskilt viktigt att beakta när naturvårdande huggningar av lövträd görs.

Analysen visar att det är viktigt att ökat skogsbränsleuttag inte leder till försämrade miljöhänsyn och att tidigare lämnad hänsyn inte skadas⁴⁴.

⁴²Jonsell, M., Hansson, J., Wedmo, L., 2007. Diversity of saproxylic beetle species in logging residues in Sweden - comparisons between tree species and diameters. *Biological Conservation* 138, 89-99.

⁴³Hedin, J., Isacson, G., Jonsell, M., Komonen, A., 2008. Forest fuel piles as ecological traps for saproxylic beetles in oak. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23, 348-357.

⁴⁴De Jong J. m fl 2018. Miljöpåverkan av skogsbränsleuttag. En syntes av forskningsläget baserat på Bränsleprogrammet hållbarhet 2011-2016. Energimyndigheten, ER 2018:02.

Uttag av grot påverkar skogsmarkens närings- och försurningsstatus

Förlust av näringsämnen i skogsmark

Uttag av grot medför en nettoförlust av utbytbara baskatjoner (kalcium, magnesium och kalium) och sannolikt även av fosfor, från skogsmark.

För att bedöma hur uttag av skogsbiomassa påverkar skogsmarkens näringsutbud på längre sikt är man på grund av de långa omloppstiderna i skogsbruket hänvisad till modeller, så kallade massbalanser. I en massbalans för markens utbytbara baskatjoner (kalcium, magnesium och kalium) ingår komponenterna biomassa-uttag, läckage, vittring och atmosfäriskt nedfall. Biomassa-uttag och läckage ger förluster av utbytbara baskatjoner från skogsmarken, medan vittring och nedfall ger tillskott.

Massbalanser för markens utbytbara baskatjoner har gjorts för olika intensitet av biomassa-uttag på fastmark i Sverige. För kalcium och magnesium var förlusterna från marken större än tillskotten, för både tall och gran, vid uttag av enbart stamved, eller stamved och grot, i föryngringsavverkning, i större delen av landet. Förlusterna var större för gran och vid uttag av både stamved och grot. För kalium var förlusterna större än tillskotten i stora delar av Sverige vid uttag av enbart stamved, eller stamved och grot i föryngringsavverkning för gran, men inte för tall⁴⁵ ⁴⁶.

Baserat på massbalanserna är den årliga förändringen i markens förråd av utbytbara baskatjoner vid uttag av stamved och grot i granskog i medeltal 2-4 % av förrådet av utbytbara baskatjoner. Utifrån detta pekar författarna på att det finns risk att skogsmarken på sikt utarmas på utbytbara baskatjoner vid grot-uttag, om inte näringskompensation genomförs⁴⁷.

Baserat på Akselsson m fl 2007⁴⁸ har Skogsstyrelsen bedömt att gränsen där uttag av biomassa innebär en nettoförlust av baskatjoner från skogsmark går vid ett grot-uttag som motsvarar ett halvt ton torrsbstans (TS) aska per omloppstid. Denna bedömning är ett grovt genomsnitt och det finns sannolikt marker där enbart stamvedsuttag kan medföra en förlust av baskatjoner, men detta bedöms vara så pass ovanligt att det inte motiverar näringskompensation.

Det finns osäkerheter i massbalanserna, bland annat när det gäller hastigheten på vittring, storlek på utlakning, halter av baskatjoner i olika träddelar och förråd av baskatjoner i mark⁴⁹. Ny kunskap har de senaste åren tillkommit om

⁴⁵ Akselsson C. m fl 2007. Nutrient and carbon budgets in forest soils as decision support in sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 238:167-174.

⁴⁶ Akselsson C. m fl 2007. Impact of harvest intensity on long-term base cation budgets in Swedish forest soils. *Water Air and Soil Pollution* 7:201-210.

⁴⁷ Akselsson C. m fl 2007. Impact of harvest intensity on long-term base cation budgets in Swedish forest soils. *Water Air and Soil Pollution* 7:201-210.

⁴⁸ Akselsson C. m fl 2007. Impact of harvest intensity on long-term base cation budgets in Swedish forest soils. *Water Air and Soil Pollution* 7:201-210.

⁴⁹ Egnell G. m fl 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen rapport 1 1998.

vittringshastigheter, vilket gör att osäkerheten minskat för denna post i balansen (se även avsnittet Förurning av skogsmark).

Resultat från en studie av förurningsbelastningens effekter på mark har visat att för de mest förurningsbelastade delarna av landet, i sydvästra Sverige, är kvoten mellan förråd av baskatjoner i trädbiomassa och förråd av utbytbara baskatjoner i mark i storleksordningen 0,7-1,0. Detta styrker slutsatsen att ett uttag av biomassa som även inkluderar grot har potential att påverka förrådet av utbytbara baskatjoner i mark. I sydvästra Sverige finns idag en stor stående trädbiomassa av gran och mycket baskatjoner finns alltså bundna där. Samtidigt visar studien att det inte finns något samband mellan historiskt ackumulerat förurningstryck och utbytbart baskatjonförråd i mark, för hela Sverige. Huvudförklaringen till skillnader i utbytbart baskatjonförråd i mark mellan olika delar av landet är enligt författarna berggrundens sammansättning, men det har också betydelse att det i norra Sverige finns ett lägre förråd av organiskt material i marken⁵⁰.

I fältförsök i olika delar av Sverige har man uppmätt lägre förråd av framför allt kalcium i markens översta 20 cm, som längst upp till 38 år efter förnygringsavverkning, där man tagit ut stamved och grot, jämfört med där man tagit ut enbart stamved^{51 52 53 54}. Den mest utdragna skillnaden mellan uttag av stamved och grot, jämfört med enbart stamved, har observerats i försök i norra Sverige⁵⁵. Kalibrering av fältdata mot en dynamisk modell visade att modellen inte fullt ut kan reproducera fältdata. Detta beror sannolikt på osäkerheter i modellparametrar och att biologiska återkopplingar, till exempel att träd kan ta upp mer eller mindre kalcium beroende på tillgång, inte finns med i modellen⁵⁶.

Massbalanser för fosfor för skog på fastmark, med de ingående processerna biomassaavgång, läckage, vittring och nedfall, visar på nettoförluster vid uttag av stamved och grot, i stora delar av Sverige⁵⁷.

