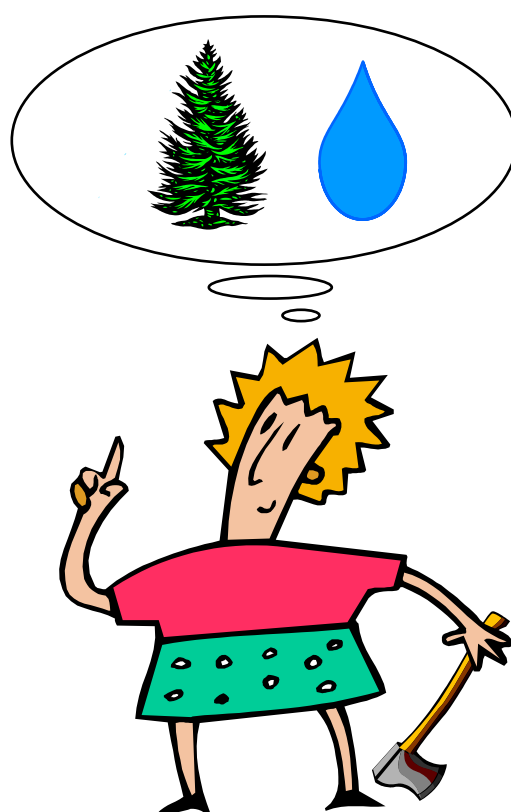


Att bedriva skogsbruk med särskild hänsyn till vatten

– Rekommendationer för Yngerns avrinningsområde

Eva Ring



Omslag: Planera för både skog och vatten!

Ämnesord: Avverkning, bränning, kantzon, kemi, markberedning, skogsskötsel, vatten, Yngern.

SkogForsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

SkogForsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plantskolor, SkogsMaskinFöretagarna m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

SkogForsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på tre centrala frågeställningar: Skogsodlingsmaterial, Skogsskötsel samt Råvaruutnyttjande och produktions-effektivitet. På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Serien **Arbetsrapport** dokumenterar långliggande försök samt inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från SkogForsk publiceras i följande serier:

SkogForsk-Nytt. Nyheter, sammanfattningar, översikter.

Resultat. Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

Redogörelse. Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

Report. Vetenskapligt inriktad serie (på engelska).

Handledningar. Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

Förord

Yngern är en mellansvensk 14 km² stor sjö med en unik bottenfauna och dricksvattenkvalitet ("Yngern är unik", 1992). Dessa särdrag vill Södertälje kommun långsiktigt bevara. Arbetet inleddes i slutet på 1980-talet med att en arbetsgrupp tillsattes för att beskriva Yngerns värden. Arbetsgruppen bestod av Angelica Aronsson (projektledare), Anders Eriksson, Ragnar Lagerkvist, Åsa Lindgren, Bo Ljungberg och Berit Pettersson och resulterade i rapporten "Yngern är unik" (1992). Därefter gjorde Hans F. Rudengren en bottensedimentundersökning. Under en period diskuterade man om Yngern och dess avrinningsområde skulle avsättas som naturreservat, men så blev inte fallet.

Som ännu ett led i arbetet med att bevara Yngerns särdrag har SkogForsk tilldelats ett forskningsanslag på 100 000 kr från Gunnar Hedlunds Hedersfond, som förvaltas av LRF Skogsägarna, för att göra en analys av hur skogsbruk påverkar vattenkvaliteten. Arbetet syftar till att redovisa dagens kunskap om hur några olika skogsskötselåtgärder påverkar vattenkvaliteten, främst baserat på försök som utförts i Sverige. Det finns inga uppgifter från Yngern och dess avrinningsområde som kan användas för att beräkna eller uppskatta skogsbrukets påverkan på vattenkemin i Yngern. Därför ligger tyngdpunkten i detta arbete på att ge skogsbrukarna i Yngerns avrinningsområde ökad kunskap om hur några biologiska och kemiska processer påverkas av olika skogsbruksåtgärder och principer för hur transporten av näring till sjöar sker. Utifrån den begränsade kunskap som finns inom detta forskningsområde ges även rekommendationer för hur skogsbruk bör bedrivas runt Yngern. Detta kan förhoppningsvis sammantaget bidra till en minskad påverkan från skogsbruket på vattenkemin i Yngern.

Uppsala 2002-03-08

Eva Ring
SkogForsk

Ordlista

I rapporten förekommer några olika begrepp som här definieras i bokstavsordning:

Begrepp	Betydelse.
Anjon	Negativt laddad jon exv. klorid (Cl^-) och nitrat (NO_3^-).
Avrinning	Den del av nederbörden som avrinner till sjöar och vattendrag.
Avrinningsområde	Det område ovanför en punkt i ett vattendrag som bidrar till vattenflödet i punkten.
Denitrifikation	Mikrobiell process som omvandlar nitrat till kvävgas eller lustgas.
Grundvatten	Vatten i markens mättade zon, d.v.s. under grundvattenytan där markens porer är fyllda med enbart vatten.
Inströmningsområde	Område där grundvattenmagasinet huvudsakligen fylls på. Ofta högt belägna områden, exv. höjder och övre delen av sluttningar.
Katjon	Positivt laddad jon exv. ammonium (NH_4^+) och kalciumjon (Ca^{2+}).
Markvatten	Vatten i markens omättade zon (ovanför grundvattenytan) d.v.s. där markens porer är fyllda med både vatten och luft.
Mineralisering	Biologisk nedbrytning av organiska ämnen till oorganiska ämnen som koldioxid, vatten och mineralsalter.
Nitrifikation	Mikrobiell process som omvandlar ammonium till nitrat.
Organiskt material	Material som härstammar från växter och djur.
Specifik avrinning	Vattenföringen dividerat med avrinningsområdets area.
Utlakning	Transport av ämne från mark via vatten till sjöar och vattendrag.
Utströmningsområde	Område där grundvattenmagasinet huvudsakligen tappas av (till sjöar och vattendrag). Ligger i angränsning till våta områden, sjöar och vattendrag.
Ytvatten	Hav, sjöar och vattendrag (vatten på jordens yta).

Innehåll

Sammanfattning.....	7
Yngern och dess avrinningsområde	10
Något om kväve och fosfor i våra mark- och vattnekosystem.....	10
Kväve (N).....	10
Fosfor (P).....	12
Effekter av olika skogsskötselåtgärder på mark och vatten.....	12
Kalavverkning.....	12
Etapptvis kalavverkning av sluttningar.....	15
Skörd av GROT.....	16
Föryngring under skärm	17
Körning i skogsmark.....	17
Markberedning.....	18
Bränning.....	19
Kvävegödsling.....	20
Kunskapsluckor.....	20
Allmänna råd om skogsbruk i Yngerns avrinningsområde.....	22
Exempel på skogsskötsel runt Yngern.....	23
Fastighet Lövnäsberg	24
Fastighet Bredvik	26
Transport av olika ämnen till ytvatten.....	27
Hur rör sig vattnet i marken?	27
Betydelsen av att göra en åtgärd i olika delar av avrinningsområdet.....	30
Tackord.....	30
Referenser.....	30
Muntliga meddelanden.....	33

Sammanfattning

Yngern är en sörmländsk sjö med en unik bottenfauna och dricksvattenkvalitet. Arbetet med att bevara dessa särdrag har pågått i mer än tio år. Föreliggande rapport är ett led i detta arbete, och den sammanfattar den kunskap som finns om miljöeffekterna på vatten av olika skogsskötselmetoder. Syftet är att ge skogsägarna runt Yngern mer kunskap om hur skogsbruk påverkar vatten så att skogsägarna själva kan ta erforderlig hänsyn i sitt brukande av skogen. Rapporten redovisar också viktiga kunskapsluckor inom detta forskningsområde. Följande råd och rekommendationer ges för skogsskötseln i Yngerns avrinningsområde:

Generella rekommendationer för skogsbruk i ett känsligt avrinningsområde:

- Planera alla åtgärder utifrån både ett skogsbruksperspektiv och ett vattenvårdsperspektiv. Var i avrinningsområdet skall åtgärden utföras? Vilka förhållanden råder där, exempelvis in- eller utströmningsområde, närhet till ytvatten, vattendrag eller vattentäkt/brunn, risk för erosion? När bör åtgärden utföras med tanke på vädret, årstiden, den biologiska aktiviteten på land och i vatten och andra planerade åtgärder?
- Ta störst hänsyn närmast sjön och längs tillrinnande vattendrag, d.v.s. i utströmningsområden och kantzoner. Undvik körning, markberedning, virkeslagring och användning av kemiska preparat i dessa områden.
- Ju större areal som årligen behandlas, desto större årlig påverkan på sjön. Detsamma gäller i ett rumsligt perspektiv, d.v.s. ju större areal som behandlas i en del av avrinningsområdet, desto större lokal påverkan. Det senare kan vara viktigt då man planerar sitt skogsbruk runt känsliga vattendrag eller områden i nära anslutning till sjön.
- Vid kalavverkning bör man försöka etablera det nya beståndet så snart som möjligt men med minsta möjliga störning av marken.
- Alla typer av kemikalier, exempelvis oljor, bensin, permetrinbehandlade plantor, stubbehandlingspreparat och gödselmedel, skall nyttjas och hanteras med stor försiktighet. Detta innebär att man skall undvika spill, utföra maskinreparationer och hantera kemikalierna långt från öppet vatten och utströmningsområden.
- Anlita duktiga, gärna certifierade entreprenörer.

Rekommendationer om hur olika skogsskötselmetoder bör tillämpas i Yngerns avrinningsområde:

Kalavverkning

Utlakningen av nitrat ökar sannolikt vid kalavverkning i Yngerns avrinningsområde. Gissningsvis kommer utlakningen att vara förhöjd under en 5-årsperiod. En ökad utlakning av nitrat ökar försurningen och kan försämra dricksvattenkvaliteten, vilket är viktigt att undvika för små barn. Hur utlakningen av fosfor kommer att påverkas går inte att förutsäga, men det torde vara viktigt att minimera erosionen för att förhindra att fosfortillförseln ökar. En ökad tillförsel av fosfor ökar näringsnivån i Yngern, vilket inte är önskvärt.

Anpassa avverkningen till de lokala förhållandena. Bedöm vart det kommande läckaget av näring och vatten kommer att ta vägen genom att bedöma hur marken lutar. Utöver en inspektion i fält kan den topografiska kartan vara till hjälp. Finns det känsliga områden på land (exempelvis privata brunnar) eller i vatten som kommer att påverkas? I känsliga områden kan föryngring under skärm vara ett bättre alternativ än kalavverkning mot både näringsutlakning, försumpning och sedimenttransport, förutsatt att föryngringsresultatet blir bra.

Bedöm risken för erosion genom att undersöka marklutning och jordart. På branta sluttningar med finkorniga jordar är risken för erosion störst. Lämna alltid en kantzon mot Yngern och längs tillrinnande vattendrag. I de fall diken (obs! ej biologiskt fungerande bäckar) från hyggen mynnar i sjön/bäcken kan massaved läggas i diket för att förhindra utförsel av sediment. Sten kan också användas om det inte leder till att diket märkbart däms upp. Då sedimenttransporten avtagit bör man rensa diket.

