

Vattenkemiska effekter vid kalkning av rinnande vatten



Baserad på provtagning 2010–2016 inom målvattendragsundersökningen och kalkeffektuppföljningen



Vattenkemiska effekter vid kalkning av rinnande vatten

Baserad på provtagning 2010–2016 inom målvattendragsundersökningen och kalkeffektuppföljningen

JOHAN AHLSTRÖM

Det här rapporten har tagits fram av Havs- och vattenmyndigheten.
Myndigheten ansvarar för rapporten innehåll och slutsatser.

© HAVS- OCH VATTENMYNDIGHETEN | Datum: 2021-05-20

ISBN 978-91-89329-13-3 | Omslagsfoto: Kalkning av våtmark, foto: Johan Ahlström

Havs- och vattenmyndigheten | Box 11 930 | 404 39 Göteborg | www.havochvatten.se

Förord

Kalkningen av försurade sjöar och vattendrag är en av de största miljövårdande insatserna som genomförts i Sverige. Sedan slutet på 1970-talet har närmare sex miljarder kronor av statliga och kommunala medel beviljats för spridning av drygt fem miljoner ton kalk. Kalkningen är fortfarande omfattande och årligen sprids ungefär 100 000 ton kalk till en kostnad av 130 mnkr.

Syftet med kalkningen är att höja pH-värdet i försurade sjöar och vattendrag till en nivå där det naturliga växt- och djurlivet inte påverkas negativt. De vattenkemiska målen baseras därför på toleransgränser för de djurarter som naturligt finns i vattenområdet.

Kalkningen ska utformas och genomföras så att pH-målen inte underskrids, men även så att målen nås till så låga kostnader som möjligt. Kalkning av rinnande vatten är särskilt komplicerad. Inte minst gäller det den vattenkemiska uppföljningen som ställer stora krav på provtagningstidpunkt i förhållande till tillfällena när risken för att underskrida pH-målet är som störst. Denna utvärdering baseras delvis på kemidata från den ordinarie uppföljningen, delvis också på data från en nationell provtagning, målvattendragsundersökningen, som genomfördes under perioden 2010–2016.

Rapporten har tagits fram av Havs- och vattenmyndigheten. Syftet är att redovisa i vilken utsträckning de vattenkemiska målen uppnås och hur effektivt kalkningen förmår höja pH och alkalinitet i förhållande till använd kalkdos. I rapporten identifieras faktorer i kalkningens genomförande som är avgörande för måluppfyllelse och kalkeffekt. Resultaten utgör ett viktigt underlag för en kommande uppdatering av den nuvarande vägledningen (Handbok för kalkning av sjöar och vattendrag 2010:2) samt för nästa nationella kalkningsplan.

Rapporten har tagits fram av Johan Ahlström vid Länsstyrelsen i Västerbottens län som anlitas som sakkunnig inom kalkningsverksamheten på Havs- och vattenmyndigheten. Myndigheten ansvarar för rapportens innehåll och slutsatser.

Johan Kling
Avdelningschef
Avdelningen för vattenförvaltning

Sammanfattning

År 2016 omfattade den svenska kalkningsverksamheten 1 397 målområden i rinnande vatten med en totallängd av 9 224 km. Inom den ordinarie kalkeffektuppföljningen (KEU) följs de vattenkemiska effekterna via en årlig provmängd på 12 000–14 000 vattenprov. Under perioden 2010 till 2016 genomfördes dessutom en nationell provtagning, målvattendragsundersökningen (MVU), som omfattade 1 467 provpunkter och totalt 8 276 vattenprov. Denna utvärdering baseras på underlag från både KEU och MVU och syftar till att bedöma vattendragskalkningens kvalitet med fokus på måluppfyllelse, anpassning till behov samt effektivitet.

Kalkning av uppströms belägna sjöar användes vid 570 målpunkter och utgjorde den vanligaste metoden. Våtmarkskalkning nyttjades vid 291 målpunkter och doserare vid 107. Vid 333 målpunkter tillämpades en kombination av metoder. Skillnaderna i metodval var betydande mellan länen och kan bara delvis förklaras med naturgivna förutsättningar avseende andel sjö eller andel våtmark i avrinningsområdena.

Det förekom ingen påtaglig anpassning av kalkdosens storlek till valda pH-mål. Ungefär samma doser nyttjades oavsett pH-mål. Därför var måluppfyllelsen högst vid pH-mål 5,6 och lägst vid pH-mål 6,2. En jämförelse över tid visade att skillnaden i kalkdos mellan pH-målen snarare minskat än ökat.

Den genomsnittliga kalkdosen minskade från slutet på 1990-talet. Den största neddragningen avsåg våtmarkskalkning. Sjöalkalkningen minskade i betydligt mindre omfattning och vid kalkning med doserare sågs ingen generellt minskad kalkdosering. Återhämtningen från försurningen har medfört att kalkmängderna kunnat sänkas. Emellertid har kalkdoserna sänkts avsevärt mer, i genomsnitt dubbelt så mycket, som minskningen av försurningen.

En väl fungerande kalkning förutsätter att kalkdosen anpassas efter den erforderliga pH-höjningen, dvs. den höjning av pH som behövs för att uppnå pH-målet. Vid kalkning på våtmarker eller med doserare tillämpades kalkdosering som överensstämde med riktvärdena i kalkningshandboken. Vid sjökalkning var dosen i genomsnitt betydligt lägre, särskilt vid lågt okalkat pH (pH_{okalk}). Flera län saknade en rimlig anpassning av kalkdosen: främst var dosen för låg vid låga pH_{okalk}.

Måluppfyllelse, alkalinitetstillskott och kalkeffekt påverkas i betydande grad av flödet. En tillförlitlig skattning förutsätter därför tillgång på prover insamlade vid höga flöden. Förmågan att samla in prover vid höga flöden och vid andra kritiska perioder skiljde sig betydligt mellan länen och behöver förbättras avsevärt i flera län.

Kalkeffekten är ett mått på hur mycket tillskott av alkalinitet som uppnås i förhållande till använd kalkdos. Kalkeffekten var högst vid våtmarkskalkning och likvärdig vid kalkning av sjöar eller via doserare. Vid våtmarkskalkning fanns ingen betydande regional skillnad, medan doserarkalkningen var något effektivare i norra Sverige. Sjöalkalkningen uppvisade betydligt lägre effekt i landets norra del, sannolikt till följd av s.k. isepisoder. Dessa uppkommer i islagda sjöar när tillrinnande vatten är kallare än sjövattnet och medför en begränsad inblandning innan det kalla och sura vattnet når utloppet från den kalkade sjön.