På torvmark är förrådet av fosfor och kalium i marken litet. Detta gäller särskilt för djupare torvmarker.

⁵⁰ Iwald J., Karlton E., Stendahl J., Löfgren S. 2018. Effekter på mark av 50 års förurningsbelastning från atmosfärisk deposition och katjonupptag i biomassa – en analys av data från Riksskogstaxeringen och Markinventeringen. Rapport till Naturvårdsverket, SLU, Inst. för mark och miljö och Inst. för vatten och miljö.

⁵¹ Olsson B. A. m fl 1996. Effects of different forest harvest intensities on the pools of exchangeable cations in coniferous forest soils. *Forest Ecology and Management* 84:135-147.

⁵² Brandtberg P. O. och Olsson B. A. 2012. Changes in the effects of whole-tree harvesting on soil chemistry during 10 years of stand development. *Forest Ecology and Management* 277:150-162.

⁵³ Zetterberg T. m fl 2013. The effect of harvest intensity on long-term calcium dynamics in soil and soil solution at three coniferous sites in Sweden. *Forest Ecology and Management* 302:280-294.

⁵⁴ Zetterberg T. m fl 2016. Long-term soil calcium depletion after conventional and whole-tree harvest. *Forest Ecology and Management* 369:102-115.

⁵⁵ Zetterberg T. m fl 2013. The effect of harvest intensity on long-term calcium dynamics in soil and soil solution at three coniferous sites in Sweden. *Forest Ecology and Management* 302:280-294.

⁵⁶ Zetterberg T. m fl 2016. Long-term soil calcium depletion after conventional and whole-tree harvest. *Forest Ecology and Management* 369:102-115.

⁵⁷ Akselsson C. m fl 2008. The influence of N load and harvest intensity on the risk of P limitation in Swedish forest soils. *Science of the Total Environment* 404:284-289.

Försurning av skogsmark

Träd tillväxt gör att skogsmarken försuras, eftersom vätejoner avges från träden till marken för att upprätthålla laddningsbalans när näring tas upp. Uttag av biomassa medför att försurningen av marken blir permanent, eftersom nedbrytning av den biomassa som tagits ut då inte sker. Effekten av detta blir större om grot tas ut, jämfört med uttag av enbart stamved.

För att upprätthålla laddningsbalans avger träd en vätejon till marken för varje positiv laddning med näring som tas upp. Upptaget av positivt laddade joner är i svenska skogsjordar normalt sett större än upptaget av negativt laddade joner. Nettot när träd tillväxer och tar upp näring från marken är därför ett avgivande av vätejoner till marken, vilket medför att marken försuras av träd tillväxt (Figur 1).

Vid fullständig nedbrytning av biomassan konsumeras motsvarande mängd vätejoner som avgivits till marken vid tillväxt⁵⁸. Den nedbrytning av biomassa som sker på ett hygge efter en avverkning medför därför att pH-värdet i humuslagret stiger. Detta gäller oavsett om enbart stamved, eller stamved och grot, tas ut. Där grot tagits ut blir höjningen i pH-värde i humuslagret på hygget ca 0-0,4 pH-enheter lägre än där enbart stamved tagits ut och skillnaden kvarstår upp till ca 20 efter avverkning^{59 60}.

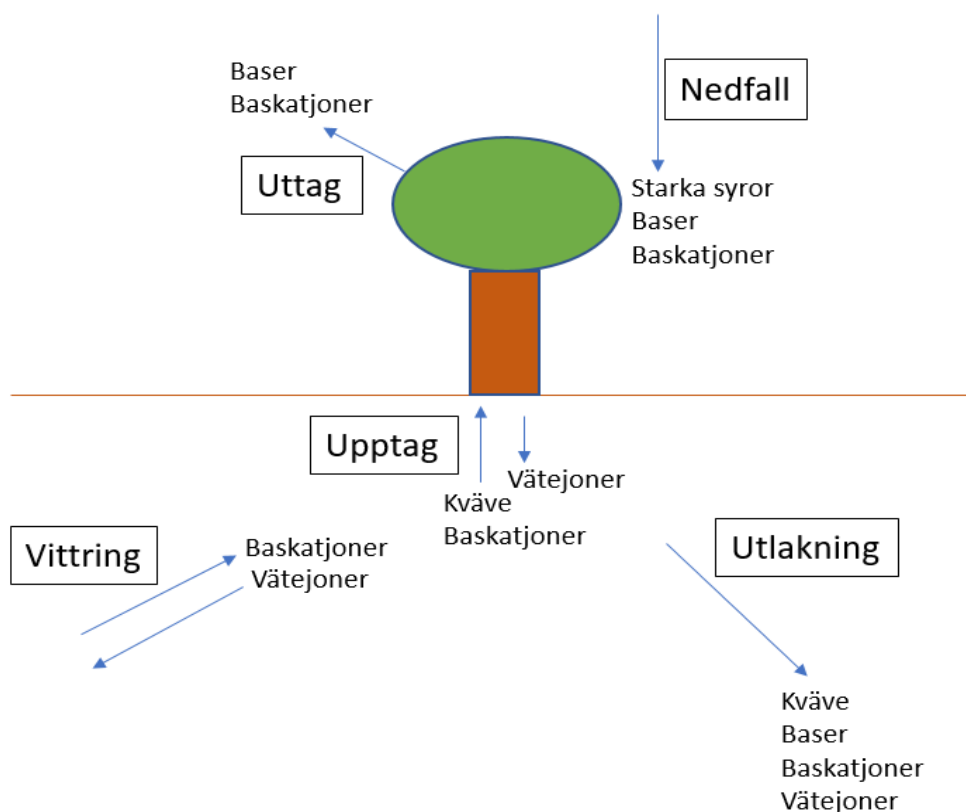
Ett annat sätt att förklara detta är att biomassan består av baser, vars negativa laddningar balanseras av icke sura positivt laddade joner (baskatjoner). Bortförel av biomassa innebär alltså en bortförel av baser och därmed förloras den syranutraliserande förmågan hos dessa baser. Uttag av biomassa medför alltså att den försurning av marken som skett under träd tillväxten blir permanent, eftersom biomassan tas ut i stället för att brytas ned.

Den process i mark som på längre sikt konsumerar vätejoner och alltså motverkar försurning är främst vittring (Figur 1). I pH-intervallet ca 4,0-6,5 är det framför allt vittring av silikatmineral som har betydelse. Syra-basbalansen i marken påverkas också av nedfall av försurande starka syror (framför allt kväve- och svavelföreningar), nedfall av baser, samt av utlakning av syror och baser (bland annat kväveföreningar).