Kantzoner

Det finns stora kunskapsluckor om kantzonens betydelse som näringfälla. Kantzonen har dock en viktig funktion för biologin i vattendrag. Lämna därför kantzoner längs vattendragen i området kring Yngern. Om kantzonen skulle blåsa ner och blockera en stor del av vattendraget, så rensa vattendraget från nedfallna träd. Enstaka nedfallna träd kan ligga kvar. Kantzoner torde även minska en eventuell sedimenttransport vid avverkning och markberedning. Därför bör kantzoner lämnas eller skapas även längs Yngern. Exakt hur kantzonerna bör se ut eller skapas går inte att säga med dagens kunskap utan får baseras på erfarenhet från området. Stormfasta kantzoner med en förhållandevis hög lövandel bör emellertid eftersträvas.

Etappvis kalavverkning av sluttningar

De branta sluttningar med små bestånd som omsluter stora delar av Yngern, bedömer jag som för små för etappvis avverkning då vi dessutom inte vet om åtgärden får avsedd effekt på utlakningen. I dessa fall är det bättre att lämna kantzoner längs Yngern.

Skörd av GROT

Skörd av GROT bör inte ske i någon större omfattning i Yngerns avrinningsområde. På huvuddelen av hyggena bör endast den mängd ris som krävs för att underlätta föryngringen tas bort. Skörd av GROT vid slutavverkning minskar nitratutlakningen, vilket är bra för mark och vatten, men GROT-skörd utan askåterföring minskar markens buffringsförmåga mot försurning. Detta är inte önskvärt, särskilt i Yngerns avrinningsområde. Tillförsel av vedaska bör dock

undvikas runt Yngern eftersom miljöeffekterna av detta inte är helt klarlagda och hanteringen av aska utgör en risk i sig.

Föryngring under skärm

Föryngra gärna under skärm på lämpliga marker, men notera att vi ännu inte vet om det alltid ger avsedd effekt på utlakningen.

Körning i skogsmark

Minimera körskadorna genom att välja lämplig körmetod och tidpunkt. Undvik att köra i utströmningsområden, kantzoner, över våtmarker och i och över vattendrag. Om ett vattendrag måste korsas, så använd en portabel bro att köra över.

Användning av oljor

Använd biologiskt nedbrytbar hydraulolja. Biologiskt nedbrytbar hydraulolja finns på Sveriges Provnings- och Forskningsinstituts lista (http://www.sp.se/km/sv/tekn_tj/kmo/hydraul.htm) och är märkt SS 15 54 34 Miljöanpassad. Välj en sågkedjeolja som till stor del är gjord på en vegetabilisk råvara. Iaktta stor försiktighet vid hantering och körning nära vatten. Utför eventuella reparationer långt från öppet vatten och utströmningsområden. Minimera oljeläckaget genom att underhålla maskinerna väl och använda de tekniska möjligheter som finns för att minska risken för spill, exempelvis slutna påfyllningsanordningar och ställbar doseringsutrustning för kedjesmörjning.

Markberedning

Att markbereda är ofta nödvändigt för att fort få upp ny skog, vilket i sin tur minskar näringstransporten till ytvatten. Den största risken med markberedning för Yngerns del är sannolikt den ökade risken för erosion och sedimenttransport. Markbered så skonsamt som möjligt och på minsta möjliga yta. Fläckvis markberedning är att föredra framför kontinuerliga markberedningsmetoder. Undvik att markbereda i utströmningsområdena längs Yngern och längs tillrinnande bäckar.

Bränning

Så länge den brända arealen inom Yngerns avrinningsområde förblir liten, kommer eventuella negativa effekter av denna aktivitet att ha ringa betydelse för vattenkemin i Yngern.

Kvävegödsling

Undvik gödsling med kväve. Ett visst läckage av kväve erhålls alltid direkt efter kvävegödsling och hanteringen av gödselmedel innebär i sig en risk för läckage. Yngern ligger i området där Skogsstyrelsen rekommenderar en total högsta giva på 300 kg kväve per hektar och omloppstid, men eftersom Yngern är en känslig sjö bör denna produktionshöjande åtgärd undvikas.

Yngern och dess avrinningsområde

Yngern ligger ca 15 km VSV om Södertälje, strax söder om Gripsholmsviken i Mälaren. Följande beskrivning av Yngern och dess avrinningsområde är baserad på rapporten "Yngern är unik" (1992). Yngern är 14,4 km² stor och ligger i ett 60,7 km² stort avrinningsområde. Yngerns avrinningsområde är präglad av inlandsisarna och genom svallning. Morän och kalt berg dominerar områdena runt sjön. Stränderna är till stor del branta och steniga. Markerna är magra runt de södra delarna av sjön och andelen berg i dagen är stor. Mer bördiga marker med lera och andra finkorniga jordarter förekommer endast i smala stråk i dalgångarna. Två större isälvsavlagringar med grövre material löper genom området (i NV och SÖ delen av avrinningsområdet). Dessa åsar tillför grundvatten av god kvalitet till Yngern, uppskattningsvis i storleksordningen 30–40 liter per sekund (G. Risberg, muntl. medd., SGU, 2001). Detta utgör maximalt ca 10 % av den specifika avrinningen i området. Den största vattentillförseln till Yngern verkar således komma från omgivande mark och inte från åsarna. Årsnederbörden i området är i medeltal ungefär 560 mm och årsmedeltemperaturen 6°C (Alexandersson m. fl., 1991). Yngerns avrinningsområde domineras av skogsmark (66 % motsvarande 40 km²), där Domänverket var den störste markägaren med 20 km² i början på 1990-talet ("Yngern är unik", 1992). Enskilda markägare förfogade över 13,4 km².

Något om kväve och fosfor i våra mark- och vattenekosystem

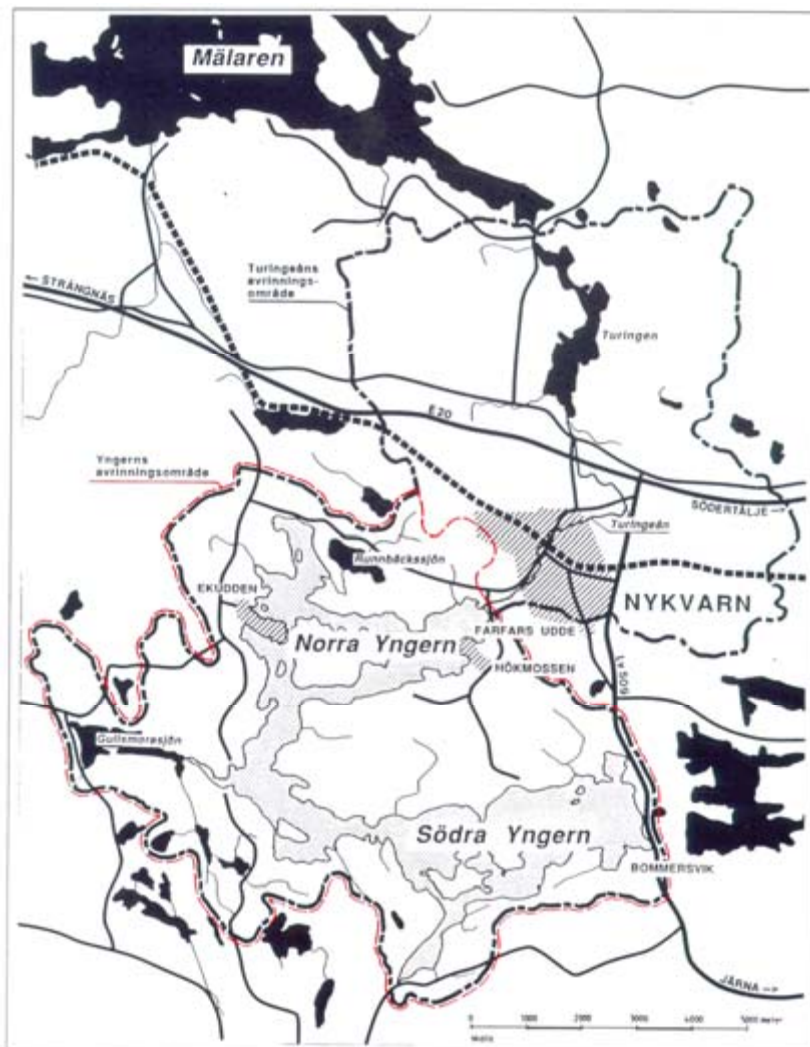
Kväve (N)

Tillgängligheten på kväve är det som reglerar trädutväxten i våra barrskogar. I skogsmark transporteras kvävet huvudsakligen i löst form i vatten. Det faktum att skogen växer, försurar marken, men även andra processer bidrar till försurningen. Kväve bidrar till försurningen av mark och vatten när nitrat (NO₃⁻) lakas ut från marken. Utlakningen av nitrat gynnas av en hög tillförsel av oorganiskt kväve (d.v.s. ammonium och nitrat), exempelvis genom deposition genom nederbörd och partiklar eller vid kvävegödsling, hög nitratbildning i marken (nitrifikation) och att nitrat är en lättlöslig jon i podsoler, som är den dominerande jordmånstypen i Sverige. En ökad utlakning av nitrat medför en ökad utlakning av kationer som exempelvis kalcium, magnesium och kalium. Denna utlakning av kationer försurar marken. Då nitrat bildas genom nitrifikation, bildas även vätejoner som sänker markens eller markvattnets pH-värde. pH-värdet är ett mått på halten vätejoner. Ju högre halt vätejoner, desto lägre pH-värde och surare är det. Då pH-värdet i marken sjunker under ca 4,5 frigörs ofta aluminium och vissa tungmetaller, exempelvis kadmium. Detta kan medföra att även det avrinnande vattnet får förhöjda halter av dessa ämnen. Aluminium kan orsaka att fisk dör, och kadmium och andra tungmetaller har negativa effekter på biologiska system.

Denitrifikation är en mikrobiell process som omvandlar nitrat till lustgas och/eller kvävgas. Denitrifikation förutsätter att tillgången på nitrat är hög och att syrgashalten är låg. Att nitrat omvandlas till kvävgas är ett bra sätt att minska överskott av nitrat i marken, men om i stället lustgas produceras är detta nega-

tivt för miljön. Lustgas bidrar nämligen till den globala uppvärmningen (växt-huseffekten). Ett kilogram lustgas beräknas dessutom ha mer än 300 gånger högre effekt än ett kilogram koldioxid (Hauschild & Wenzel, 1998). Mänsklig aktivitet som ökar utsläppen av oorganiskt kväve eller nitratbildningen i marken ökar således risken för försurning och global uppvärmning. Många skogsskötselåtgärder påverkar kväveomsättningen i marken exempelvis kalavverkning, kvävegödsling och markberedning.

I merparten av de svenska skogarna är utlakningen av kväve låg jämfört med depositionen från luften och via nederbörden. Kväveutlakningen från svensk skogsmark är totalt ca 0,5 – 5 kg per hektar och år (organiskt + oorganiskt kväve). Utlakningen av oorganiskt kväve utgör oftast mindre än 1 kg per hektar och år. Utlakningen från svensk åkermark är i medeltal för hela Sverige ca 20 kg kväve per hektar och år (Johnsson & Hoffmann, 1997). Ovanstående redovisning om kväve baseras på Ring (2001).



Figur 1.
Yngerns (tunn streckad linje) och Turingeåns avrinningsområde (Omarbetad efter "Yngern är unik", 1992).