Tillskottet av alkalinitet avgör hur mycket pH ökar. Tillskottet beror på använd kalkdos samt vilken kalkeffekt som uppnås. Är tillskottet för litet underskrids pH-målet. Generellt tillfördes tillräckligt mycket alkalinitet vid ett lågt behov, men för lite där behovet var högt. Problematiken med för lågt tillskott vid högt behov var mest uttalad i sjökalkade vattendrag. Skillnaden var stor mellan länen, men flertalet hade bristfällig överensstämmelse mellan tillskott och behov.

Sett över tid försämrades den rapporterade måluppfyllelsen något. Samtidigt förbättrades vattenprovtagningen vid högflöden, vilket betyder att det är vanskligt att bedöma utvecklingen av den faktiska måluppfyllelsen. Måluppfyllelsen var hög vid målpunkter där den erforderliga höjningen av pH uppgick till mindre än 0,5 pH-enheter. Vid större behov av pH-höjning (lägre pHokalk) sjönk måluppfyllelsen betydligt vid kalkning via sjöar eller med doserare. Med en erforderlig pH-höjning på 0,5–1,0 enheter underskreds målet vid ungefär 50 % av dessa målpunkter, medan motsvarande notering vid våtmarkskalkning var drygt 20 %.

Sedan millennieskiftet har kalkdosen främst minskats vid målpunkter med uppfyllt pH-mål, men vid 30 % av målpunkterna med underskridet pH-mål hade kalkdosen också sänkts betydligt. Vid ungefär 70 av dessa skulle pH-målet sannolikt ha uppnåtts om kalkdosen inte minskat. Ytterligare ett hundratal målpunkter riskerar att underskrida pH-målet till följd av neddragningar som ännu inte fått full effekt på vattenkemin.

Förutsättningen för att förbättra måluppfyllelsen är att öka tillskottet av alkalinitet vid lägsta pH. Det åstadkoms genom att höja kalkdosen eller förbättra kalkeffekten. Det är inte lämpligt att kompensera låg kalkeffekt genom att höja kalkdosen i befintliga åtgärdsobjekt. Ungefär 65 % av målpunkterna med utebliven måluppfyllelse hade låg kalkeffekt, varav merparten kalkades via sjöar. Även om alla lämpliga sjöar kalkas är möjligheten att förbättra måluppfyllelsen mycket begränsad utan att komplettering sker med kalkning på våtmarker eller via nya doserare. I förhållandevis många våtmarkskalkade vattendrag var effekten hög och måluppfyllelse kan därmed uppnås genom att höja kalkdosen. Ökad måluppfyllelse vid kalkning med doserare uppnås främst genom optimering av driftsparametrar samt förbättrad skötsel och felavhjälpling.

Kvalitetsskillnaderna mellan länen var betydande. För att uppnå jämn och hög kvalitet behövs betydande insatser i flera län. Kalkdoserna behöver höjas för att nå måluppfyllelse, vilket bara i mindre omfattning kan kompenseras genom omfördelning från överkalkade målpunkter. Därmed kommer det totala kalkbehovet att öka. Vid 60–70 % av målpunkterna med bristande måluppfyllelse behövs nya spridningsplaner där merparten förutsätter nykalkning på våtmarker eller nya kalkdosere. Uppföljningen behöver förbättras, vilket kommer att leda till identifiering av ytterligare målområden med bristande måluppfyllelse. Insatserna för att uppnå en markant ökning av måluppfyllelsen är så omfattande att de bör föregås av en bedömning av huruvida nuvarande pH-mål är relevanta.

Innehåll

1	Inledning.....	10
2	Material och metoder.....	13
	2.1 Målpunkter och målområden.....	13
	2.2 Provtagningsstrategi och kemiska analyser i målvattendragundersökningen	14
	2.3 Markanvändning.....	15
	2.4 Kalkdata och kalkdos	15
	2.5 Kompletterande uppgifter	16
	2.6 Flödesdata	16
	2.7 Beräknade kemiparametrar.....	16
3	Resultat	18
	3.1 Markanvändning.....	18
	3.2 Kalkdosens utveckling 1980 till 2016	19
	3.3 Vattenflöden under undersökningsperioden.....	31
	3.4 Hur fungerade högfloodesprovtagningen i målvattendragundersökningen?	33
	3.5 Hur fungerade högfloodesprovtagningen i den ordinarie uppföljningen?	35
	3.6 Vattenkemiska mål.....	37
	3.7 Kalkdos	42
	3.7.1 Använd kalkdos	42
	3.7.2 Kalkdos i förhållande till behovet att höja pH.....	43
	3.7.3 Kalkdos i förhållande till behovet att höja pH på länsnivå.....	45
	3.8 Tillskott av alkalinitet	47
	3.8.1 Uppnått alkalinitetstillskott	47
	3.8.2 Tillskott av alkalinitet i förhållande till behovet att höja pH.....	48
	3.8.3 Tillskott av alkalinitet i förhållande till behovet att höja pH på länsnivå.....	50
	3.9 Kalkeffekt	51
	3.9.1 Uppnådd kalkeffekt.....	51
	3.9.2 Uppnådd kalkeffekt på länsnivå.....	52
	3.9.3 Tidpunkt för lägsta kalkeffekt.....	54
	3.9.4 Kalkeffekt i förhållande till kalkningsmetod	55
	3.10 Måluppfyllelse	62
	3.10.1 Måluppfyllelse på länsnivå.....	62
	3.10.2 Måluppfyllelse beroende på kalkmetod	72
	3.10.3 Har måluppfyllelsen försämrats till följd av minskad kalkdos?	76

3.10.4	Vad är orsaken till låg måluppfyllelse?	77
3.11	Överkalkning	80
3.12	Betydelsen av provflödet.....	81
3.13	Hur mycket har kalkbehovet minskat till följd av försurningsåterhämtning?	82
4	Diskussion.....	86
4.1	Vattenprovtagning	86
4.2	pH-mål	87
4.3	Använd kalkdos.....	87
4.4	Tillskott av alkalinitet	88
4.5	Kalkeffekt	89
4.6	Måluppfyllelse	95
4.7	Slutsatser	98
5	Felkällor.....	101
6	Erkännande	102
7	Referenser.....	103