⁵⁸ Magnusson T. 2009. Skogsbruk, mark och vatten. Skogsstyrelsen, skogsskötselserien nr 13.

⁵⁹ Egnell G. m fl 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen rapport 1 1998.

⁶⁰ Nykvist N. och Rosén K. 1985. Effect of clear-felling and slash removal on the acidity of northern coniferous soils. *Forest Ecology and Management* 11:157-169.



Figur 1. Några viktiga processer som påverkar markens surhetsgrad.

Massbalanser har gjorts där den kritiska gränsen satts till att marken på 50 cm djup inte levererar någon syraneutraliserande förmåga vidare till djupare liggande marklager och till vattendrag. De komponenter som ingår är nedfall av starka syror, uttag av baser med biomassa, nedfall av baser, vittring och kväveutlakning. Dessa massbalanser visar att den kritiska gränsen överskrids i stora delar av Sverige, både vid stamuttag och uttag av stam och grot⁶¹ ⁶². Den kritiska gränsen för uttag av biomassa i massbalansen stämmer väl överens med ett uttag av grot motsvarande ca 0,5 ton TS aska per hektar.

En osäker faktor i massbalansmodeller är hastigheten på vittringen⁶³. I modellerna för massbalanser används skattning av vittring med en så kallad steady-statemodell. Vittring kan också mätas genom att använda ett ämne som i liten utsträckning omfördelas i markprofilen. Ofta används ämnet zirkonium (Zr). En jämförelse mellan dessa två metoder på 16 platser i Sverige visar att vittring mätt med de olika metoderna i hög grad samvarierar. Steady-state-modellen underskattar vittringen av magnesium något jämfört med zirkoniummetoden,

⁶¹ Akselsson C. 2016. Förslag till ny indikator för skogsbrukets försurning. Slutrapport till Naturvårdsverket maj 2016.

⁶² Akselsson C., Belyazid S. 2018. Critical biomass harvesting – applying a new concept for Swedish forest soils. *Forest Ecology and Management* 409:67-73.

⁶³ Futter M. m fl 2012. Uncertainty in silicate mineral weathering rate estimates: source partitioning and policy implications. *Environmental Research Letters* 7:024025.

medan det omvända gäller för övriga baskatjoner⁶⁴. Det finns inget som tyder på en betydande underskattning av vittringshastigheten med steady-statemodellen jämfört med zirkoniummetoden⁶⁵. Detta innebär att de vittringsuppskattningar som används i massbalanserna är relevanta för att skatta behovet av kompensation vid uttag av biomassa, även om vissa osäkerheter finns. Vid en framtida temperaturhöjning förväntas en viss ökning av vittringshastigheten, men ökningen är inte så stor att den förändrar bilden av när kompensation vid uttag av biomassa krävs⁶⁶.

Försurning av ytvatten

Uttag av grot medför lägre pH och syraneutraliserande förmåga i markvatten upp till ca 30 år efter åtgärden.

Hur stor effekt detta får på ytvatten påverkas av processer längs avrinningsvägen och i utströmningsområden.

Nedfall av havssalt ger en starkare koppling mellan mark och ytvatten. En starkare koppling mellan mark och ytvatten kan också förväntas på grundare jordar.

Känsligheten för tillskott av syra varierar mellan olika typer av ytvatten. Det har visat sig vara svårt att hitta en generell modell för att koppla ihop vattendrags känslighet för tillskott av syra med egenskaper i avrinningsområdet.

Försurningsstatusen i ytvatten påverkas av markanvändningen i avrinningsområdet. Från inströmningsområden i skogsmark transporteras bland annat näringsämnen, (tex kalcium), försurande ämnen (tex vätejoner) och syraneutraliserande ämnen (tex bikarbonat), med avrinnande vatten. Vattenkvaliteten i ytvatten påverkas också av processer längs avrinningsvägen och i utströmningsområdet.

För tre fältförsök i olika delar av Sverige uppmättes lägre pH och syraneutraliserande förmåga i markvatten på 50 cm djup efter uttag av stamved och grot än efter uttag av enbart stamved, upp till 30 år efter avverkning⁶⁷. Detta visar att effekter i marken även avspeglas i markvatten.

Utifrån de teorier som finns om de markkemiska effekterna av försurning, och utifrån modelleringar, bör effekten av försurning via nedfall av starka syror och via trädens tillväxt skilja sig åt med avseende på avrinnande vatten. Starka syror innehåller både en vätejon och en lätttröglig negativt laddad jon. I svensk skogsmark fastläggs negativt laddade joner i mindre utsträckning än positivt laddade joner. Laddningsbalans krävs, vilket innebär att om en negativ laddning

⁶⁴ Stendahl J. m fl 2013. Pedon-scale silicate weathering: comparison of the PROFILE model and the depletion method at 16 forest sites in Sweden. *Geoderma* 211-212:65-74.

⁶⁵ Stendahl J. m fl 2013. Pedon-scale silicate weathering: comparison of the PROFILE model and the depletion method at 16 forest sites in Sweden. *Geoderma* 211-212:65-74.

⁶⁶ Akselsson C. m fl 2016. Can increased weathering rates due to future warming compensate for base cation losses following whole-tree harvesting in spruce forests? *Biogeochemistry* 128:89-105.

⁶⁷ Zetterberg T. m fl 2013. The effect of harvest intensity on long-term calcium dynamics in soil and soil solution at three coniferous sites in Sweden. *Forest Ecology and Management* 302:280-294.

utlakas från marken måste den åtföljas av en positiv laddning. Tillförsel av starka syror leder också till en högre jonstyrka i markvatten, vilket bland annat leder till att markvattnet får ett lägre pH. Den försurning som orsakas av skogstillväxt bör inte vara lika lättörlig i markprofilen och därför inte i samma utsträckning påverka djupare delar av markprofilen och inte heller ytvatten, jämfört med försurning orsakad av nedfall av starka syror. Nedfall av havssalt innebär tillförsel av lättörliga negativt laddade joner och kan därför förvärra effekten av den försurning som orsakas av skogstillväxt, så att den snabbare når djupare ner i markprofilen och till ytvatten. En starkare koppling mellan mark och ytvatten kan också förväntas på grundare jordar⁶⁸.