Fosfor (P)

Fosfor är det ämne som vanligtvis reglerar den biologiska produktionen i våra sötvatten (Persson, 1999). Detta gäller även för Yngern ("Yngern är unik", 1992). I vattenprover analyserar man oorganisk fosfor (fosfat, PO_4^{3-}) och totalfosfor. Skillnaden mellan total-fosfor och oorganisk fosfor benämns övrig fosfor. I marken finns fosfor i mineral och organiskt material. Det finns också bundet i eller till oxider och hydroxider samt till kalcit. I skogsmark, där pH-värdet ofta är relativt lågt, är fosfor hårt bundet till markpartiklarna. Transporten av fosfor från skogsmark till våra ytvatten kan ske både med partiklar och i löst form. I en undersökning från 1980-talet beräknades utlakningen från skogsmark utgöra det största enskilda bidraget av fosfor till sjöar och vattendrag i Sverige (Löfgren & Olsson, 1990). Bidraget till följd av skogsbruk uppskattades vara mycket litet. Detta gäller uppskattningar på nationell basis.

Utlakningen av fosfor från skogsmark i södra Sverige är ca 0,03 – 0,07 kg totalfosfor per hektar och år och 0,008 – 0,02 kg fosfat-fosfor per hektar och år (Westling m.fl., 2001). Utlakningen från svensk åkermark är ca 0,5 kg totalfosfor per hektar och år (Johansson m.fl., 1999; Carlsson m.fl., 2001).

Effekter av olika skogsskötselåtgärder på mark och vatten

Den unika bottenfaunan och goda vattenkvaliteten är det man främst vill bevara i Yngern ("Yngern är unik", 1992). De vattenkemiska variabler som jag bedömer vara viktigast för bottenfaunan och vattenkvaliteten är pH, alkalinitet (d.v.s. buffringsförmåga mot surhet), kväve, fosfor, baskatjoner, aluminium, tungmetaller, syrgashalt och partikulärt material (mäts som siktdjup eller turbiditet). Nedan följer en litteraturöversikt över hur olika skogsskötselåtgärder påverkar mark- och vattenkemin. En viktig fråga som inte belyses i detta arbete är valet av trädslag. Att utreda denna fråga rymms dessvärre inte inom detta projekt. Dikning har inte heller berörts men tas upp av Henriksson (2000), som också ger rekommendationer om hur man bör bedriva skogsbruk vid vatten. Sist i varje avsnitt ger jag min bedömning av om eller hur skogsskötselåtgärden bör användas eller utföras i Yngerns avrinningsområde.

Kalavverkning

Kalavverkning är fortfarande vanligt i svenskt skogsbruk. I dag inbegriper dock detta att man ofta sparar död ved, högstubbar, vissa lövträd och några gamla träd samt ridåer av träd nära våtmarker och ytvatten. Kalavverkning är en skötselåtgärd som radikalt påverkar näringsomsättningen i skogsmark. Borttagandet av ett trädbestånd påverkar många processer som sammantaget oftast leder till ökad utlakning av nitrat. En viktig orsak till att utlakningen av nitrat ökar är att trädens upptag av kväve upphör. Dessutom ökar nitratbildningen och avrinningen (p.g.a. minskad avdunstning) efter avverkning. Dessa tre processer medför att nitratutlakningen ökar efter avverkning. Bildning och utlakning av nitrat är nyckelprocesser, som även kan påverka andra viktiga vattenkemiska variabler exempelvis pH, alkalinitet, aluminium och vissa tungmetaller.

Det finns dock processer som bidrar till att förhindra eller minska nitratutlakningen från hyggen, exempelvis att hyggesvegetationen tar upp kväve samt denitrifikation. En snabbt expanderande hyggesvegetation anses ofta negativ (för föryngringen), men för vattenkvaliteten kan hyggesvegetationens upptag av kväve vara positiv på kort sikt. På längre sikt torde det dock vara viktigt för utlakningen att hyggesvegetationen inte anmärkningsvärt hindrar föryngringen. Förutsättningarna för denitrifikation ökar efter kalavverkning, eftersom nitratbildningen och grundvattenytan ofta är förhöjda på hyggen. Att marken blir vattensjuk innebär att syrgashalten minskar. Detta i kombination med höga nitrathalter utgör förutsättningarna för denitrifikation. Att nitrat omvandlas till kvävegas är ett bra sätt att minska överskott av nitrat i marken, men om i stället lustgas produceras är detta negativt för miljön (se sidan 10). Då ej annat anges baseras ovanstående beskrivning av avverknings effekter på Ring (2001).

Fosfor har studerats i liten omfattning jämfört med kväve. Internationellt sett har man observerat både ökning, minskning och nollpåverkan på fosforhalt eller utlakning efter avverkning (Binkley & Brown, 1993; Evans m.fl., 2000). I en mellansvensk studie i avrinningsområden i Kloten, Västmanland, ökade fosfat-utlakningen efter avverkning (Grip, 1982). I en finsk studie i torvmarksrika avrinningsområden ökade halten total-fosfor och fosfat-fosfor 4–5 gånger efter avverkning (Ahtiainen & Huttunen, 1999). Transporten av partikelbunden fosfor kan också öka efter kalavverkning p.g.a. ökad erosion.

Grip (1982) fann också att utlakningen av vätejoner minskade med sammantaget nästan 40 % under de första tre-fyra åren efter avverkning. Under det tredje året tenderade dock vätejonutlakningen att öka. Utlakningen av katjoner d.v.s. kalcium, magnesium, natrium och kalium, ökade med 19–480 % under samma period och anjonerna sulfat och klorid med 17 respektive 56 %. Även i en liknande studie av avrinningsområden i Hälsingland ökade utlakningen av katjoner, sulfat och klorid efter avverkning p.g.a. den ökade avrinningen (Rosén m.fl., 1996). De här två studierna representerar relativt lika marker och klimat.

Yngern: Utlakningen av nitrat ökar sannolikt vid kalavverkning i Yngerns avrinningsområde. Gissningsvis kommer utlakningen att vara förhöjd under en 5-årsperiod. En ökad utlakning av nitrat ökar försurningen och kan försämra dricksvattenkvaliteten, vilket är viktigt att undvika för små barn. Hur utlakningen av fosfor kommer att påverkas går inte att förutsäga, men det torde vara viktigt att minimera erosionen för att förhindra att fosfortillförseln ökar. En ökad tillförsel av fosfor ökar näringsnivån i Yngern, vilket inte är önskvärt.

Anpassa avverkningen till de lokala förhållandena. Bedöm åt vilket håll det kommande läckaget av näring och vatten kommer att ta vägen genom att bedöma hur marken lutar. Utöver en inspektion i fält kan den topografiska kartan vara till hjälp. Finns det känsliga områden på land (exempelvis privata brunnar) eller i vatten som kommer att påverkas? I känsliga områden kan föryngring under skärm vara ett bättre alternativ än kalavverkning mot både näringsutlakning, försumpning och sedimenttransport, förutsatt att föryngringsresultatet blir bra.

Bedöm risken för erosion genom att undersöka marklutning och jordart. På branta sluttningar med finkorniga jordar är risken för erosion störst. Lämna alltid en kantzon mot Yngern och längs tillrinnande vattendrag. I de fall diken (obs! ej biologiskt fungerande bäckar) från hyggen mynnar i sjön/bäcken kan massaved läggas i diket för att förhindra utförsel av sediment. Sten kan också användas om det inte leder till att diket märkbart däms upp. Då sedimenttransporten avtagit bör man rensa diket.

Kantzoner

Kantzoner, d.v.s. smala bårder med vegetation längs våtmarker och vattendrag, lämnade i samband med kalavverkning är viktiga för att skydda biologiska värden i kantzonerna och vattendragen (Bergquist, 1999). Kantzoner har även föreslagits kunna minska transporten till vattendrag av näring som frigjorts från intilliggande mark exempelvis jordbruksmark eller kalhyggen. De processer som potentiellt kan bidra till en minskad transport är näringsupptag i vegetationen, denitrifikation, fastläggning av sediment i kantzonen och stabilisering av strandkanten. De generella rekommendationer som Bergquist (1999) ger i sin litteraturöversikt om kantzoner är att kantzonerna oftast gör störst nytta om de avsätts längs de mindre vattendragen högt upp i avrinningsområdet. Kantzonerna bör vara sammanhängande och avsättas på båda sidor om vattendraget. Vegetationen bör vara flerskiktad och bredden på zonen är beroende av vattendragens storlek, vattendragstyp och skyddsvärden och strandmiljöernas mark- och vegetationsförhållanden. De funktioner som skyddszonerna skall uppfylla är enligt Bergquist (1999) begränsning av erosion, fastläggning av sediment, upptag av näring, utjämning av vattenflöden av vattentemperaturen, reglering av ljusinflödet till vattendraget och tillförsel av organiskt material som löv och död ved. För det biologiska livet i vattendraget är lövförna viktig som födokälla. Detta innebär att man bör eftersträva en större andel lövträd längs vattendragen än som tidigare varit brukligt i svenskt skogsbruk. Ett större lövinslag i kantzonen kan eventuellt påverka zonens effektivitet som näringsfälla. Bergquist (1999) påpekar att kunskapen är liten om hur kantzoner fungerar som näringsfällor på vintern då utlakningen kan vara stor.

Olika metoder för att skapa kantzoner har föreslagits exempelvis:

1. lämna kvar den avverkningsmogna skogen i kantzonen vid slutavverkning,
2. kalavverka kantzonen vid sista gallringstillfället och lämna några gamla stormfasta träd,
3. glesa ur kantzonen vid slutavverkning för att gynna lövet.

Några riktvärden enligt Bergquist (1999) för hur bred en kantzon bör vara är 10–15 m för att ge effekt på näringsutlakning och sedimenttransport och 20–30 m för att tillgodose alla biologiska krav.

På jordbruksmark har man funnit att kantzoner effektivt minskat transporten av kväve, fosfor och sediment (Bergquist, 1999). Kantzoner på skogsmark är däremot lite studerade och erfarenheterna från jordbruksmark kan inte direkt överföras till skogsmark. Skogs- och jordbruksmark skiljer sig ofta exempelvis beträffande topografi, jordart, jordmån och gröda. Det pågår för närvarande tre svenska studier om kantzoners effekter på vattenkemin i skogsdominerade avrinningsområden. I två skogsklädda avrinningsområden i Gästrikland och

Småland undersöker man trädslagets betydelse i kantzonen för bäckvattenkemin. Under de första tre-fyra årens mätningar har man inte funnit några effekter av trädslaget på vare sig bottenfauna (mäts endast i Gästrikland) eller vattenkemi (Örlander, 2000; L. Högbom, muntl. medd., SkogForsk, 2002). I ett försök i Halland består den 10–15 m breda kantzonen av avverkningsmogen gran, som lämnats nedanför ett hygge, och närmast bäcken har man ett upp till en halv meter tjockt torvtäcke. Preliminära resultat från de första åren tyder på att kantzonen minskat utlakningen av kväve från det angränsande kalhygget till vattendraget (Jacks & Norrström, 2001; Norrström, 2002). Orsaken är troligen till stor del denitrifikation medan näringsupptaget i skogsbeståndet sannolikt varit litet p.g.a. att för få träd sparats. I en finsk studie i torvmarksdominerade områden minskade en 30–50 m bred skyddszon tydligt effekterna på sedimenttransport, fosfor och kväve av kalavverkning och markberedning (Ahtiainen & Huttunen, 1999).

Yngern: Det finns stora kunskapsluckor om kantzonens betydelse som näringfälla. Kantzonen har dock en viktig funktion för biologin i vattendrag. Lämna därför kantzoner längs vattendragen i området kring Yngern. Om kantzonen skulle blåsa ner och blockera en stor del av vattendraget, så rensa vattendraget från nedfallna träd. Enstaka nedfallna träd kan ligga kvar. Kantzoner torde även minska en eventuell sedimenttransport vid avverkning och markberedning. Därför bör kantzoner lämnas eller skapas även längs Yngern. Exakt hur kantzonerna bör se ut eller skapas går inte att säga med dagens kunskap utan får baseras på erfarenhet från området. Stormfasta kantzoner med en förhållandevis hög lövandel bör emellertid eftersträvas.