1 Inledning

Kalkning av försurade sjöar och vattendrag har pågått sedan 1960-talet. Fram till 1970-talet var omfattningen blygsam och finansierad via privata initiativ. Under 1970-talet bedrevs kalkning som arbetsmarknadsstöd i AMS regi. Insatserna via AMS pågick fram till 1980 och omfattade spridning av drygt 18 000 ton kalk, varav merparten i Älvsborgs, Örebro och Värmlands län (Fiskeristyrelsen & Naturvårdsverket 1981). År 1977 påbörjades en femårig försöksverksamhet med statsbidrag för kalkning. Bidraget administrerades av Fiskeristyrelsen. Under försöksperioden spreds närmare 200 000 ton kalk, med tyngdpunkten i Älvsborgs, Kronobergs och Örebro län. Kalk spreds direkt i sjöar och på strandzoner, men också på mark och direkt i vattendrag. Hälften av markkalkningarna avsåg jordbruksmark, den andra hälften innefattade både skogsmark och våtmark. Från och med budgetåret 1982/83 permanentades systemet med statsbidrag och detta finns fortfarande kvar.

Från 1982/83 till 1 juli 2011 hade Naturvårdsverket det nationella ansvaret vilket därefter övergick till den nybildade Havs- och vattenmyndigheten (HaV). Länsstyrelserna har det regionala ansvaret och beviljar statsbidrag till huvudmän. Från början bedrevs en betydande del av kalkningen i regi av olika fiskeorganisationer. Numera ligger huvudmannaskapet nästan uteslutande på kommuner. Utförandet av kalkningen har genomgått en liknande utveckling. Initialt fanns många mindre entreprenörer och en betydande del av kalkspridningen skedde i egen regi. Numera ombesörjs i princip all kalkspridning av MOVAB eller SMA Mineral med underentreprenörer för spridning med båt eller helikopter.

Under 1980-talet var kalkningen till stor del inriktad på sjöar som kalkades med båt eller fordon. I slutet på 1980-talet blev spridning via helikopter allt vanligare, vilket innebar att kalkningen av våtmarker expanderade. Därmed skapades också möjlighet att åtgärda vattendrag i vattensystem med låg procent sjöar. Tidigare kunde dessa bara behandlas via kalkbrunnar eller kalkdoserare. Kalkbrunnarna hade begränsad kapacitet och de tidiga kalkdoserarna var tekniskt undermåliga (Svahnberg 1996).



Innan specialkonstruerade båtar utvecklades var kalkspridning på sjöar ett äventyr. En betydande del spreds på is med olika bandfordon. Det förekom även flytande farkoster med varierande sjösäkerhet. Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.



Äldre kalkdoserare drevs ofta av batterier eller via vattenkraft. De saknade automatisk reglering av kalkutmatningen och fylldes vanligen för hand från kalksäckar. Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.

Antalet kalkade vattendrag ökade under 1980-talet och fram till 1993. Därefter var nykalkningen begränsad. Kalkningens omfattning och utveckling skiljer sig mellan länen, även i fråga om närliggande län med likartade förutsättningar. I län där kalkningen av vattendrag startade under försöksperioden var sjökalkning initialt den dominerande metoden. I några län skedde därefter en successiv övergång till våtmarkskalkning, medan andra i liten eller ingen omfattning övergick till sådan kalkning. I Jämtland och Västerbotten, där en stor del av kalkningen inleddes i början av 1990-talet, tillämpades våtmarkskalkning redan vid nykalkningen.

Bruket av kalkdoserare uppvisar likaledes stora regionala skillnader. I Skåne, Halland, Värmland, Dalarna, Jämtland och Västerbotten används kalkdoserare frekvent, medan exempelvis Västra Götaland och Jönköping genom åren bara haft enstaka anläggningar.

År 1995 initierade regeringen en statlig utredning för att se över kalkningsverksamheten (Kalkningsutredningen 1996). Kalkningsutredningen överlämnades i maj 1996 och pekade på ett antal brister, bland annat avseende kalkningens planering och genomförande. Ett av förslagen var att verksamheten skulle organiseras i fem regioner med ansvar för bland annat spridningsplanering och genomförande. Regionaliseringen genomfördes inte, men utredningen blev startskott för en nationellt styrd kvalitetsprocess.

Kalkningshandboken från 2002 skapade en plattform för kvalitetsarbetet. I handboken definierades begrepp som åtgärdsområde, målområde, åtgärdsobjekt, målpunkt och styrpunkt (Naturvårdsverket 2002). Dessutom infördes ett system med differentierade pH-mål. Handboken innehöll också detaljerade beskrivningar av kalkningsmetoderna, deras tillämpning och riktvärden för kalkdoser. Dessutom angavs minimikrav avseende den vattenkemiska uppföljningens omfattning och utformning. Handboken följdes av utbildningar som riktades till länsstyrelser, huvudmän, konsulter och entreprenörer. Därefter fick länsstyrelserna i uppdrag att utarbeta länsvisa åtgärdsplaner för perioden 2003–2007. Planerna innehöll detaljerade beskrivningar av samtliga åtgärdsområden, inbegripet kalkningens och uppföljningens utformning samt uppnådda kemiska och biologiska resultat. Naturvårdsverket granskade planerna och besökte länsstyrelserna i syfte att redovisa synpunkter och hitta lösningar för de brister som konstaterats. Utfallet av granskningarna och länsstyrelsernas årliga ansökningar om statsbidragsmedel utgjorde därefter underlag för en ekonomisk styrning som dels innefattade

neddragning av bidragsmedel, men också öronmärkta satsningar på kvalitetsförbättrande åtgärder.