Vad som styr ett vattendrags pH-värde varierar över året bland annat beroende på ursprunget för det vatten som dominerar i vattendraget. Ofta observeras ett lägre pH i samband med högre flöden, på grund av flera olika processer. Vid lägre flöden får många vattendrag ett större tillskott av djupare grundvatten med en större förmåga att neutralisera syra, vilket ger ett högre pH. Resultat indikerar att det är svårt att hitta en generell modell för att koppla ihop vattendrags känslighet för tillskott av vätejoner med egenskaper i avrinningsområdet (till exempel andelen våtmarker). Vilka egenskaper i avrinningsområdet som leder till hög känslighet för tillskott av vätejoner verkar variera mellan olika delar av landet^{69 70}.

Sydligaste och sydvästra Sverige är särskilt utsatt för försurning

Sydligaste och sydvästra Sverige har mottagit störst totalt ackumulerat nedfall av starka syror.

Högre nedfall av havssalter än i andra delar av landet gör att en starkare koppling mellan försurning av mark och ytvatten kan förväntas i sydligaste och sydvästra Sverige.

Det totala ackumulerade nedfallet av starka syror från 1960-talet och framåt är högst i sydligaste och sydvästra Sverige⁷¹. Långvarig belastning i form av starka syror har medfört förlust av baskatjoner från mark och transport av surhet till utströmningsområden och ytvatten⁷².

⁶⁸ Löfgren S. m fl 2015. How does forest biomass production acidify soils and surface waters in comparison with mineral acids? Rapport till Naturvårdsverket, dnr NV-02134-13.

⁶⁹ Ågren A. och Löfgren S. 2012. pH sensitivity of Swedish forest streams related to catchment characteristics and geographical location-implications for forest bioenergy harvest and ash return. *Forest Ecology and Management* 276:10-23.

⁷⁰ Löfgren S. m fl 2016. Impact of whole-tree harvest on soil and stream water acidity in southern Sweden based on HD-MINTEQ simulations and pH-sensitivity. *Forest Ecology and Management* 383:49-60.

⁷¹ http://www.emep.int/mscw_ydata.html, hämtad juli 2016.

⁷² Löfgren S. m fl 2015. How does forest biomass production acidify soils and surface waters in comparison with mineral acids? Rapport till Naturvårdsverket, dnr NV-02134-13.

Nedfall av havssalter är högst i sydvästra Sverige⁷³. Nedfall av havssalter gör att en starkare koppling mellan mark och ytvatten kan förväntas och att den försurning som orsakas av skogstillväxt och biomassuttag i högre grad påverkar även ytvatten.

I sydligaste och sydvästra Sverige är det i dagsläget framför allt ytvatten på områden med något djupare jordar som under delar av året mottar syraneutraliserande förmåga i form av bikarbonat från omgivande mark, som riskerar ett försämrat tillstånd. För vattendrag på grundare jordar kommer återhämtning från försurning via starka syror att försenas på grund av kombinationen av biomassuttag och nedfall av havssalt⁷⁴.

I stora delar av Götaland och även Svealand har en betydande förändring av markanvändningen skett under det gångna seklet. Tidigare glesa, betespåverkade skogar har ersatts av högproduktiv granskog. Detta medför försurning via skogstillväxt och biomassuttag.

⁷³ Alpfjord H och Andersson C. 2015. Nationell miljöövervakning med MATCH Sverige-systemet. SMHI rapport 2015:7.

⁷⁴ Löfgren S. m fl 2015. How does forest biomass production acidify soils and surface waters in comparison with mineral acids? Rapport till Naturvårdsverket, dnr NV-02134-13.

Återföring av aska påverkar skogsmarkens närings- och försurningsstatus

Återföring av aska i doser motsvarande Skogsstyrelsens rekommendationer innebär en budgetmässig kompensation för uttag av baskatjoner och syraneutraliserande förmåga med grot.

Tillförsel av aska i doser motsvarande Skogsstyrelsens rekommendationer medför förhöjda halter av utbytbara baskatjoner och fosfor i humuslager eller mineraljord upp till ca 10 år efter åtgärden, jämfört med där aska inte tillförts. Preliminära resultat 17-18 år efter asktillförsel indikerar kvarvarande effekter på utbytbara baskatjoner i humus och mineraljord vid högre doser av aska.

Tillförsel av aska i doser motsvarande Skogsstyrelsens rekommendationer medför högre pH-värde i marken och gör att en större andel av markens utbytbara positiva joner utgörs av icke sura joner, upp till ca 10 år efter åtgärden. Preliminära resultat efter 17-18 år indikerar kvarvarande effekter på markens pH-värde.

Återföring av aska i de doser som rekommenderas av Skogsstyrelsen innebär en kompensation för förlust av baskatjoner (kalcium, magnesium och kalium) och syraneutraliserande förmåga när grot tas ut. Skogsstyrelsens rekommendation är en schablon där 2 ton TS aska per hektar rekommenderas som kompensation för ståndortsindex under G23 och 3 ton TS aska per hektar rekommenderas för högre ståndortsindex vid uttag av grot i föryngringsavverkning. Maximalt rekommenderas att totalt 6 ton TS aska återförs per omloppstid.

Näringsämnen

En sammanställning av resultat från fältförsök med asktillförsel till fastmark i doser motsvarande de som rekommenderas av Skogsstyrelsen (dvs upp till 3 ton TS aska), har visat på förhöjda halter av utbytbara baskatjoner i humuslagret, och i vissa fall i mineraljord, åren närmast efter asktillförsel. I de flesta fall är det kalcium som ökat mest (ofta i storleksordningen 2-3 gånger), följt av magnesium. Halten av kalium har i många fall inte skilt sig åt mellan behandlingen med och utan aska. I några försök har man även mätt halter av extraherbart fosfor, som då också varit förhöjda efter asktillförsel. Den aska som använts har i en del tidiga försök varit lös vedaska, i senare försök härdad krossaska eller granulerad aska. I sammanställningarna har ingått försök där effekten studerats som längst ca 10 år efter att aska tillförts⁷⁵.

Sammanställningar av resultat från fältförsök med asktillförsel i Energimyndighetens skogsbränslesynteser har bekräftat att tillförsel av aska i de

⁷⁵ Egnell G. m fl 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen rapport 1 1998.

doser som rekommenderas av Skogsstyrelsen leder till förhöjda halter av utbytbara baskatjoner i humus och mineraljord, 1-6 år efter behandling^{76 77}.