Etapptvis kalavverkning av sluttningar

En metod som föreslagits för att minska utlakningen av näring vid slutavverkning är etappvis avverkning av sluttningar i tvärsektioner (Lundmark, 1988). På så vis är det tänkt att nedanförliggande skogsklädd mark skall kunna utnyttja den näring som frigörs från ovanliggande mark. Effekterna av denna avverkningsform har inte studerats under svenska förhållanden. I Nordamerika har man provat s.k. *strip felling* (Martin & Pierce, 1980; Martin m.fl., 1984). I dessa studier har man avverkat många smala sektioner i en sluttning. För svenska förhållanden är det mer realistiskt att dela upp en sluttning i två delar plus en kantzon (beroende på sluttningens längd och yta). De nordamerikanska studierna ger inte svar på den mest grundläggande frågan d.v.s. om etappvis avverkning minskar den totala utlakningen. Ett troligt antagande beträffande etappvis kalavverkning är att utlakningen till ytvatten blir lägre på årlig basis, jämfört med avverkning av hela sluttningen vid ett tillfälle, men mer utspridd över tiden. Dessutom är ju förhoppningen att nedanförliggande skog skall ta upp överskottet av kväve från ovanför liggande hygge.

Yngern: De branta sluttningar med små bestånd som omsluter stora delar av Yngern, bedömer jag som små för etappvis avverkning då vi dessutom inte vet om åtgärden får avsedd effekt på utlakningen. I dessa fall är det bättre att lämna kantzoner längs Yngern.

Skörd av GROT

Merparten av trädens växtnäring ovan jord finns i grenar och barr. Skörd av grenar, toppar och barr (GROT) har föreslagits som en metod att minska kväveutlakningen i hyggesfasen. Resultaten tyder på att nitratudlakningen blir lägre efter helträdsavverkning jämfört med konventionell avverkning av enbart stammar (Egnell m.fl., 1998). Orsaken till den lägre nitratudlakningen från risfri än från ristäkt mark är sannolikt att riset skapar ett gynnsammare mikroklimat för mikroorganismerna, vilket ökar mineraliseringen (Emmett m.fl., 1991). Även under stora rishögar som tillkommit vid maskinell slutavverkning har man funnit att kvävehalten varit förhöjd (Rosén & Lundmark-Thelin, 1987). Detta berodde troligen också på ökad nedbrytning men även på att det blev mindre vegetation under högen som kunde ta upp kväve. Egnell m.fl. (1998) förespråkar att förlusterna av näring och buffringsförmåga mot försurning p.g.a. uttag av GROT måste kompenseras, exempelvis genom askåterföring. De konstaterar också att man bör vara extra försiktig med att skörda GROT på fuktiga och blöta fastmarker samt på mycket bördiga marker bland annat p.g.a. att man vet för lite om miljöeffekterna av att återföra aska på dessa marker.

Biobrännslaska innehåller alla näringsämnen som fanns i biomassan utom kväve men i mer löslig form. Dessutom har tungmetallinnehållet i biomassan koncentrerats i askan. För att inte orsaka skador på mark, vegetation, vatten och människa måste man göra askan mindre löslig före spridning exempelvis i form av pellets eller granuler. Aska bör inte tillföras på färsk hyggen eller nära en förestående slutavverkning för då kan nitratudlakningen öka (Ring m.fl., 1999). Risken för negativa effekter på vatten av att sprida aska minskar om:

1. askan är en ren biobrännslaska (d.v.s. ingen stödeldning med olja eller dylikt får ha skett, då detta ökar tungmetallinnehållet i askan),
2. askan är behandlad så att den löser upp sig långsamt,
3. givan är väl anpassad till GROT-uttaget d.v.s. man tillför ungefär lika mycket näring som man tagit bort och
4. spridningen sker i inströmningsområden så jämnt som möjligt.

Yngern: Skörd av GROT bör inte ske i någon större omfattning i Yngerns avrinningsområde. På huvuddelen av hyggena bör endast den mängd ris som krävs för att underlätta föryngringen tas bort. Skörd av GROT vid slutavverkning minskar nitratudlakningen, vilket är bra för mark och vatten, men GROT-skörd utan askåterföring minskar markens buffringsförmåga mot försurning. Detta är inte önskvärt, särskilt i Yngerns avrinningsområde. Tillförsel av vedaska bör dock undvikas runt Yngern eftersom miljöeffekterna av detta inte är helt klarlagda och hanteringen av aska utgör en risk i sig.

Föryngring under skärm

En skärm har till uppgift att både beså marken och att skapa en miljö som gynnar den uppväxande föryngringen (Hannerz & Gemmel, 1994). En vanlig definition på en skärm är att stamantalet överstiger 150 stammar per hektar. Skärmar kan bestå av tall, gran, björk eller kombinationer av trädslag. Råd om hur man kan använda skärmar för att föryngra gran ges av Glöde & Sikström (2001). En ny svensk studie visar att talldominerade skärmar på frisk mark effektivt kan minska kväveläckaget den första tiden efter att skärmen lämnats jämfört med kalavverkning (Nilsson m.fl., 2000). Vad som händer när skärmen avvecklas är inte klart. De tre provytorna i studien representerar inströmningsområden. Vilken effekt som en skärm i ett utströmningsområde eller på fuktigare mark ger vet vi mycket lite om. En studie om skärmar på torvmark redovisar snarast en initial ökning av nitrat- och total kväveutlakningen jämfört med ren kalavverkning (Lundin, 1998). Ett generellt råd vid skärmställning är att försöka undvika stormfällning, vilket skapar sår i marken och skadar föryngringen. Skärmskogsbruk innebär extra körning i beståndet, vilket kan ha betydelse för miljön (se nedan).

Yngern: Föryngra gärna under skärm på lämpliga marker, men notera att vi ännu inte vet om det alltid ger avsedd effekt på utlakningen.

Körning i skogsmark

Körskador

Körning med skogsmaskiner vid fel tidpunkt eller på fel ställen kan medföra att det bildas djupa spår i marken, att marken kompakteras och att humusskiktet rivs upp eller rörs om. Exakt vilken påverkan detta har på mark och vatten vet vi inte, men ökad sedimenttransport kan vara en möjlig effekt. Det är främst skotningen som orsakar skador på marken. I dag finns ett antal metoder för att minimera markskadorna nämligen risning för att öka bärigheten på svaga partier, olika typer av broar och olika metoder/hjälpmiddel för att minska skotarens marktryck (F. Staland, muntl. medd., 2002). En mycket viktig faktor för att minimera körskador är att planera basvägar och eventuella överfarter i god tid före avverkningen (F. Staland, muntl. medd., 2002). För att minimera skadorna på marken, och eventuell medföljande erosion, bör drivningen ske då marken har god bärighet exempelvis på vintern då marken är ordentligt tjälad och gärna snötäckt. Körning över våtmarker och i och över vattendrag bör helt undvikas. Om ett vattendrag måste korsas, så använd en portabel bro att köra över.

Yngern: Minimera körskadorna genom att välja lämplig körmetod och tidpunkt. Undvik att köra i utströmningsområden, kantzoner, över våtmarker och i och över vattendrag. Om ett vattendrag måste korsas, så använd en portabel bro att köra över.

Läckage av olja, smörjfett och bensin

Användning av skogsmaskiner innebär en risk för läckage av olja (hydraul- och sågkedjeolja), smörjfett och diesel. Ett läckage av sågkedjeolja och smörjfett förekommer alltid. Läckaget är detsamma som förbrukningen om man räknar bort förbrukningen vid hydrauloljebbyte och reparation. Sågkedjeoljan sprids på marken över stora områden men binds också delvis till stockarna och sågspå-

net som produceras vid avverkning och kapning (Athanassiadis m.fl., 1999). Läckage av hydraulolja och diesel beror på fel på utrustningen, på haverier eller på hanteringen och sker punktvis. En studie från 1996 visar att en- och två-greppsskördare i genomsnitt förbrukade, d.v.s. läckte, drygt 30 liter hydraulolja, 35 respektive 21 liter sågkedjeolja och 2 respektive 1 kg smörjfett per 1 000 m³ avverkad skog i Sverige (Athanassiadis m.fl., 1999). För skotare var motsvarande förbrukning av hydraulolja i medeltal 17 liter och förbrukningen av smörjfett 1,5 kg. Vid ett hydraulslangsbrott har man uppmätt läckage på upp till 60 liter hydraulolja (data från fältuppföljning till rapporten av Johansson (1994)).

Hydrauloljors miljöegenskaper granskas av Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) enligt en Svensk Standard (Svensk Standard 15 54 34, Hydraulvätskor-Krav och provningsmetoder). De oljor som är granskade och uppfyller denna standard är märkta med exempelvis ”Hydraulvätska SS 15 54 34 AV32 Miljöanpassad” och återfinns på SPs hemsida (http://www.sp.se/km/sv/tekn_tj/kmo/hydraul.htm), som revideras fortlöpande. Märkningen ”AV32” visar olika egenskaper hos oljan och dessa koder förklaras i standarden. Det finns ännu ingen svensk standard för granskning av sågkedjeoljor. En tumregel som kan användas vid val av sågkedjeolja är dock att välja en olja som till stor del baserats på en vegetabilisk råvara (L. Johansson, muntl. medd., 2001). Den vegetabiliska råvaran innebär att den har god biologisk nedbrytbarhet. De faktorer som i stor utsträckning påverkar läckaget från skogsmaskiner är åldern på maskinen och underhållet (L. Johansson, muntl. medd., 2001). Man kan minimera läckaget genom att installera en doseringsutrustning för kedjesmörjning på maskinen och genom att underhålla maskinen noggrant. Dessutom finns det anordningar för att minska risken för läckage vid tankning och påfyllning av olja.

Yngern: Använd biologiskt nedbrytbar hydraulolja. Biologiskt nedbrytbar hydraulolja finns på Sveriges Provnings- och Forskningsinstituts lista (http://www.sp.se/km/sv/tekn_tj/kmo/hydraul.htm) och är märkt SS 15 54 34 Miljöanpassad. Välj en sågkedjeolja som till stor del är gjord på en vegetabilisk råvara. Iakttäta stor försiktighet vid hanteringen och vid körning nära vatten. Utför eventuella reparationer långt från öppet vatten och utströmningsområden. Minimera oljeläckaget genom att underhålla maskinerna väl och använda de tekniska möjligheter som finns för att minska risken för spill, exempelvis slutna påfyllningsanordningar och ställbar doseringsutrustning för kedjesmörjning.

Markberedning

Markberedning utförs för att gynna förnygringen och skyddar bl.a. plantorna från att angripas av snytbaggas. I dag markbereds ungefär hälften av den totala markberedda ytan genom harvning i Sverige. Resterande yta markbereds genom högläggning och fläckmarkberedning (Ring, 2001). Trots att den mekaniska markberedningen har varit en vanlig skogsskötselåtgärd i flera årtionden så är många av dess miljöeffekter fortfarande okända. Liksom när det gäller avverkning så har forskningen huvudsakligen koncentrerats på effekterna på kväve. Denna forskning har sammanfattats av Ring (2001) och återges nedan.