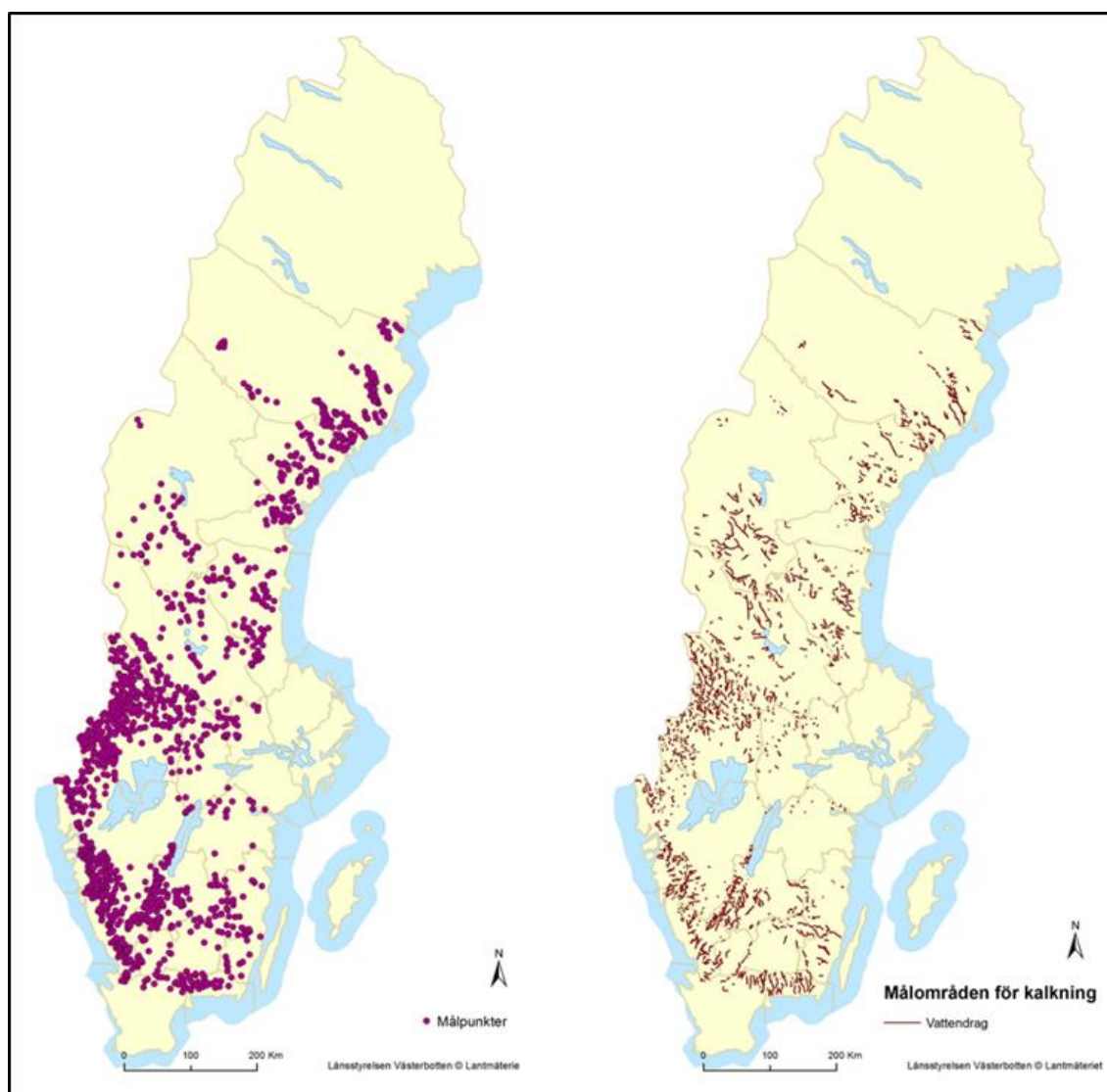
År 2010 utkom en reviderad kalkningshandbok där förändringen främst avsåg systemet för bedömning av kvarvarande försurning i kalkade vatten (Naturvårdsverket 2010). I handboken införlivades det system som presenterades i *Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag* från 2007 där klassningen av försurning bygger på matchning mot MAGIC-biblioteket (Naturvårdsverket 2007). Innan handboken utkom fick länsstyrelserna i uppdrag att utarbeta nya regionala åtgärdsplaner för perioden 2010–2015. Dessa innehöll samma information som tidigare, men också en försurningsbedömning av samtliga målområden. Efter att HaV övertagit det nationella ansvaret utfördes en detaljerad granskning. Därefter hölls möten med länsstyrelserna enligt samma modell som tidigare. Resultatet av granskningarna sammanfattades i rapporten *Kvalitet och kalkbehov inom kalkningsverksamheten* (Havs- och vattenmyndigheten 2013). Granskningen visade att kvaliteten förbättrats under den senaste tioårsperioden, men att de regionala skillnaderna fortfarande var omotiverat stora. Framför allt fanns betydande behov avseende vattendragen, där den vattenkemiska måluppfyllelsen behövde förbättras via reviderade spridningsplaner och förbättrad funktion hos kalkdoserarna. Dessutom behövde många län förbättra vattenprovtagningen vid höga flöden.

I november 2010 påbörjade Naturvårdsverket en nationell provtagning av samtliga målvattendrag, den s.k. målvattendragsundersökningen. Provtagningen pågick fram till juni 2016 och innefattade 1 467 målpunkter. Huvudsyftet var att generera ett underlag för att bedöma kvarvarande försurning i kalkade målvattendrag, vilket redovisas i en separat rapport (Fölster et al 2020). Föreliggande utvärdering fokuserar på måluppfyllelse, kalkeffekt och i vilken grad kalkningen är anpassad efter behovet att höja pH. Till utvärderingen har ytterligare data använts från den ordinarie kalkeffektuppföljningen och från Nationella kalkdatabasen. Dessutom har kompletterande uppgifter inhämtats från länsstyrelserna.

2 Material och metoder

2.1 Målpunkter och målområden

Enligt länsstyrelsernas redovisning av nyckeltal 2016 fanns 1 397 målområden i vattendrag med en totallängd av 9 224 km. Målvattendragsundersökningen (MVU) omfattade 1 467 provpunkter (målpunkter) (figur 1). Därmed provtogs i genomsnitt 1,1 målpunkter i varje målområde (tabell 1). Flest målpunkter per målområde provtogs i Blekinge, medan Jämtland, Västernorrland, Örebro och Värmland hade färre än en. Några målområden i dessa län omfattades således inte av MVU. Sett till längden av målvattendrag återfanns den högsta provtagningsintensiteten i Östergötland med en provpunkt för varje 1,8 km målområde i vattendrag. I Jämtland var motsvarande notering 18,8 km per provpunkt. Södermanland, med ett målvattendrag, deltog inte i MVU. Efter kompletterande uppgifter från länsstyrelserna framkom att 113 av de provtagna målpunkterna låg i avslutade målområden. Resultaten från dessa beaktas inte i utvärderingen.