Det finns få publicerade rapporter på fastmark där effekter av asktillförsel på markens utbytbara baskatjoner mätts efter längre tid än 10 år. Effekter 17–18 år efter asktillförsel har studerats i två fältförsök i Riddarhyttan i Västmanland men resultaten därifrån är preliminära. Det ena försöket är en tallskog på sandig sedimentmark, medan det andra är en blandskog av tall och gran på moränmark. Härdad krossaska har tillförts i 3, 6 respektive 9 ton TS per hektar, och granulerad aska har tillförts i 3 ton TS per hektar. Mätningar har gjorts fem år efter behandlingarna och sedan upprepats 17- 18 år efter behandlingarna. Vid båda mättillfällena observerades signifikanta behandlingsskillnader i humuslager eller mineraljord för utbytbar kalcium, magnesium, kalium och fosfor. Vid det senare mättillfället observerades dock signifikanta skillnader framför allt för de högsta givorna^{78 79}. Efter 17-18 år var halter av kalcium, zink och kadmium i årsbarr förhöjda i samtliga behandlingar där aska tillförts, medan det fanns en tendens till att halter av kalium i årsbarr var lägre där aska tillförts⁸⁰. Resultaten indikerar att behandlingsskillnader för markens utbytbara baskatjoner minskat över tid. De förhöjda halter som observerats i årsbarr indikerar att en omfördelning kan ha skett, från den utbytbara fraktionen i mark, till andra fraktioner.

Försurningsstatus i skogsmark och ytvatten

En sammanställning av resultat från fältförsök med asktillförsel till fastmark i doser motsvarande de som rekommenderas av Skogsstyrelsen, har visat på en höjning av pH-värdet i humuslagret åren närmast efter asktillförsel. Storleken på pH-höjningen varierar mellan ca 0,4-1,4 pH-enheter för lös aska, 0,4-0,6 pH-enheter för krossaska, och 0-0,6 pH-enheter för granulerad aska. I några av de studier som ingår i sammanställningen har man även mätt utbytbara vätejoner och aluminium, som då minskat efter asktillförsel. I sammanställningen har ingått försök där effekterna studerats som längst ca 10 år efter att aska tillförts⁸¹.

I Energimyndighetens skogsbränslesynteser drogs slutsatsen att surhetsgraden i humusskiktet hade minskat efter tillförsel av aska, oavsett dos, askform eller bonitet. Slutsatsen baserades på resultat från fältförsök med tillförsel av härdad

⁷⁶ De Jong J. m fl 2012. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram inom Skogsbränsle och Miljö 2007-2011. Energimyndigheten, ER 2012:08.

⁷⁷ De Jong J. m fl 2018. Miljöpåverkan av skogsbränsleuttag. En syntes av forskningsläget baserat på Bränsleprogrammet hållbarhet 2011-2016. Energimyndigheten, ER 2018:02.

⁷⁸ Jacobsson S. m fl 2004. Effects of wood ash dose and formulation on soil chemistry at two coniferous forest sites. *Water, Air and Soil pollution* 158: 113-125.

⁷⁹ Ring m fl 2015. Askåterföring till skogsmark: vad är effekten efter 17 år? Sammanfattning av slutrapport för STEM projekt P35205-1

⁸⁰ Ring m fl 2015. Askåterföring till skogsmark: vad är effekten efter 17 år? Sammanfattning av slutrapport för STEM projekt P35205-1

⁸¹ Egnell G. m fl 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen rapport 1 1998.

krossaska eller granulerad aska i doser mellan 1 och 7 ton TS per hektar, 1-6 år efter askspridning^{82 83}.

Det finns få publicerade rapporter där man mätt effekter av asktillförsel på surhetstillståndet på fastmark efter längre tid. Preliminära resultat där effekter av asktillförsel har studerats i två fältförsök i Riddarhyttan i Västmanland indikerar kvarstående effekter på pH-värdet 17-18 år efter behandling. Det ena försöket är en tallskog på sandig sedimentmark, medan det andra är en blandskog av tall och gran på moränmark. Härdad krossaska har tillförts i 3, 6 respektive 9 ton TS per hektar, och granulerad aska har tillförts i 3 ton TS per hektar⁸⁴.

I en kvantitativ metaanalys av 350 oberoende försök från 110 vetenskapliga artiklar studerades effekterna av kalkning eller asktillförsel på bland annat markens pH-värde och basmättnadsgrad (andelen av utbytbara positiva joner som utgörs av icke sura joner). I 75 % av försöken hade behandlingen positiv effekt på basmättnadsgrad och i 67 % av försöken på pH-värdet. Vid lägre givor på mineraljordar, motsvarande vad som rekommenderas av Skogsstyrelsen, var effekten på pH störst under de första åren efter asktillförsel. För basmättnadsgrad var effekten däremot störst mer än 10 år efter behandling⁸⁵.

En metaanalys (54 försök i 16 olika försöksområden) av effekter av tillförsel av aska, kalk eller aska + kalk, på syraneutraliserande förmåga i skandinaviska vattendrag 1-16 år efter behandling, visade på signifikant större ökning av syraneutraliserande förmåga i behandlade vattendrag jämfört med obehandlade referenser. I analysen ingick studier på torvmark och där man behandlat utströmningsområden nära vattendrag. Doser av aska och kalk var i många fall högre än vad Skogsstyrelsen rekommenderar⁸⁶. Skogsstyrelsen avråder från tillförsel av aska till kantzoner nära vattendrag, främst på grund av risker för negativa effekter på känsliga växter och djur.

⁸² De Jong J. m fl 2012. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram inom Skogsbränsle och Miljö 2007-2011. Energimyndigheten, ER 2012:08.

⁸³ De Jong J. m fl 2018. Miljöpåverkan av skogsbränsleuttag. En syntes av forskningsläget baserat på Bränsleprogrammet hållbarhet 2011-2016. Energimyndigheten, ER 2018:02.

⁸⁴ Ring m fl 2015. Askåterföring till skogsmark: vad är effekten efter 17 år? Sammanfattning av slutrapport för STEM projekt P35205-1

⁸⁵ Reid C., Watmough A. 2014. Evaluating the effects of liming and wood-ash treatment on forest ecosystems through systematic meta-analysis. Canadian Journal of Forest research 44:867-885.