Många av de mekaniska markberedningsmetoderna innebär att det organiska markskiktet vänds och begravs under mineraljord. Detta ökar nedbrytningen av organiskt material och frigörelsen av näring i högen, vilket ökar risken för kväveutlakning. I Sverige och Finland har man studerat mark- och vattenkemiska effekter av mekanisk markberedning på ett par magra och ett par bördiga ståndorter. Sammanfattningsvis kan man säga att markberedningen ökar kväveomsättningen i högarna och minskar omsättningen i fårorna/groparna. Denna ökning och minskning tycks ta ut varandra så att nettoeffekten blir nära noll. Effekterna av markberedningen på det avrinnande vattnet torde därmed vara liten. I Finland fann man en liten ökning av nitrathalten i avrinningsvattnet efter plöjning (Kubin, 1998) och ännu opublicerade data från ett försök i Härjedalen visar att nitrathalten i markvattnet med tiden blev lägre i harvad mark än i ostörd mark (E. Ring, SkogForsk, opublicerade data). Orsaken till detta är än så länge okänd. Markberedning kan öka sedimenttransporten i vattendrag p.g.a. ökad erosion (Ahtiainen & Huttunen, 1999). Effekterna beror sannolikt på jordart, marklutning, markberedningsmetod och utförande. Kraftiga effekter kan exempelvis förväntas vid kontinuerlig harvning upp och ner längs en brant sluttning med erosionskänslig jord, medan inversmarkberedning och annan typ av fläckvis markberedning på platt ej erosionskänslig mark sannolikt ger den minsta påverkan. Såvitt jag känner till finns det inga svenska studier angående sedimenttransport till följd av markberedning.

Yngern: Att markbereda är ofta nödvändigt för att få upp ny skog fort, vilket i sin tur minskar näringstransporten till ytvatten. Den största risken med markberedning för Yngerns del är sannolikt den ökade risken för erosion och sedimenttransport. Markbered så skonsamt som möjligt och på minsta möjliga yta. Fläckvis markberedning är att föredra framför kontinuerliga markberedningsmetoder. Undvik att markbereda i utströmningsområdena längs Yngern och längs tillrinnande bäckar.

Bränning

Bränder har förekommit i Yngerns avrinningsområde ("Yngern är unik", 1992). Skogsbränder är en naturlig störning i den boreala skogen, men en störning som på senare tid blivit mer ovanlig p.g.a. effektiv brandbekämpning. Tidigare var hyggesbränning en vanlig markberedningsmetod. Syftet med dagens bränning är främst att gynna biodiversiteten. Åtgärden påverkar dock även mark- och vattenkemin, vilket beskrivs nedan enligt Ring (1997).

Bränning ökar pH i markytan genom att basisk aska bildas. Från vattenvårdssynpunkt kan detta vara bra mot försurning på kort sikt. På lång sikt kan försurningen av både mark och vatten öka. Bränningens buffrande verkan mot försurning kan inte jämföras med exempelvis en kalkning eftersom inga nya baskatjoner tillförs. De baskatjoner som bidrar till buffringen av marken efter en brand kommer från biologiskt material, d.v.s. träd, buskar, ris och humus, vars baskatjoner ursprungligen härstammar från marken. I opåverkad skog cirkulerar näringen i ett relativt slutet kretslopp. En bränning innebär att denna cirkulation radikalt förändras. Baskatjoner riskerar att transporteras bort från marken, eftersom bränningen omvandlar det organiskt bundna katjonerna till mer lösliga, oorganiska föreningar. Detta kan på sikt leda till att försurningen av marken sker snabbare än om bränningen inte genomförts. Vattnets

surhet, och känslighet för försurning, torde dock minska närmast efter branden till följd av den ökade tillförseln av buffrande ämnen. Därefter torde både mark och vatten vara mer försurade än ett jämförbart, obränt skogsområde. Hur den fortsatta utvecklingen blir beror bl.a. på om marken beskogas med barrträd eller lövträd.

Fosforhalten i aska som bildas vid skogs- och hyggesbränder kan vara många gånger högre än i obränt material, vilket medför att borttransport av aska med vind och vatten kan vara viktig för förlusten av fosfor från området. Hyggesbränning kan långvarigt minska markens totala fosforförråd. Kväve förgasas vid de flesta skogs- och hyggesbränder. Det mesta av kvävet som frigörs vid brand avges till luften, men en del transporteras ner i marken och återfinns i form av ammonium. Hyggesbränning är en viktig post i en skogs kvävebudget. Nitratbildning, kvävgasfixering och kvävemineralisering (omvandling av organiskt kväve till oorganiskt kväve) påverkas sannolikt av brand men hur, och i vilken omfattning, är bristfälligt belyst för svenska förhållanden. De få studier som finns visar att det finns risk för att nitratbildningen ökar efter brand. Det tycks emellertid inte vara frågan om några dramatiska effekter. Direkt efter brand har kemiska förändringar observerats i avrinnande vatten i internationella studier. Dessa förändringar berodde troligen på direkttilförsel av aska och att rökgaser löste sig i vattnet. De mest entydiga resultaten rör fosfor och katjoner. Brand tycks inte nämnvärt påverka fosforhalten i vare sig mark-, grund- eller rinnande vatten, medan katjonhalten ofta tycks öka.

Yngern: Så länge den brända arealen inom Yngerns avrinningsområde förblir liten, kommer eventuella negativa effekter av denna aktivitet att ha ringa betydelse för vattenkemin i Yngern.

Kvävegödsling

Att gödsla skog med kväve ökar stamvedstillväxten och är ekonomiskt lönsamt i många typer av skog. Det har bedrivits och bedrivs mycket forskning om miljöeffekter av skogsgödsling med kväve. En god överblick ges av Nohrstedt och Westling (1995). Ytterligare en omfattande och kompletterande rapport från forskningsprogrammet N2002, som koordineras av SkogForsk, kommer att publiceras under år 2002.

Yngern: Undvik gödsling med kväve. Ett visst läckage av kväve erhålls alltid direkt efter kvävegödsling och hanteringen av gödselmedel innebär i sig en risk för läckage. Yngern ligger i området där Skogsstyrelsen rekommenderar en total högsta giva på 300 kg kväve per hektar och omloppstid, men eftersom Yngern är en känslig sjö bör denna produktionshöjande åtgärd undvikas.

Kunskapsluckor

Det har redan framgått att det saknas en mängd kunskap om hur olika skogsskötselåtgärder påverkar kemin i mark- och ytvatten. Nedan går jag igenom några frågor som jag tycker är viktiga att belysa i framtida forskning om skogsskötselåtgärders effekter på vattenkemi.

Fosfor

Ytterligare forskning om olika skogsskötselåtgärders effekter på fosfor är angelägen. Främst bör man inrikta denna forskning på effekter av slutavverkning med och utan kantzoner samt markberedning. Genomgående i forskningen om miljöeffekter av olika skötselåtgärder är att man fokuserat på effekterna på kväve, vilket är befogat ur många aspekter. Viktigt för våra inlandsvatten inklusive Yngern är dock effekterna på fosfor, eftersom fosfor begränsar den biologiska produktionen i sötvatten.

Föryngringsavverkning

Ytterligare kunskap om olika metoder för föryngringsavverkning behövs, främst kalavverkning och skärmföryngring. Kalavverkning är en skötselmetod som dramatiskt påverkar vattenflöden och näringsomsättning i skogen. Att lämna skärmar tycks kunna vara ett sätt att minska denna påverkan, men kunskaperna om detta är ringa. Hur sker utlakningen av kväve (och fosfor) från marker med olika bördighet? Kan man koppla avverkningseffekten till egenskaper som kvoten mellan kol och kväve i marken, kvävedeposition, geografiskt läge, temperatursumma m.m.? Om man kan koppla olika skogsskötselåtgärder till egenskaper hos ett område skulle det finnas en möjlighet att göra uppskattningar för hur olika skötselåtgärder påverkar vattenkemin i olika avrinningsområden, exempelvis Yngerns.

Kantzoner

De positiva effekterna av kantzoner i skogslandskapet är vetenskapligt belagda avseende de biologiska effekterna (Bergquist, 1999). Kantzonernas betydelse för minskning eller kvarhållning av näring är mer oklar.

Hur breda skall kantzonerna vara i svenska skogar vid olika lutning, jordart och bredd på vattendrag för att påverka näringsutlakningen? Hur mycket kväve och fosfor kan kantzonen reducera? Får man en upplagring av tungmetaller och aluminium i kantzonen? Vilken är den bästa typen av kantzon i skogslandskapet – en lövträdsdominerad eller en barrträdsdominerad zon? Den optimala växten eller växterna i en kantzon skall ta upp näring under hela året, vara stormfast, ha ett utbrett rotsystem i djupled så att näring kan tas upp från en stor del av markprofilen, ge erforderlig skugga i vattendraget, tåla höga grundvattennivåer och producera en förna som gynnar faunan (i vattendrag). Hur skall man sköta kantzonerna på kort och lång sikt?

Var och hur sker transporten av kväve och fosfor i marken? Hur skiljer sig en kantzon på torvmark från en kantzon på fastmark? Hur stor betydelse för utlakningen av kväve har avgången av kväve till atmosfären genom denitrifikation? Är vegetationen den viktigaste faktorn för utlakningen av kväve och fosfor? Lundell & Albrektsson (1997) fann inga tydliga tecken på att skogstillväxten ökat i kantzoner lämnade i slutningar nedanför hyggen. Om tillväxten ökat hade detta antytt att träden tagit upp kväve (det finns dock fler faktorer som kan påverka tillväxten i kantzonen exempelvis ändrade ljus- och vattenförhållanden).

Ettappvis kalavverkning av sluttning

Ska man avverka sluttningar uppifrån och ned eller nerifrån och upp? Var i markprofilen sker näringstransporten och finns det rötter där som kan ta upp näringen? Spelar trädslaget någon roll? Är det effektivare att kalavverka ettappvis än att bara lämna en kantzon närmast vattnet? Vilken betydelsen har markens egenskaper för effekterna, exempelvis lutning, jordart och kemi?

Markberedning

Det vore önskvärt att veta hur mekanisk markberedning påverkar omsättningen av fosfor, tungmetaller och kol samt jordmånsbildningen.

Körning i skogsmark

Hur påverkar körning i skogsmark mark- och vattenkemi? Detta är såvitt jag känner till inte studerat alls i Sverige.

Miljöpåverkan i naturskogen jämfört med i den brukade skogen

Skogsbruk påverkar mark- och vattenkemin men påverkan är troligen kopplad till intensiteten i brukandet. Intensiteten på skogsskötseln varierar dock från noll i en naturskog till en maximal nivå i en intensivt brukad plantage. En naturskog och en brukad skog kan skilja sig på många sätt exempelvis beträffande trädslagsblandning, åldersfördelning och brandfrekvens. Hur mark- och vattenkemi och utlakning varierade i naturskogen vet man mycket lite om. Ökad kunskap inom detta område är angeläget för att kunna ställa dagens skogsbruk i relation till någon form av naturligt tillstånd.