Figur 1. Provtagna målpunkter inom MVU (vänster) samt målområden (höger) i kalkade vattendrag.

Tabell 1. Antal provtagna målpunkter inom MVU samt antal och längd av målområden i vattendrag enligt länsstyrelsernas redovisning av nyckeltal 2016.

	Antal provtagna målpunkter	Antal målområden i vattendrag 2016	Längd av målområden 2016 (km)	Medellängd av målområden (km)	Antal målpunkter per målområde	Målområdeslängd per provpunkt (km)
Södermanland	0	1	7	7,0	0,0	0,0
Östergötland	19	11	34	3,1	1,7	1,8
Jönköping	147	142	994	7,0	1,0	6,8
Kronoberg	37	38	268	7,1	1,0	7,2
Kalmar	38	38	295	7,8	1,0	7,8
Blekinge	29	13	453	34,8	2,2	15,6
Skåne	19	17	153	9,0	1,1	8,1
Halland	85	85	466	5,5	1,0	5,5
V Götaland	236	235	1096	4,7	1,0	4,6
Värmland	313	341	1732	5,1	0,9	5,5
Örebro	25	27	119	4,4	0,9	4,7
Västmanland	19	20	63	3,1	1,0	3,3
Dalarna	99	90	684	7,6	1,1	6,9
Gävleborg	84	58	401	6,9	1,4	4,8
Västernorrland	109	118	636	5,4	0,9	5,8
Jämtland	42	62	790	12,7	0,7	18,8
Västerbotten	166	101	928	9,2	1,6	5,6
Totalt	1467	1397	9224	6,6	1,1	6,3

2.2 Provtagningsstrategi och kemiska analyser i målvattendragsundersökningen

Provtagningsstrategin anpassades för att beräkna flödesvägda medelvärden för de parametrar som behövs vid försurningsbedömning via MAGIC-biblioteket. Det innebar tre fasta provtillfällen:

- 15 mars
- 15 juni
- 15 november

Dessutom provtagning vid tre tillfällen med höga flöden. I norra Sverige var rekommendationen att ta ett prov på våren och två på hösten och i landets södra del ett prov vardera under vinter, vår och höst.

Provtagningen genomfördes i sex omgångar med start i november 2010 och avslut i juni 2016. Uppdelningen på sex provomgångar var nödvändig, baserat på tillgängliga finansiella resurser såväl som kapaciteten på laboratoriet. Varje vattendrag provtogs under en årscykel där omgång 1 och 2 startade på hösten och avslutades med prov den 15 juni. De fyra sista omgångarna startade 15 juni och avslutades med vårens högflödesprov. Totalt insamlades 8 276 vattenprov vid 1 467 stationer, vilket i genomsnitt innebar 5,64 prov per station.

Provtagningen organiserades av länsstyrelserna och genomfördes till stor del av ordinarie provtagare inom kalkeffektuppföljningen. De vattenkemiska analyserna utfördes vid Institutionen för vatten och miljö vid SLU i Uppsala med ackrediterade standardmetoder och innefattade:

- pH
- Alkalinitet/aciditet
- Konduktivitet
- Kalcium
- Magnesium
- Kalium

- Natrium
- Klorid
- Sulfat
- Fluorid
- Organiskt kol (TOC)
- Totalkväve
- Nitratkväve
- Aluminium (totalt)
- Järn
- Mangan
- Kisel
- Totalfosfor (fr.o.m. 2012/13)

2.3 Markanvändning

För samtliga målpunkter avgränsades avrinningsområdet via en GIS-analys baserad på nationella höjddata. Med utgångspunkt i svenska marktäckedata gjordes därefter en uppdelning av markanvändningen i 16 klasser.

2.4 Kalkdata och kalkdos

Uppgifter om genomförda kalkningar baserades på data från Nationella kalkdatabasen. Som underlag användes den avgränsning av avrinningsområden som togs fram för att beskriva markanvändningen. För samtliga målpunkter hämtades kalkningsdata från 1980 till och med 2016. Kalkmängderna, som innefattade all spridning som skett inom avrinningsområdet uppströms målpunkten, fördelades på sjökalkning, våtmarkskalkning eller doserare.

Doseringen av kalk kan antingen beräknas i förhållande till avrinningsområdets storlek eller i relation till mängden avrinnande vatten. Det förstnämnda alternativet benämns arealdos och redovisas som kg/ha/år och det sistnämnda kallas volymdos med enheten g/m³. Den kalkdos som behövs är beroende av vattnets surhet (pH_{okalk}), angivet pH-mål samt kalkningens effektivitet. Arealdosen tar inte hänsyn till mängden avrinnande vatten, vilket medför att en högre dos fordras i områden med hög avrinning, exempelvis på västkusten. Volymdosen inbegriper avrinningen och är lämpligare vid jämförelse över större geografiska områden. I denna rapport används enbart volymdos; den benämns genomgående kalkdos och uttrycks i enheten g/m³. Via avrinningsområdets storlek och specifika avrinning omräknades kalkmängderna till kalkdos fördelad på respektive kalkningsmetod enligt följande formel:

$$\text{Kalkdos (g/m}^3\text{)} = \text{Kalkmängd} / (\text{avrinningsområdesareal} * \text{avrinningstal} * 0,315)$$

Kalkmängd anges i kg/år, avrinningsområdesareal i ha och avrinningstal i l/s/km².

Avrinningstalet avser 30 års medelvärde, vilket betyder att det inte är den faktiska kalkdosen under perioden som avses utan en teoretisk dos baserad på "normal" avrinning i förhållande till vattensystemets geografiska läge.

De kalkdoser som beaktades vid utvärderingen baserades på utspridd kalkmängd under sex år före provtagningen inom MVU. Det finns inget vedertaget mått på hur många år bakåt i tiden man

bör inkludera. Tidsperioden saknar betydelse om kalkmängderna varit relativt oförändrade. Om däremot kalkdosen minskat eller ökat behöver ett medelvärde för flera år beräknas. Särskilt vid våtmarkskalkning kan äldre kalkdepåer bidra med ett betydande tillskott av alkalinitet under många år efter att kalkningen avslutats eller dosen reducerats.