⁸⁶ Johansson M. 2014. Askåterföring på skogsmark – en metaanalys om påverkan på ytvattnets syra-baskemi. Inst. för skogens ekologi och skötsel, rapport 2104:4.

Återföring av aska kan påverka markens innehåll av tungmetaller och organiska miljögifter

Vid en giva av aska som motsvarar den mängd biomassa som tagits ut, och med de maxhalter av tungmetaller i aska som rekommenderas av Skogsstyrelsen, medför inte uttag av grot och återföring av aska något betydande tillskott av tungmetaller till skogsmarken.

Organiska miljögifter förekommer normalt sett inte i skogsbränsleaskor i så höga halter att någon varning behöver utfärdas. Halter av polyaromatiska kolväten (PAH) kan dock variera en hel del mellan olika askor. Underlaget bedöms i dagsläget vara för osäkert för att säkra riktvärden för PAH i askor ska kunna tas fram.

Massbalans för metaller i aska

Uttag av grot medför att tungmetaller förs bort från skogsmarken, medan återföring av aska medför att tungmetaller återförs till skogsmarken.

För att illustrera vilken påverkan uttag av biomassa och återföring av aska kan ha på metaller gjordes massbalanser för bly, kadmium och koppar på två väl studerade lokaler med gran i södra respektive norra Sverige⁸⁷. I massbalanserna ingick atmosfäriskt nedfall, utlakning, uttag med biomassa i föryngringsavverkning och tillförsel med aska.

Vid en giva av aska på 3 ton per hektar ändrades balansen inte nämnvärt av nettot av biomassauttaget och askåterföringen, utan den största faktorn för hur mycket metall som tillfördes skogsmarken var storleken på det atmosfäriska nedfallet (data för perioden 1996-2011 användes). Detta gällde för samtliga metaller och lokaler.

Vid en giva av aska på 6 ton per hektar, vilket är den maximalt rekommenderade givan per omloppstid, gav däremot askåterföringen ett tillskott av metall som för samtliga metaller och lokaler var större än det atmosfäriska nedfallet och för kadmium ca 5 gånger större. Det bör noteras att uttag av grot endast gjordes i föryngringsavverkning, dvs en tillförsel av 6 ton aska per hektar var inte motiverad i detta fall.

Organiska miljögifter i aska och mark

Skogsbränsleaskor har alltid ett visst innehåll av organiskt material. Screeninganalys har visat att skogsbränsleaskor innehåller en mängd olika organiska ämnen, varav vissa har toxiska egenskaper. Man har dock inte bedömt att någon varning behöver utfärdas⁸⁸. En genomgång av litteratur indikerade att

⁸⁷ Olsson B. A. m fl 2017. Does the harvest of logging residues and wood ash application affect the mobilization and bioavailability of trace metals? Forest Ecology and Management 383:61-72.

⁸⁸ Larsson L. m fl 2008. En orienterande screening av organiska ämnen i askor. Värmeforsk rapport 1082.

halterna av dioxiner i biobränsleaskor med god marginal underskrider EU:s föreslagna gränsvärde för spridning av askor, medan det var stor variation (ca 0,1-70 mg/kg, och i ett fall några hundratals mg/kg) i de halter av polyaromatiska kolväten (PAH) som rapporterats⁸⁹. Larsson m fl 2008⁹⁰, som analyserade tre skogsbränsleaskor, rapporterade värden för PAH på 0,2 mg/kg för returträaska, 12 mg/kg för skogsbränsleaska och 53 mg/kg för barkaska. Den generella bilden är att halten av PAH är låg i askor som är väl förbrända.

De 16 PAH som normalt analyseras, delas upp i 3 grupper beroende på molekylvikt; PAH-L (låg molekylvikt), PAH-M (medelhög molekylvikt) och PAH-H (hög molekylvikt).

Det finns framtaget svenska riktvärden för skydd av markmiljö vid känslig markanvändning (Där markkvaliteten inte ska begränsa markanvändningen och även grundvatten ska skyddas. Exempel på känslig markanvändning är bostäder och parkmark.) för dessa grupper av PAH. Värdena är 3, 10 respektive 2,5 mg/kg TS⁹¹. Dessa riktvärden baseras framför allt på data från Nederländerna och Danmark. Värdena beräknas utifrån en artkänslighetsfördelning och motsvarar skydd av 75 % av marklevande arter. En viktning är gjord för typiska sammansättningar av PAH-föreningar, eftersom toxiciteten varierar mellan olika PAH. De svenska riktvärdena ligger under eller i samma storleksordning som kanadensiska riktvärden för skydd av fåglar och djur som söker föda vilket innebär att de svenska riktvärdena även ska ge skydd för dessa arter om de födosöker på materialet.

Säkerheten hos de riktvärden som tagits fram för PAH för skydd av markmiljö i Sverige bedöms i Naturvårdsverkets datablad som låg-måttlig pga brist på tillgängligt data. Skogsstyrelsen bedömer därför att underlaget är för osäkert för att i dagsläget kunna rekommendera några riktvärden för PAH i aska.

⁸⁹ Bjurström H. 2006. Organiska ämnen i askor. Värmeforsk rapport 994.

⁹⁰ Larsson L. m fl 2008. En orienterande screening av organiska ämnen i askor. Värmeforsk rapport 1082.

⁹¹ Kemakta konsult AB, Institutet för miljömedicin, Karolinska institutet, 2017. Datablad för polycykliska aromatiska kolväten (PAH). <https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/forenade-omraden/datablad-pah-20170518.pdf>, hämtad 2018-08-29.