Allmänna råd om skogsbruk i Yngerns avrinningsområde

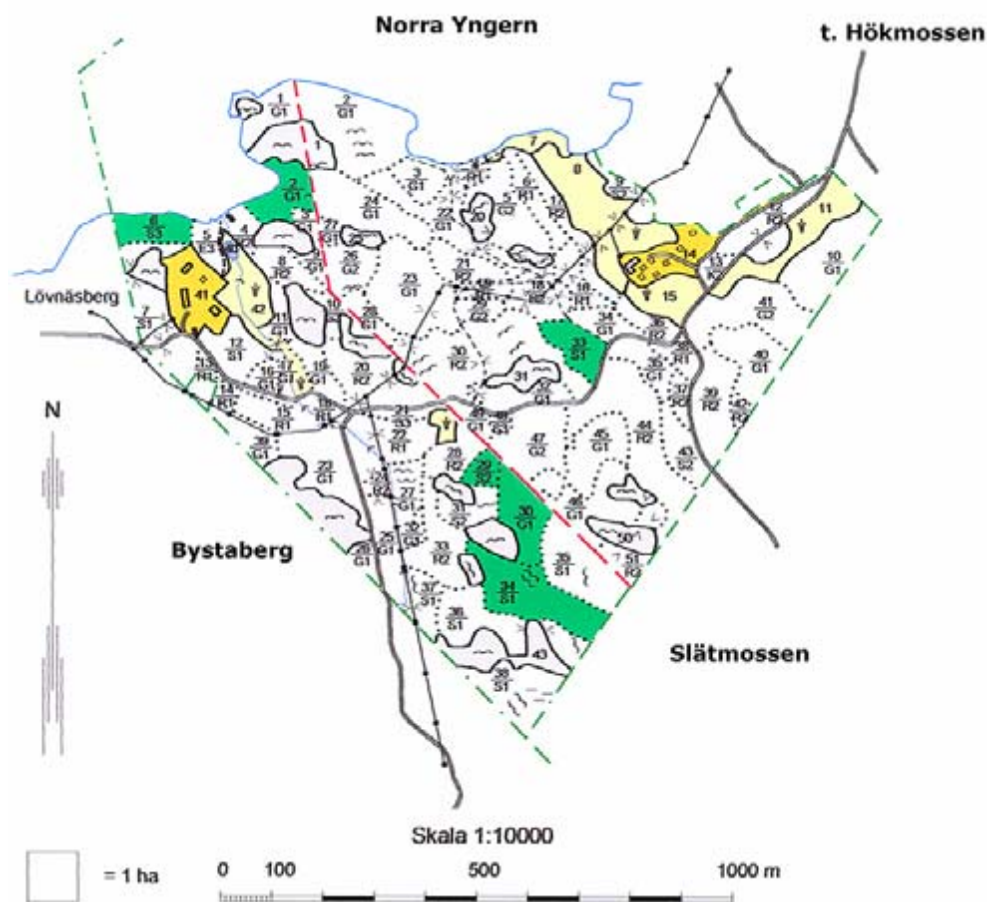
I ett föregående kapitel föreslog jag hur enskilda åtgärder bör användas i Yngerns avrinningsområde. Nedan ger jag några allmänna råd om hur man bör bedriva skogsbruk i Yngerns avrinningsområde. Utgångspunkten är liksom tidigare att minimera påverkan på vattenkvaliteten.

- Planera alla åtgärder utifrån både ett skogsbruksperspektiv **och** ett vattenvårdsperspektiv. Var i avrinningsområdet skall åtgärden utföras? Vilka förhållanden råder där, exempelvis in- eller utströmningsområde, närhet till Yngern, vattendrag eller vattentäkt/brunn, risk för erosion? När bör åtgärden utföras med tanke på vädret, årstiden, den biologiska aktiviteten på land och i vatten och andra planerade åtgärder?
- Ta störst hänsyn närmast sjön och längs tillrinnande vattendrag, d.v.s. i utströmningsområden och kantzoner. Undvik körning, markberedning, virkeslagring och användning av kemiska preparat i dessa områden.
- Ju större areal som årligen behandlas, desto större årlig påverkan på sjön. Detsamma gäller i ett rumsligt perspektiv, d.v.s. ju större areal som behandlas i en del av avrinningsområdet, desto större lokal påverkan. Det senare kan vara viktigt då man planerar sitt skogsbruk runt känsliga vattendrag eller områden i nära anslutning till sjön.

- Vid kalavverkning bör man försöka etablera det nya beståndet så snart som möjligt men med minsta möjliga störning av marken.
- Alla typer av kemikalier, exempelvis oljor, bensin, permetrinbehandlade plantor, stubbehandlingspreparat och gödselmedel, skall nyttjas och hanteras med stor försiktighet. Detta innebär att man skall undvika spill, utföra maskinreparationer och hantera kemikalierna långt från öppet vatten och utströmningsområden.
- Anlita duktiga, gärna certifierade entreprenörer.

Exempel på skogsskötsel runt Yngern

Nedan ges exempel på hur man lämpligen kan bedriva skogsskötsel i några olika typer av bestånd, som ligger på olika marker och avstånd från Yngern. Den föreslagna skogsskötseln är ämnad att ge god tillväxt samtidigt som hänsyn tas till påverkan på vatten. Bestånden ligger på fastigheterna Lövnäsberg och Bredvik (figur 2). Nedanstående förslag är utarbetade av författaren, inspektör Carl Söderberg på Mellanskog och markägare Ove Samuelsson.



Figur 2.
Fastigheterna Lövnäsberg (väst) och Bredvik (öst) vid sjön Yngern. Fastighetsgränsen är markerad med en röd streckad linje. De bestånd som diskuteras i rapporten är markerade med grönt.

Fastighet Lövnäsberg

Bestånd nr 6. Kort och brant moränsluttning som ligger i direkt anslutning till Yngern. TGL 190 (trädslagsblandning: tall 10 %, gran 90 %, löv 0 %, SI (ståndortsindex, H100 (m)) = G24. Huggningsklass: slutavverkningsmogen skog.

Vi lämnar en ca 10 m bred skyddszon mot vattnet orörd. Vårt syfte med skyddszonen är att den om möjligt skall fånga upp kväve och fosfor från hygget, ge en vacker landskapsbild, bidra till att bevara den biologiska mångfalden, ge vindskydd för föryngringen på hygget och i viss mån bidra med frö till föryngringen för att öka trädslagsvariationen i det nya beståndet. Vi tar hänsyn till lokala variationer och låter skyddszonens övre gräns gå i befintliga luckor för att träden skall ha större grön krona. Detta ger en vindtåligare, naturligare och vackrare kant på skyddszonen. Röjning och gallring sker framgent på traditionellt vis i skyddszonen för att skapa en stormfast zon. Om beståndet varit yngre hade skötseln redan tidigare kunnat anpassats för att skapa skyddszonen exempelvis vid sista gallringstillfället.

På hygget lämnas miljöträd, ca 25 st/ha utspridda eller i grupp, och alla ”bärande” träd exempelvis ek, lind, rönn och oxel. Mot kanterna lämnas ytterligare

några miljöträd. Med miljöträd menar vi tall eller lövträd som lämnas för att gynna den biologiska mångfalden och minska näringsutlakningen. Gran blåser ofta omkull och torkar om den friställs kraftigt.

Snarast efter slutavverkning tas en viss mängd hyggesrester bort för att underlätta planteringen. Så mycket hyggesrester som möjligt lämnas dock kvar för att skörden skall försura marken så lite som möjligt. De borttagna hyggesresterna läggs i angränsande bestånd eller på närliggande bergknallar. I sluttningar mot sjön används inte permetrinbehandlade plantor. Hygget planteras i stället med lite större granplantor (T2 eller Plugg+2) som bättre än små plantor kan stå emot snytbaggangrepp och konkurrera med gräset. Sannolikt behövs ett mekaniskt skydd mot snytbagge, exempelvis någon form av barriärskydd. Några olika typer av barriärskydd presenteras av Nordlander m.fl. (2001). Planteringen görs första våren efter avverkningen efter markberedning med flåhacka. Maskinell markberedning undviks i denna branta sluttning p.g.a. risken för erosion.

Bestånd nr 2. Lerig bördig dalgång som sluttar flackt ned mot Yngern. TGL 064, SI = B22. Huggningsklass: yngre gallringsskog.

Beståndet är nu i gallringsfasen. Vi lägger stor vikt vid att behålla den höga lövandelen i beståndet för att ha som lämplig skärm eller evighetsträd vid slutavverkningen. Vid slutavverkningen lämnas en lövskärm med ca 25 träd/ha. Genom att lämna en skärm hoppas vi minska utlakningen av kväve och fosfor och minska ett befarat vattenöverskott och viss frostrisk på hygget. Kantzonen är här naturlig och utgörs av ett delta där det växer al. Detta lämnas orört vid slutavverkningen. Aldeltat gallras som vanligt så långt som man når från ovanliggande fastmark för att skapa en stormfast zon.

Under skärmen planterar vi ej permetrinbehandlade, men mekaniskt skyddade, lite större granplantor (T2 eller Plugg+2) efter att den minsta mängd hyggesrester tagits bort som behövs för att underlätta planteringen. Planteringen görs första våren efter avverkningen efter markberedning med flåhacka.

Bestånd nr 29 och nr 30: Svacka mellan berg med tunt torvlager i mitten, 700–800 m från Yngern. Fuktig mark i svackans mitt, omgärdad av frisk mark. TGL 280, G24. Huggningsklass: slutavverkningsmogen skog.

Eftersom bestånden är så små behandlar vi bestånden lika trots att de två marktyperna egentligen kräver olika skötsel. Skötseln anpassas efter det fuktiga partiet. En förberedande skärmhuggning är gjord och inom ett par år bör man skapa en granskärm. Syftet med skärmen är att minska näringsutlakningen, att behålla marken bevuxen av estetiska skäl, att få en självföryngring med gran och att förhindra försumpning av de fuktiga delarna. Självföryngringen kommer sannolikt att bli bra i de fuktiga områdena men på den friska marken mot bergskanterna kommer troligen gräsuppslaget att bli ymnigt. Gräsväxten kommer att medföra att dessa områden kan behöva hjälpplanteras då skärmen avvecklats. När man ser att föryngringen etablerats efter fem till tio år glesar man ut skärmen till ca 200 stammar/ha. När plantorna är ca 1 m tar man bort resten av skärmen.

Bestånd nr 34: Bergbunden moränmark på höjdläge ca 1 km från Yngern. TGL X00, SI = T24. Huggningsklass: slutavverkningsbar skog.

Beståndet avverkas. Före avverkningen underröjs beståndet d.v.s. kläna undertryckta träd (ej gagnvirke) röjs bort för att minska konkurrensen för groddplantorna. Beståndet avvecklas därefter i två etapper. Först görs en fröträdsställning med ca 80–90 tallar/ha, vilket utgör ca 25 % av volymen i beståndet. Fem till tio år senare, eller när fullgod föryngring uppnåtts, avvecklas fröträden. Vid avvecklingen av fröträden lämnas miljöträd på den minst bördiga marken för att gynna den biologiska mångfalden, d.v.s. i de områden där berget går i dagen.

Fastighet Bredvik

Bestånd nr 33: Moränsluttning, som bestånd nr 6 Lövnäsberg, men inte sluttande mot Yngern. TGL 271, SI = G26. Huggningsklass: slutavverkningsbar skog.

Detta bestånd påminner om bestånd nr 6 Lövnäsberg. Skillnaden mellan bestånden är att bestånd nr 33 Bredvik ligger 400 m från Yngern och inte i en brant sluttning. Därför tas mindre hänsyn till påverkan på vatten vid skötseln av detta bestånd. Syftet med föryngringsåtgärderna är att skapa ett blandbestånd av gran och tall. En gles fröträdsställning lämnas, 70–80 tallar/ha, i vilken permetrinbehandlade granplantor sätts (Drettingemetoden) efter fläckvis markberedning. Planteringen med täckrotsplantor görs snarast efter avverkning.