För kalkdoserare varierar kalkförbrukningen i regel avsevärt mellan åren. För att erhålla en rimlig skattning behöver hänsyn tas till förbrukningen under ett flertal år. Samtidigt kan resultaten bli missvisande om driftsparametrar ändrats under tidsperioden. Kalkförbrukningen i doserarna kan också bli missvisande om de kalkmängder som registreras i kalkdatabasen avser levererad kalkmängd i stället för utdoserad sådan. Det gäller främst för anläggningar där den årliga kalkförbrukningen är så låg att påfyllning av kalk inte sker årligen.

Vid de analyser som avser kalkningsmetoder definierades "rena" metoder som att minst 75 % av kalkmängden levererats med samma metod.

2.5 Kompletterande uppgifter

Inför utvärderingen genomfördes ett utskick till länsstyrelserna där kompletteringar gjordes med pH-mål, motiv för pH-mål, lägsta uppmätta pH inom ordinarie uppföljning (KEU) under undersökningsperioden, skattning av lägsta okalkade pH samt uppgifter om avslutade målområden. Underlag från länsstyrelserna hämtades även från den redovisning av nyckeltal som sker årligen till HaV.

2.6 Flödesdata

För samtliga provtagningstillfällen inom MVU inhämtades modellerade flödesdata från SMHI. Dessa data är framtagna via den hydrologiska modellen S-HYPE. Senare kompletterades flödesuppgifterna med maxflödet för hela undersökningsperioden för varje målpunkt samt flödet vid lägsta uppmätta pH inom KEU.

2.7 Beräknade kemiparametrar

Tillskott av alkalinitet avser den ökning av alkalinitet som kalkningen medför. Eventuellt tillskott via upplösning av magnesiumkarbonat beaktades inte. Därmed är tillskottet av alkalinitet lika stort som tillskottet av kalcium (Ca_{till}). För varje provtagningstillfälle beräknades Ca_{till} som skillnaden mellan uppmätt kalcium (Ca) och beräknat okalkat kalcium (Ca_{okalk}) enligt följande formel:

$$Ca_{till} = Ca - Ca_{okalk} \text{ (mekv/l)}$$

Okalkat kalcium beräknades genom antagandet att kvoten mellan okalkat kalcium och okalkat magnesium (Ca_{okalk}/Mg_{okalk}) är samma som i närliggande okalkade referenser (Ca_{ref}/Mg_{ref}). Därefter beräknades den okalkade kalciumhalten utifrån uppmätt magnesium (Mg) enligt följande formel:

$$Ca_{okalk} = Mg * (Ca_{ref}/Mg_{ref}) \text{ (mekv/l)}$$

Ca_{ref}/Mg_{ref} skattades med en programvara som utvecklats vid Institutionen för vatten och miljö vid SLU i Uppsala. Underlaget utgörs av en stor mängd mätdata från okalkade sjöar och vattendrag. Ca_{ref}/Mg_{ref} skattades enligt fem metoder där resultatens tillförlitlighet förväntas sjunka från metod 1 till 5.

1. referenserna utgör >20 % av avrinningsområdet
2. minst fem referenser i avrinningsområdet, men omfattande mindre än 20 % av avrinningsområdet
3. medelvärde av minst 5 referenser inom 20 km från provpunkten
4. medelvärde av mindre än 5 referenser inom 20 km från provpunkten
5. medelvärde av alla referenser i Sverige

Okalkat pH (pH_{okalk}) avser det pH som skulle uppstått om vattnet vore okalkat. pH_{okalk} beräknades utifrån ANC_{okalk} och TOC enligt Hruska m.fl. 2003 samt antagandet att kolsyretrycket kan skattas utifrån TOC enligt Sobek m.fl. 2003. ANC (Acid Neutralizing Capacity) är ett mått på vattnets buffringsförmåga som beräknades enligt följande formel:

$$ANC = Ca+Mg+Na+K-SO_4-NO_3-Cl \text{ (mekv/l)}$$

Okalkad ANC (ANC_{okalk}) beräknades enligt formeln:

$$ANC_{okalk} = Ca_{okalk}+Mg+Na+K-SO_4-NO_3-Cl \text{ (mekv/l)}$$

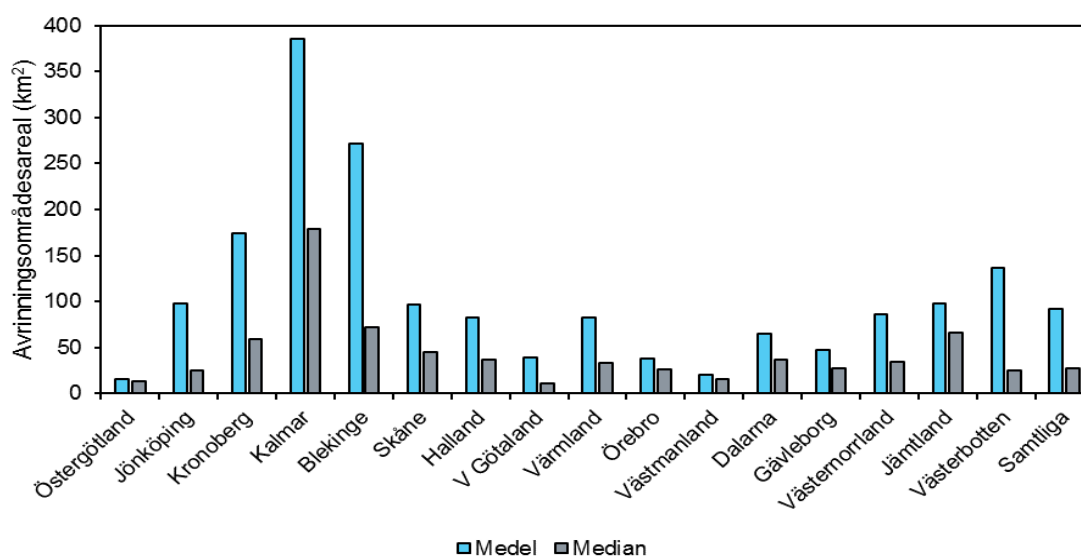
pH_{okalk} inhämtades även från länsstyrelserna. Dessa värden baserades på länsstyrelsens skattningar.

Delta-pH (ΔpH) avser minskningen i pH i förhållande till förindustriellt pH, vilket definieras som det pH som rådde 1860 (pH_{1860}). ΔpH skattades via matchning mot MAGIC-biblioteket. Det ΔpH som erhålls är således det som modellerats med MAGIC-modellen för det matchande (mest lika) objektet i MAGIC-biblioteket. För kalkpåverkade vatten avser ΔpH det okalkade förhållandet. Kalkningens påverkan på vattenkemin räknas således bort innan vattnet matchas mot biblioteket.