AV SKOGSSTYRELSEN PUBLICERADE RAPPORTER:

- 2012:1 Kommunikationsstrategi för Renbruksplan
- 2012:2 Förstudierapport, dialog och samverkan mellan skogsbruk och rennäring
- 2012:3 Hänsyn till kulturmiljöer – resultat från P3 2008–2011
- 2012:4 Kalibrering för samsyn över myndighetsgränserna avseende olika former av dikningsåtgärder i skogsmark
- 2012:5 Skogsbrukets frivilliga avsättningar
- 2012:6 Långsiktiga effekter på vattenkemi, öringsbestånd och bottenfauna efter ask- och kalkbehandling i hela avrinningsområdena i brukad skogsmark – utvärdering 13 år efter åtgärder mot försurning
- 2012:7 Nationella skogliga produktionsmål – Uppföljning av 2005 års sektorsmål
- 2012:8 Kommunikationsstrategi för Renbruksplan – Är det en fungerande modell för samebyarna vid samråd?
- 2012:9 Ökade risker för skador på skog och åtgärder för att minska riskerna
- 2012:10 Hänsynsuppföljning – grunder
- 2012:11 Virkesproduktion och inväxning i skiktad skog efter höggallring
- 2012:12 Tillståndet för skogsgenetiska resurser i Sverige. Rapport till FAO
- 2013:1 Återväxtstöd efter stormen Gudrun
- 2013:2 Förändringar i återväxtkvalitet, val av förnygring-smetoder och trädslagsanvändning mellan 1999 och 2012
- 2013:3 Hänsyn till forn- och kulturlämningar – Resultat från Kulturpolytaxen 2012
- 2013:4 Hänsynsuppföljning – underlag inför detaljerad kravspecifikation, En dellerans från Dialog om miljöhänsyn
- 2013:5 Målbilder för god miljöhänsyn – En dellerans från Dialog om miljöhänsyn
- 2014:1 Effekter av kvävegödsling på skogsmark – Kunskapssammanställning utförd av SLU på begäran av Skogsstyrelsen
- 2014:2 Renbruksplan – från tanke till verklighet
- 2014:3 Användning och betydelsen av RenGIS i samrådsprocessen med andra markanvändare
- 2014:4 Hänsynen till forn- och kulturlämningar – Resultat från Hänsynsuppföljning Kulturmiljöer 2013
- 2014:5 Förstudie – systemtillsyn och systemdialog
- 2014:6 Renbruksplankoncept – ett redskap för samhällsplanering
- 2014:7 Förstudie – Artskydd i skogen – Slutrapport
- 2015:1 Miljöövervakning på Obsytorna 1984–2013 – Beskrivning, resultat, utvärdering och framtid
- 2015:2 Skogsmarksgödsling med kväve – Kunskapssammanställning inför Skogsstyrelsens översyn av föreskrifter och allmänna råd om kvävegödsling
- 2015:3 Vegetativt förökad skogsodlingsmaterial
- 2015:4 Global framtida efterfrågan på och möjligt utbud av virkesråvara
- 2015:5 Satellitbildskartering av lämnad miljöhänsyn i skogsbruket – en landskapsansats
- 2015:6 Lägsta ålder för förnygringsavverkning (LÅF) – en analys av följder av att sänka åldrarna i norra Sverige till samma nivå som i södra Sverige
- 2015:7 Hänsynen till forn- och kulturlämningar – Resultat från Hänsynsuppföljning Kulturmiljöer 2014
- 2015:8 Uppföljning av skogliga åtgärder längs vattendrag för att gynna lövträd och lövträdetablering.
- 2015:9 Ångermanälvsprojektet – förslag till miljöförbättrande åtgärder i mellersta Ångermanälven och nedre Fjällsjälven
- 2015:10 Skogliga konsekvensanalyser 2015–SKA 15
- 2015:11 Analys av miljöförhållanden – SKA 15
- 2015:12 Effekter av ett förrändrat klimat–SKA 15
- 2015:13 Uppföljning av skogliga åtgärder längs vattendrag för att gynna lövträd och lövträdetablering
- 2016:1 Uppföljning av biologisk mångfald i skog med höga naturvärden – Metodik och genomförande
- 2016:2 Effekter av klimatförändringar på skogen och behov av anpassning i skogsbruket
- 2016:3 Kunskapssammanställning skogsbruk på torvmark
- 2016:4 Alternativa skogsskötselmetoder i Vildmarksriket – ett pilotprojekt
- 2016:5 Hänsyn till forn- och kulturlämningar – Resultat från Hänsynsuppföljning Kulturmiljöer 2015
- 2016:6 METOD för uppföljning av miljöhänsyn och hänsyn till rennäringen vid stubbskörd
- 2016:7 Nulägesbeskrivning om nyckelbiotoper
- 2016:8 Möjligheter att minska stabilitetsrisker i raviner och slänter vid skogsbruk och exploatering – Genomgång av ansvar vid utförande av skogliga förändringar, ansvar för tillsyn samt ansvar vid inträffad skada
- 2016:9 Möjligheter att minska stabilitetsrisker i raviner och slänter vid skogsbruk och exploatering – Exempelsamling
- 2016:10 Möjligheter att minska stabilitetsrisker i raviner och slänter vid skogsbruk och exploatering – Metodik för identifiering av slänter och raviner känsliga för vegetationsförändringar till följd av skogsbruk eller expoatering
- 2016:11 Möjligheter att minska stabilitetsrisker i raviner och slänter vid skogsbruk och exploatering – Slutrapport
- 2016:12 Nya och reviderade målbilder för god miljöhänsyn – Skogssektors gemensamma målbilder för god miljöhänsyn vid skogsbruksåtgärder
- 2016:13 Målanpassad ungskogsskötsel
- 2016:14 Översyn av Skogsstyrelsens beräkningsmodell för bruttoavverkning
- 2017:2 Alternativa skötselmetoder i Rånddalen – Ett projekt i Härjedalen
- 2017:4 Biologisk mångfald i nyckelbiotoper – Resultat från inventeringen – ”Uppföljning biologisk mångfald” 2009–2015
- 2017:5 Utredning av skogsvårdslagens 6 §
- 2017:6 Skogsstyrelsens återväxtuppföljning – Resultatet från 1999–2016
- 2017:7 Skogsträdens genetiska mångfald: status och åtgärdesbehov
- 2017:8 Skogsstyrelsens arbete för ökad klimatanpassning inom skogssektorn – Handlingsplan
- 2017:9 Implementering av målbilder för god miljöhänsyn – Regeringsuppdrag