Transport av olika ämnen till ytvatten

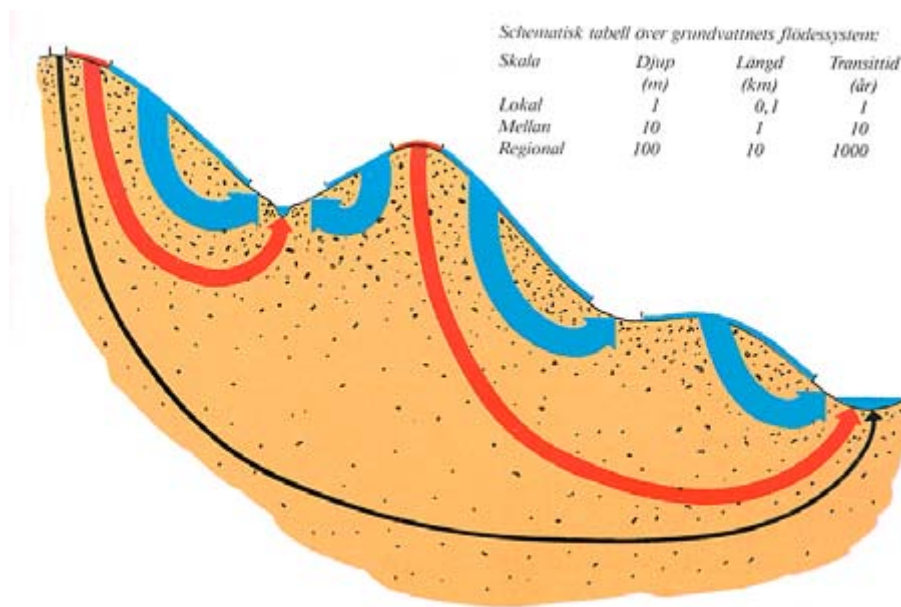
För att förstå hur olika ämnen transporteras till Yngern och dess tillflöden är det viktigt att ha en bild av hur vattnet rör sig i marken. Tillförsel av olika ämnen till ytvatten (d.v.s. vattendrag och sjöar) sker nämligen till stor del med vatten, antingen direkt med nederbörden eller via grundvattnet. Direkt deposition av ämnen har störst betydelse för sjöar.

Dessutom transporteras ämnen till ytvatten via partiklar, som förs till ytvattnet med vatten eller vind. För den som vill fördjupa sig ytterligare i vattnets väg genom marken rekommenderas "Vattnets väg från regn till bäck" av Grip & Rodhe (2000) från vilken figurena 3–6 är hämtade.

Hur rör sig vattnet i marken?

Grundvatten kallas det vatten som finns under grundvattenytan (den vattenyta som bildas då man gräver ett tillräckligt djupt hål i marken). Markens porer är helt fyllda med vatten under grundvattenytan, d.v.s. i den mättade zonen. Ovanför grundvattenytan, i den omättade zonen, kallas vattnet markvatten. Markens porer fylls här av både luft och vatten.

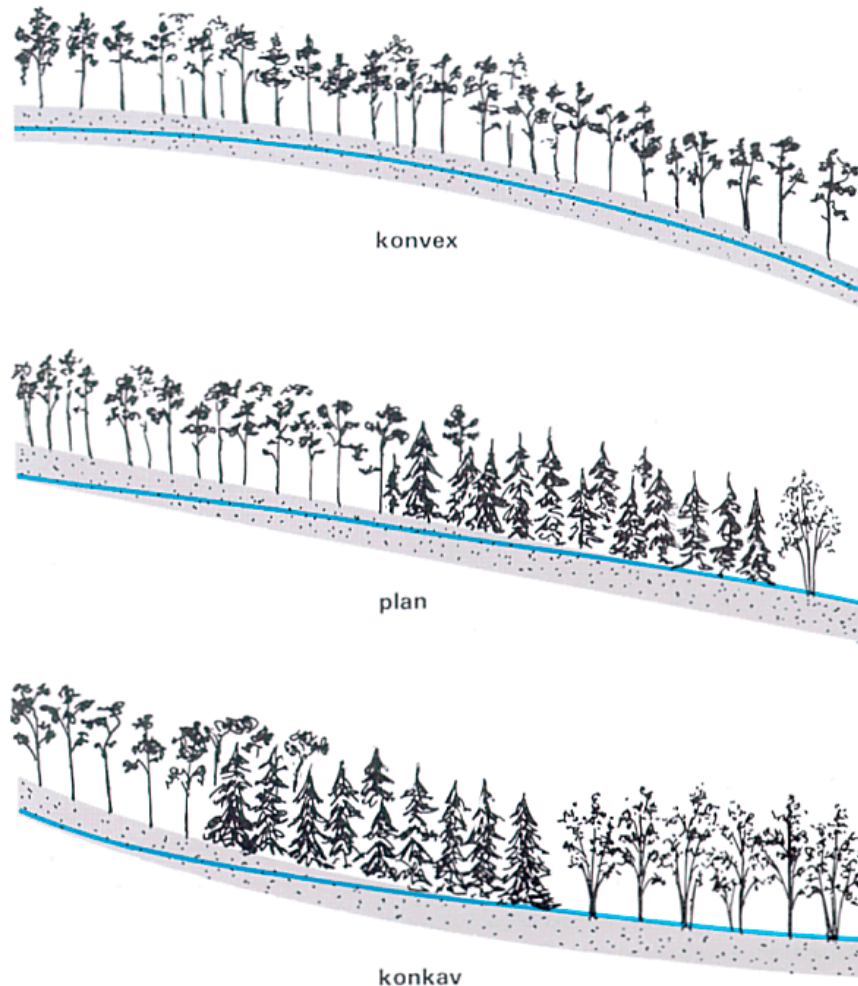
I lösa jordlager som exempelvis morän följer grundvattenflödet i stort sett markens topografi (figur 3). Med hjälp av en topografisk karta kan man ofta identifiera avrinningsområden och få en bild av hur grundvattnet rör sig. Grundvattnet strömmar utmed sluttningarna. Hur grundvattnet rör sig i sprickor i berggrunden är inte lika enkelt. Det största grundvattenflödet sker ytligt. Om grundvattenytan följer en kuperad markyta sker inströmning på lokala höjder och utströmning i lokala svackor (inströmnings- och utströmningsområden). I ett inströmningsområde fylls grundvattnet på och i ett utströmningsområde tappas grundvatten av.



Figur 3.

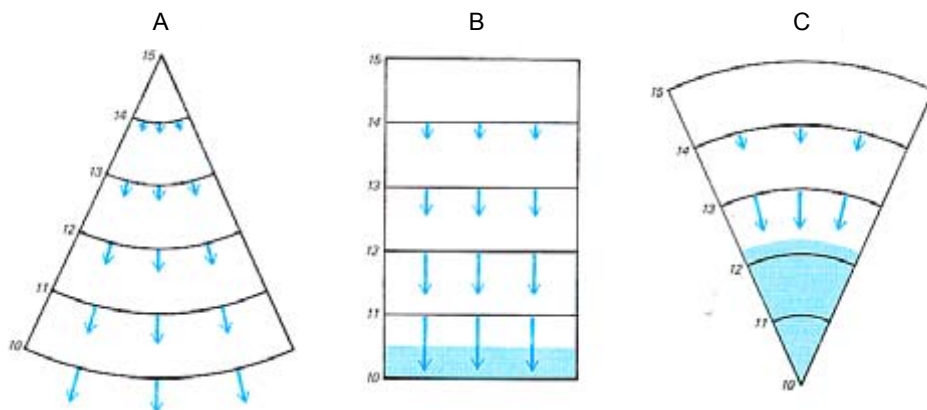
Grundvatten på olika djup och i olika terränglägen har olika ursprung. Ju djupare under markytan och ju längre ned i landskapet man kommer, desto längre bortifrån kan grundvattnet härstamma och desto äldre kan det vara (Grip & Rodhe, 2000).

En åtgärd i ett inströmningsområde påverkar djupare grundvatten än åtgärder som görs i sluttningar och på utströmningsområden (figur 3). Hur sluttningen ser ut, d.v.s. om den är konvex, plan eller konkav spelar roll för hur mycket grundvatten som kan transporteras genom marken (figur 4). Risken för försumpning i sluttningens nedre del vid avverkning är större om man avverkar en konkav sluttning jämfört med en plan eller konvex sluttning.



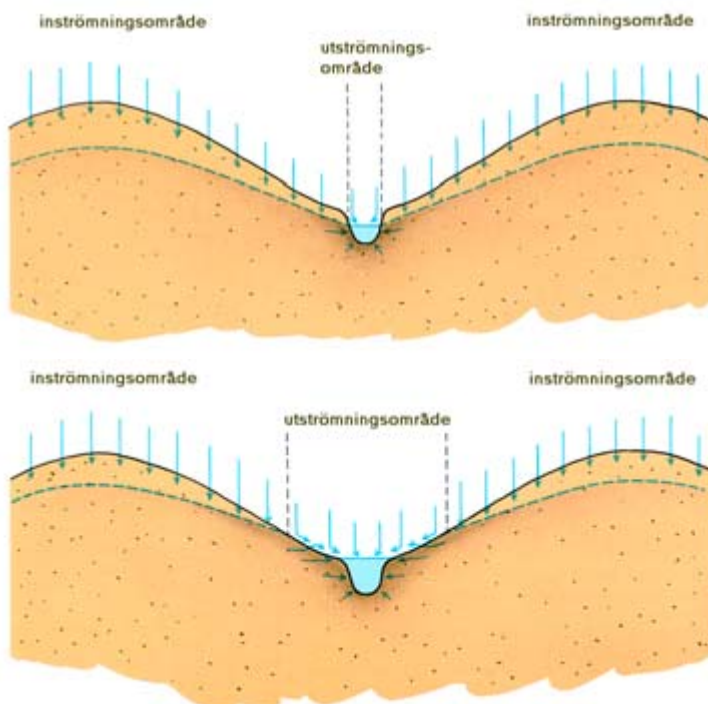
Figur 4. Om hela jordlagret utnyttjas kan inte grundvattenytan luta mer än markytan. I den konvexa sluttningen ökar lutningen ju längre ned man kommer. Jorden klarar därför av att leda undan det allt större grundvattenflödet uppifrån. I den konkava sluttningen, där lutningen minskar nedåt, nås snart den punkt där grundvattenbildningen ovanför blir större än det största möjliga grundvattenflödet. Grundvattenytan tvingas upp i markytan och det mättade utströmningsområdet blir stort (Grip & Rodhe, 2000).

I figur 4 ser man sluttningarna från sidan och man antar att sluttningarnas bredd är lika. Man kan även tänka sig att man tittar på en sluttning ovanifrån som i figur 5. Här antar man att lutningen är densamma. Om man avverkar dessa sluttningar kommer risken för försumpning att vara störst i sluttning C p.g.a. att bredden minskar nedåt i sluttningen. Förutom att marken blir vattenmättad vid försumpning ökar risken för erosion och syrgashalten i marken blir låg. En låg syrgashalt påverkar vissa kemiska och biologiska processer exempelvis denitrifikation, som i sin tur påverkar utlakningen av nitrat.



Figur 5. Sluttningarna på denna kartbild har samma konstanta lutning men olika form. I sluttning C koncentreras vattenflödet. Snart kan jorden inte leda undan allt vatten som tillförs uppifrån och markytan mätts (grått). Kravet på grundvattenflöde per breddenhet blir aldrig lika stort i sluttning A, där en allt större bredd utnyttjas. Även långt ned i denna sluttning kan jorden leda undan vattnet uppifrån utan att markytan mätts (Grip & Rodhe, 2000).