3 Resultat

3.1 Markanvändning

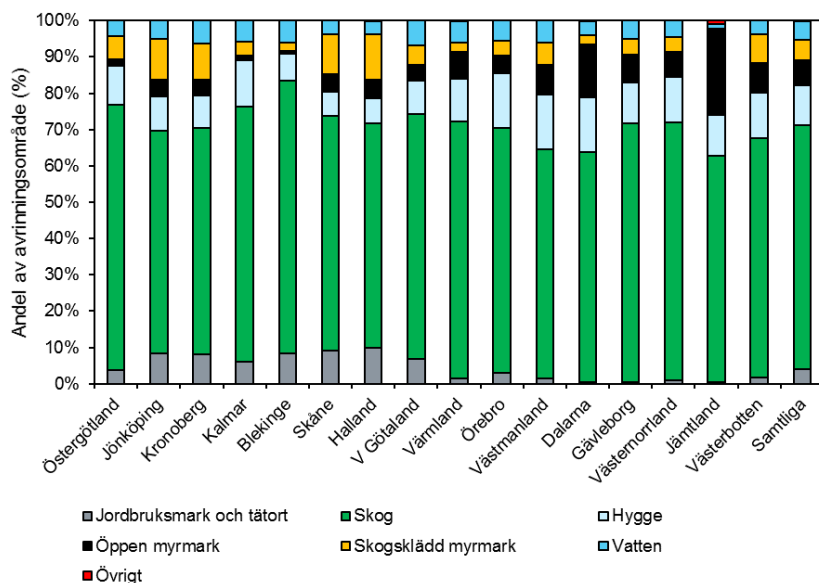
I genomsnitt uppgick avrinningsområdets areal för samtliga målpunkter i MVU till 92 km² (figur 2). De i medeltal största avrinningsområdena fanns i Kalmar (385 km²) och Blekinge (272 km²). Östergötland och Västmanland hade de minsta med 16 respektive 20 km². Mörrumsån i Blekinge med 3 257 km² utgjorde det största avrinningsområdet, men enligt länsstyrelsen är målområdet i Mörrumsån numera vilande. Medianvärdena ger ett delvis annat intryck. Dessa visar att det typiska målvattendraget är förhållandevis litet med ett avrinningsområde på 28 km². Även i den jämförelsen hamnade Kalmar i topp med 179 km², medan medianarealen i Västra Götaland uppgick till 11 km².



Figur 2. Medel- och medianstorlek på avrinningsområdena för målpunkterna i MVU.

I samtliga län dominerades avrinningsområdena av skogsmark (figur 3). I genomsnitt utgjorde skogsmark 67 %, med lägst notering i Jönköping (61,3 %) och högst i Blekinge (75,1 %). Andelen hyggen var i medeltal 11,1 % med lägst andel i Skåne (6,6 %) och högst i Örebro (15,3 %). Öppen myrmark utgjorde i genomsnitt 7,0 % med överlägset högst notering i Jämtland (23 %) och lägst i Blekinge (0,8 %). Andelen skogsklädd myrmark uppgick till 5,7 % med högst andel i Halland (12,5 %) och lägst i Jämtland (0,7 %).

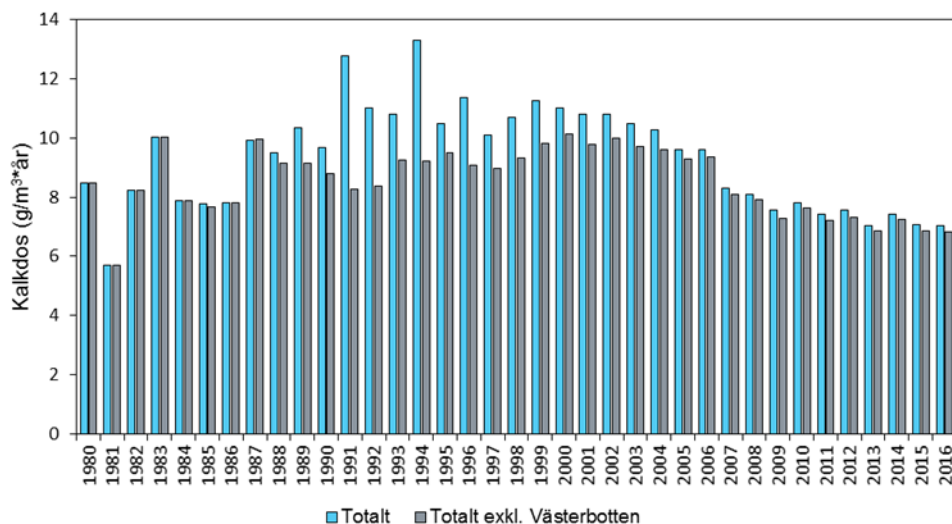
Andelen vatten (sjöprocenten) varierade från 1,3 % i Jämtland till 6,7 % i Västra Götaland. I medeltal uppgick andelen vatten till 5,0 %. Annat än för Jämtland var skillnaderna ganska små mellan länen, med Skåne och Halland på 3,7 % som de näst lägsta noteringarna.



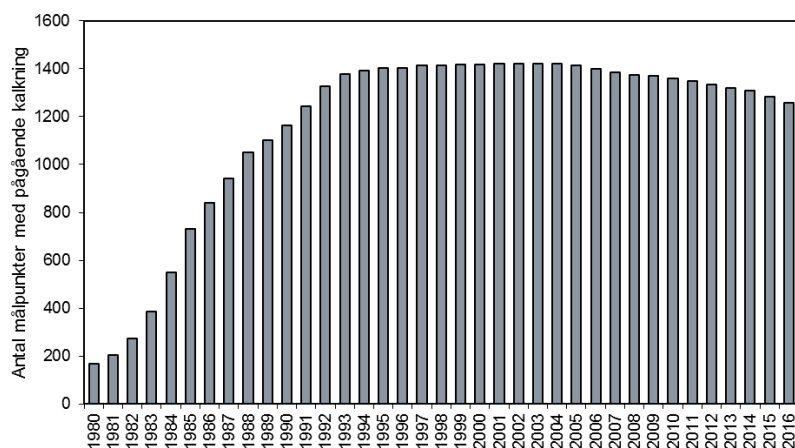
Figur 3. Genomsnittlig fördelning av markanvändning inom avrinningsområdena för målpunkterna i MVU.