- 2017:10 Bioenergi på rätt sätt – Om hållbar bioenergi i Sverige och andra länder – En översikt initierad av Miljömålsrådet
- 2017:12 Projekt Mera tall! – 2010–2016
- 2017:13 Skogens ekosystemtjänster – status och påverkan
- 2018:1 Produktionshöjande åtgärder – Rapport från samverkansprocess skogsproduktion
- 2018:2 Effektiv skogsskötsel – Delrapport inom Samverkan för ökad skogsproduktion
- 2018:3 Infrastruktur i skogsbruket med betydelse för skogsproduktionen: Nuläge och åtgärdsförslag – Rapport från arbetsgrupp 2 inom projekt Samverkansprocess skogsproduktion
- 2018:4 Åtgärder för att minska skador på skog – Rapport från samverkansprocess skogsproduktion
- 2018:5 Samlad tillsynsplan 2018
- 2018:6 Uppföljning av askåterföring efter spridning
- 2018:7 En analys av styrmedel för skogens sociala värden – Regeringsuppdrag
- 2018:8 Tillvarata jobbpotentialen i de gröna näringarna – Naturnära jobb – Delredovisning av regeringsuppdrag
- 2018:9 Slutrapport – Gemensam inlämningsfunktion för skogsägare – Regeringsuppdrag
- 2018:10 Nulägesbeskrivning av nordvästra Sverige
- 2018:11 Vetenskapligt kunskapsunderlag för nyckelbiotopsinventeringen i nordvästra Sverige
- 2018:12 Statistik om skogsägande/Strukturstatistik
- 2018/13 Föreskrifter för anläggning av skog – Regeringsuppdrag
- 2018:14 Tillvarata jobbpotentialen i de gröna näringarna – Naturnära jobb – Delredovisning av regeringsuppdrag
- 2018:15 Förslag till åtgärder för att kompensera drabbade i skogsbruket för skador med anledning av skogsbränderna sommaren 2018 – Regeringsuppdrag
- 2019:1 Indikatorer för miljö kvalitetsmålet Levande skogar
- 2019:2 Fördjupad utvärdering av Levande skogar 2019
- 2019:3 Den skogliga genbanken – från storhetstid till framtid
- 2019:4 Åtgärder för en jämnställd skogssektor
- 2019:5 Slutrapport Tillvarata jobbpotentialen i de gröna näringarna – Naturnära jobb
- 2019:6 Nya målbilder för god miljöhänsyn vid dikesrensning och skyddsdikning
- 2019:7 Återkolonisering av hjortdjur inom brandområdet i Västmanland
- 2019:8 Samverkan Tiveden
- 2019:9 Samlad tillsynsplan 2019
- 2019:10 Förslag till åtgärder på kort och lång sikt för att mildra problem i områden med multiskadad ungskog i Västerbottens- och Norrbottens län
- 2019:11 Föryngringsarbetet efter skogsbranden i Västmanland 2014
- 2019:12 Utveckling av metod för nyckelbiotopsinventering i nordvästra Sverige
- 2019:13 Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder – Kunskapsunderlag

AV SKOGSSTYRELSEN PUBLICERADE MEDDELANDEN

Under 2017 slogs Skogsstyrelsens publikationer Rapport och Meddelande ihop till en med namnet Rapport.

2012:1	Förslag på regelförenklingar i skogsvårdslagstiftningen	2015:4	Renskogsavtal och lägesbeskrivning i frågor om skogsbruk – rennäring
2012:2	Uppdrag om nationella bestämmelser som kompletterar EU:s timmerförordning	2015:6	Utvärdering av ekonomiska stöd
2012:3	Beredskap vid skador på skog	2016:1	Kunskapsplattform för skogsproduktion – Tillståndet i skogen, problem och tänkbara insatser och åtgärder
2013:1	Dialog och samverkan mellan skogsbruk och rennäring	2016:2	Analys av hur Skogsstyrelsen verkar för att miljömålen ska nås
2013:2	Uppdrag om förslag till ny lagstiftning om virkesmätning	2016:3	Delrapport – Främja anställning av nyanlända i de gröna näringarna och naturvärden
2013:3	Adaptiv skogsskötsel	2016:4	Skogliga skattningar från laserdata
2013:4	Ask och askskottsjukan i Sverige	2016:5	Kulturarv i skogen
2013:5	Förstudie om ett nationellt skogsprogram för Sverige – Förslag och ställningstaganden	2016:6	Sektorsdialog 2014 och 2015
2013:6	Förstudie om ett nationellt skogsprogram för Sverige – omvärldsanalys	2016:7	Adaptiv skogsskötsel 2013–2015
2013:7	Ökad jämställdhet bland skogsägare	2016:8	Agenda 2030 – underlag för genomförande – Ett regeringsuppdrag
2013:8	Naturvårdsavtal för områden med sociala värden	2016:9	Implementering av målbilder för god miljöhänsyn
2013:9	Skogens sociala värden – en kunskapssammanställning	2016:10	Gemensam inlämningsfunktion för skogsägare
2014:1	Översyn av föreskrifter och allmänna råd till 30 § SvL – Del 2	2016:11	Samlad tillsynsplan 2017
2014:2	Skogslandskapets vatten – en lägesbeskrivning av arbetet med styrmedel och åtgärder	2017:1	Skogens sociala värden i Skogsstyrelsens rådgivning och information
2015:1	Förenkling i skogsvårdslagstiftningen – Redovisning av regeringsuppdrag	2017:2	Främja nyanländas väg till anställning i de gröna näringarna och naturvärden
2015:2	Redovisning av arbete med skogens sociala värde	2017:3	Regeringsuppdrag om jämställdhet i skogsbruket
2015:3	Rundvirkes- och skogsbränslebalanser för år 2013 – SKA 15	2017:4	Avrapportering av regeringsuppdrag om frivilliga avsättningar

PUBLICERING OCH BESTÄLLNING AV SKOGSSTYRELSENS RAPPORTER

Skogsstyrelsens rapporter publiceras som pdf-filer på vår webbplats: www.skogsstyrelsen.se/om-oss/publikationer/

Äldre publikationer kan beställas eller laddas ned i webbutiken: shop.skogsstyrelsen.se/sv/publikationer/

Skogsstyrelsen publicerar dessutom foldrar, broschyrer, böcker med mera inom skilda skogliga ämnesområden. Skogsstyrelsen är också utgivare av tidningen Skogseko.

Beställning av publikationer och trycksaker:
Skogsstyrelsen,
Böcker och broschyrer
551 83 JÖNKÖPING

Telefon: 036-35 93 40, 036-35 93 00 (vx)
e-post: bocker@skogsstyrelsen.se
webbutik: shop.skogsstyrelsen.se/sv/

Biobränsle från skogen har en betydelsefull roll som förnybar resurs i ett samhälle med låg klimatpåverkan. Denna rapport utgör ett kunskapsunderlag för Skogsstyrelsens rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsåtgärder. I rapporten behandlas effekter på träd tillväxt, kvävebalans, biologisk mångfald, skogsmarkens närings- och försurningsstatus, samt tungmetaller och organiska miljögifter.