Andelen inströmnings- och utströmningsområden i ett avrinningsområde varierar över tiden beroende på nederbörden (figur 6). Det bästa för vattenkvaliteten i en sjö eller ett vattendrag är att låta bli att utföra vissa åtgärder som exempelvis markberedning i utströmningsområdet. Man måste därför försöka bedöma hur långt upp i sluttningen utströmningsområdet kan tänkas nå. Vid slutavverkning stiger grundvattenytan, vilket innebär att utströmningsområdet kommer att bli större. Detta måste man ha i åtanke då man avsätter kantzoner.



Figur 6. När nederbörden på inströmningsområdet infiltrerar höjs grundvattenytan och utströmningen i utströmningsområdet ökar. Detta beror på att grundvattenytans lutning ökar och att skikt med hög ledningsförmåga börjar bidra till grundvattenströmningen. Dessa skikt ligger ytligt i marken. I figuren markeras grundvattenflödets storlek av färgens intensitet. Nederbörd på mätade utströmningsområden kan inte infiltrera utan bildar mättad ytavrinning med det utströmmande grundvattnet. Vanligen dominerar grundvattenutflödet över regnvattenflödet till bäcken (Grip & Rodhe, 2000).

Betydelsen av att göra en åtgärd i olika delar av avrinningsområdet

Effekterna på **ytvatten** påverkas av var i avrinningsområdet som man gör en skogsskötselåtgärd. När man exempelvis avverkar skog kommer tillförseln av nitrat till grundvattnet att öka. Effekten av detta på ytvatten kommer dock att variera beroende på var i området avverkningen sker. Då man tar upp ett hygge i ett inströmningsområde dröjer det innan det extra nitraten når ytvatten p.g.a. avståndet. Det finns dessutom en chans att nedanför liggande skog kan tillgodogöra sig det frigjorda kvävet och nitraten kan omvandlas till kvävgas. Markvattnet eller det ytliga grundvattnet blandas också ut med djupare grundvatten med en annan sammansättning. För andra ämnen än nitrat, som binds obetydligt till marken, spelar olika markkemiska processer stor roll. Slutligen har passagen genom utströmningsområden visat sig ha betydelse för vattenkemin (Fölster, 2000). Avverkar man däremot i ett utströmningsområde kommer de speciella kemiska förhållandena som råder där och det korta avståndet till ytvatten att troligen vara viktiga för effekterna på ytvatten. Effekterna av att göra en åtgärd i olika delar av ett avrinningsområde är tämligen okända eftersom de flesta undersökningar antingen gjorts i inströmningsområden eller i vattendrag. Jag bedömer det som mest riskabelt att utföra åtgärder i utströmningsområden i anslutning till ytvatten p.g.a. närheten till ytvatten.

Tackord

Ett varmt tack vill jag framföra till Ulf Sikström (SkogForsk), Ove Samuelsson (markägare vid Yngern) och Carl Söderberg (inspektor på Mellanskog) för många givande diskussioner och värdefulla synpunkter på manus samt en intressant och trevlig dag i fält runt Yngern. Värdefulla synpunkter på manus har även getts av Lars Högbom, Kaj Rosén och Jan Weslien (alla verksamma på SkogForsk). Ina Lehmann har gjort illustrationerna i figurerna 3–6 som hämtats från Grip & Rodhe (2000). Studien bekostades av Gunnar Hedlunds Hedersfond, som förvaltas av LRF Skogsägarna.

Referenser

- Athanassiadis, D., Lidestav, G. & Wästerlund, I. 1999. Fuel, hydraulic oil and lubricant consumption in Swedish mechanized harvesting operations, 1996. *Journal of Forest Engineering* 10, 59–66.
- Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environment Research* 4, 101–114.
- Alexandersson H., Karlström C. and Larsson-McCann S. 1991. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961–90: Referensnormaler. Sveriges hydrologiska och meteorologiska institut, Norrköping. 87 s.

- Bergquist, B. 1999. Påverkan och skyddszoner vid vattendrag i skogs- och jordbrukslandskapet, En litteraturoversikt. Fiskeriverkets rapport 1999:3, 118 s.
- Binkley, D. & Brown, T.C. 1993. Forest practices as nonpoint sources of pollution in North America. *Water Resources Bulletin* 29, 729–740.
- Carlsson, C., Kyllmar, K. & Johnsson, H. 2001. Typområden på jordbruksmark – avrinning och växtnäringsförluster för det agrohydrologiska året 1999-2000. *Ekohydrologi* 59, Avdelningen för vattenvårdslära, SLU. 37 s.
- Egnell, G., Nohrstedt, H.-Ö., Weslien, J., Westling, O. & Örländer, G. 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. *Skogsstyrelsen Rapport* 1998:1, 170 s.
- Emmett B. A., Anderson J. M. & Hornung, M. 1991. The controls on dissolved nitrogen losses following two intensities of harvesting in a Sitka spruce forest (N. Wales). *Forest Ecology and Management* 41, 65–80.
- Evans, J.E., Prepas, E.E., Devito, K. J. & Kotak, B.G. 2000. Phosphorus dynamics in shallow subsurface waters in an uncut and cut subcatchment of a lake on the Boreal Plain. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57, 60–72.
- Fölster, J. 2000. The near-stream zone is a source of nitrogen in a Swedish forested catchment. *Journal of Environmental Quality* 29, 883–893.
- Glöde, D. & Sikström, U. 2001. Föryngring av gran under högskärm. *SkogForsk,Handledning*, 44 s.
- Grip, H. 1982. Water chemistry and runoff in forest streams at Kloten. *Water chemistry and runoff in forest streams at Kloten. Uppsala universitet, Naturgeografiska institutionen, UNGI Rapport nr 58*, 144 s.
- Grip, H. & Rodhe, A. 2000. Vattnets väg från regn till bäck. *Hallgren och Fallgren, Uppsala*. 156 s.
- Hannerz, M. & Gemmel, P. 1994. Granföryngring under skärm – en litteraturstudie med kommentarer. *SkogForsk, Redogörelse nr 4*, 51 s.
- Hauschild, M. & Wenzel, H. 1998. Environmental assessment of products, Volume 2: Scientific background. *Chapman & Hall, Cambridge*. 565 s.
- Henriksson, L. 2000. Skogsbruk vid vatten. *Skogsstyrelsen, Grönare skog, Jönköping*. 28 s.
- Jacks, G. & Norrström, A.-C. 2001. Hydrochemistry and hydrology of forest riparian wetlands. *International Conference on "Management of Northern River Basins"*. Oulu, Finland, June 6–8, 2001.
- Johansson, L. 1994. Maskinprovningarnas miljöoljeprojekt: Passar miljöanpassad olja utan teknikanpassning? *Statens maskinprovningar, Dnr 30:28-90*, 54 s.
- Johansson, G., Kyllmar, K. & Johnsson, H. 1999. Observationsfält på åkermark – avrinning och växtnäringsförluster för det agrohydrologiska året 1995/96 samt en långtidsöversikt. *Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvårdslära, Ekohydrologi* 49, 35 s.
- Johnsson, H. & Hoffmann, M. 1997. Kväveläckage från svensk åkermark - beräkningar av normalutlakning och möjliga åtgärder. *Naturvårdsverket, Rapport 4741*, 52 s.

- Kubin, E. 1998. Leaching of nitrate nitrogen into the groundwater after clear felling and site preparation. *Boreal Environment Research* 3, 3–8.
- Lundin, L. 1998. Alternative peatland forestry; Impacts on hydrology and surface water chemistry. In: R. Sopo (red.), *Proceedings of the international peat symposium The Spirit of Peatlands*, 7–9 September, 1998, Jyväskylä, Finland, s. 76–78.
- Lundmark, J.-E. 1988. Skogsmarkens ekologi, Ståndortsanpassat skogsbruk, del 2 -tillämpning. Skogsstyrelsen, Jönköping. 319 s.
- Lundell, Y. & Albrektson, A. 1997. Downslope effects of clear-cutting in Sweden on diameter increment of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12, 241–247.
- Löfgren, S. & Olsson, H. 1990. Tillförsel av kväve och fosfor till vattendrag i Sveriges inland, Underlagsrapport till Hav-90, Aktionsprogram mot havsföroreningar. Naturvårdsverket, Rapport 3692, 100 s.
- Martin, C. W. & Pierce, R.S. 1980. Clearcutting patterns affect nitrate and calcium in streams of New Hampshire. *Journal of Forestry* 78, 268–272.
- Martin, C. W., Noel, D.S. & Federer, C.A. 1984. Effects of forest clearcutting in New England on stream chemistry. *Journal of Environmental Quality* 13, 204–210.
- Nilsson, U., Örlander, G. & Karlsson, M. 2000. Naturlig föryngring av tall och anläggning av blandskog – Försöksbeskrivning, – Preliminär redovisning av resultat. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Arbetsrapport 23, 18 s.
- Nohrstedt, H.-Ö. & Westling, O. 1995. Miljökonsekvensbeskrivning av STORA SKOGS gödslingsprogram, del 1 faktaunderlag. Institutet för vatten- och luftvårdsforskning, IVL-Rapport B1218, 90 s.
- Nordlander, G., Petersson, M., von Hofsten, H. & Lindström, A. 2001. Plantskydd mot snytbagge – principerna och verkligheten. *SkogForsk, Resultat nr 12*, 4 s.
- Norrström, A.-C. 2002. Skyddszoner i skogslandskapet. I: K. Tonderski; L. Leornardson & S. Weisner (red.): *Värdefulla våtmarker – skapande och nyttjande*. Under tryckning.
- Persson, G. 1999. Växtnäringsämnen/eutrofiering. I: T. Wiederholm (red.), *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Sjöar och vattendrag*, Bakgrundsrapport 1, Kemiska och fysikaliska parametrar. Naturvårdsverket, Rapport 4920, s. 9–72.
- Ring, E. 1997. Miljöeffekter av bränder i skogsekosystem – en litteraturoversikt med Norden i brännpunkten. *SkogForsk, Redogörelse nr 2*, 58 s.
- Ring, E., Lövgren, L., Nohrstedt, H.-Ö. & Jansson, G. 1999. Ash fertilization in a clearcut and in a Scots pine stand in Central Sweden – Effects on soil-water and soil chemistry coupled to laboratory leachings of six ash products. *SkogForsk, Report no. 2*, 51 s.
- Ring, E. 2001. Nitrogen in soil water in five nitrogen-enriched forest sites in Sweden. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria* 267. 36 s.

- 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.
- Rosén K., Aronson J.-A. & Eriksson H.M. 1996. Effects of clear-cutting on streamwater quality in forest catchments in central Sweden. *Forest Ecology and Management* 83, 237–244.
- Westling, O., Löfgren, S. & Akselsson, C. 2001. Arealförluster från skogliga avrinningsområden i Västra Götaland. Skogsstyrelsen, Rapport nr 2, 78 s.
- ”Yngern är unik”, 1992. Beskrivning av sjön med förslag till hur den skall bevaras. Södertälje kommun, Miljö- och hälsoskyddsförvaltningen, 31 s.
- Örlander, G. 2000. Sufor, delprogram A: Skogsskötsel för uthålligt skogsbruk, En kort sammanställning över programmets organisation, projektbeskrivning samt några aktuella resultat. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 139, 13–19.

Muntliga meddelanden

- L. Högbom, muntl. medd., SkogForsk, 2002.
- L. Johansson, muntl. medd., 2001.
- G. Risberg, muntl. medd., SGU, 2001.
- F. Staland, muntl. medd., 2002.