3.2 Kalkdosens utveckling 1980 till 2016

Under första halvan av 1980-talet präglades kalkdosen av stora mellanårsvariationer, vilket främst berodde på att spridningar ofta gjordes med flera års mellanrum (figur 4). Stora sjökalkningar resulterar först i mycket hög kalkdos, för att därefter ge en dos på noll under flera år. Eftersom antalet kalkprojekt var begränsat påverkades medelvärdet för hela landet (figur 5). Mellanårsvariationerna utjämnades i takt med att spridningsintervallen förkortades och antalet projekt ökade.



Figur 4. Den årliga kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för målpunkterna i MVU, totalt, samt exklusive Västerbotten.



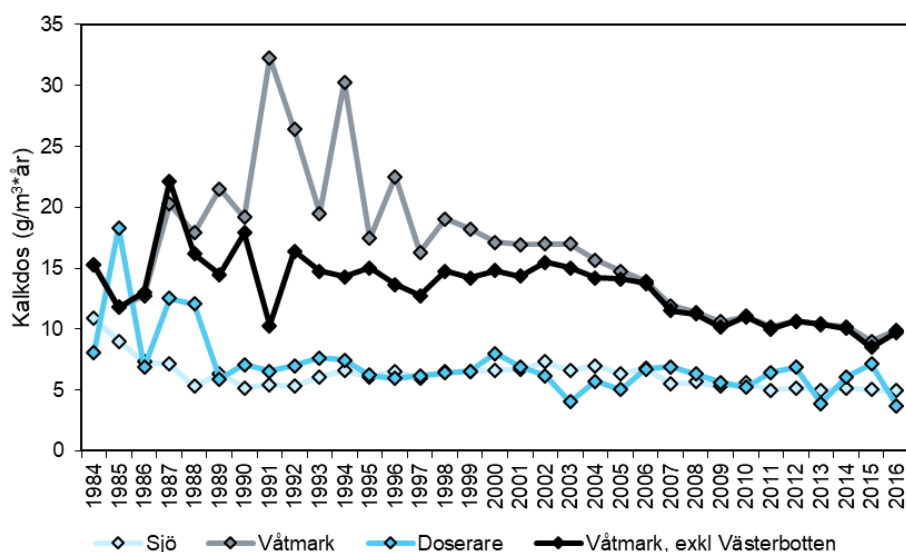
Figur 5. Antal mätpunkter i MVU som påverkades av kalkning 1980–2016.

Under andra halvan av 1980-talet ökade kalkdosen från ungefär 8 till 10 g/m³. I början av 1990-talet skedde en markerad ökning men denna inkluderade två år (1991 och 1994) med avvikande hög dos, vilket berodde på omfattande nykalkning i Västerbotten. Exkluderades Västerbotten ses en tämligen konstant dos från 1993 till och med 2006. Från 2006 till 2007 minskade kalkdosen från 9,5 till 8,2 g/m³, en minskning med 14 %. Därefter minskade dosen ytterligare och var 2016 i genomsnitt 6,9 g/m³ för samtliga mätpunkter med inrapporterad kalkspridning.

Under första halvan av 1980-talet var **sjökalkning** helt dominerande. Ett fåtal vattendrag kalkades via våtmarker eller med kalkdoserare eller kalkbrunnar. Kalkdosen vid sjökalkning var till en början förhållandevis hög och varierade mellan åren (figur 6). I slutet av 1980-talet minskade dosen ner mot 5 g/m³. Sedan ses en långsam ökning upp mot 7 g/m³ vid inledningen av 2000-talet. Därefter sjönk kalkdosen åter ned mot 5 g/m³.

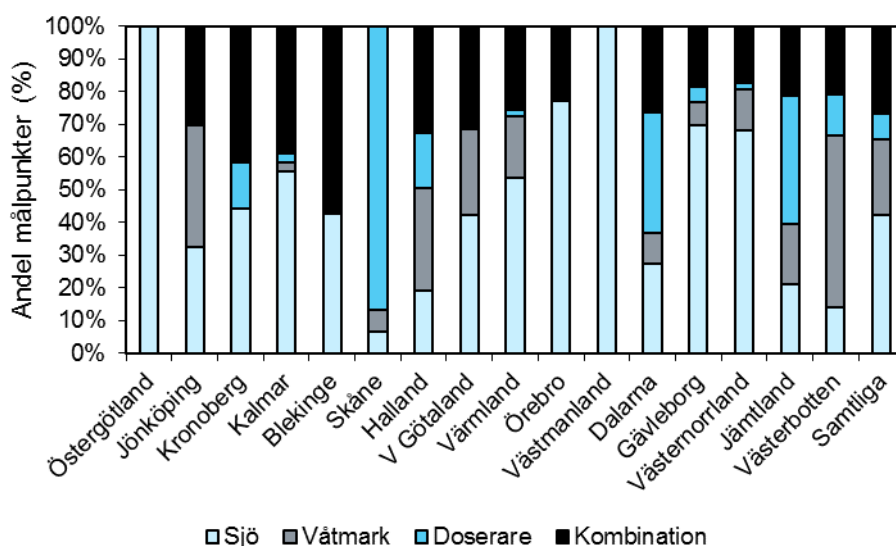
Kalkningen av **våtmarker** expanderade under andra halvan av 1980-talet när kalkspridningen skiftades från sjöar i många projekt. Dessutom tillkom nya kalkningar, vilket främst avspeglades i en höjning i slutet av 1980-talet och början av 1990-talet. Höjningen berodde främst på nykalkning i Västerbotten där en mycket hög kalkdos nyttjades. Precis som vid sjökalkning skedde en viss ökning fram till början av 2000-talet när den genomsnittliga dosen låg runt 15 g/m³. Därefter sänktes dosen successivt ned mot 10 g/m³. Mellan 2006 och 2007 skedde en ganska dramatisk minskning från 14 till 12 g/m³.

Kalkdosen för **doserarna** varierade förhållandevis mycket från 1984 till 1988. Det berodde på att antalet doserare initialt var få, men ökade successivt under perioden. I början av 1990-talet minskade mellanårsvariationerna och kalkdosen stabiliserades runt 5 g/m³. Därefter var doseringen förhållandevis konstant. Under de senaste åren ses en variation till följd av växlande flöden, där främst 2013 och 2016 framträder med liten årsnederbörd.

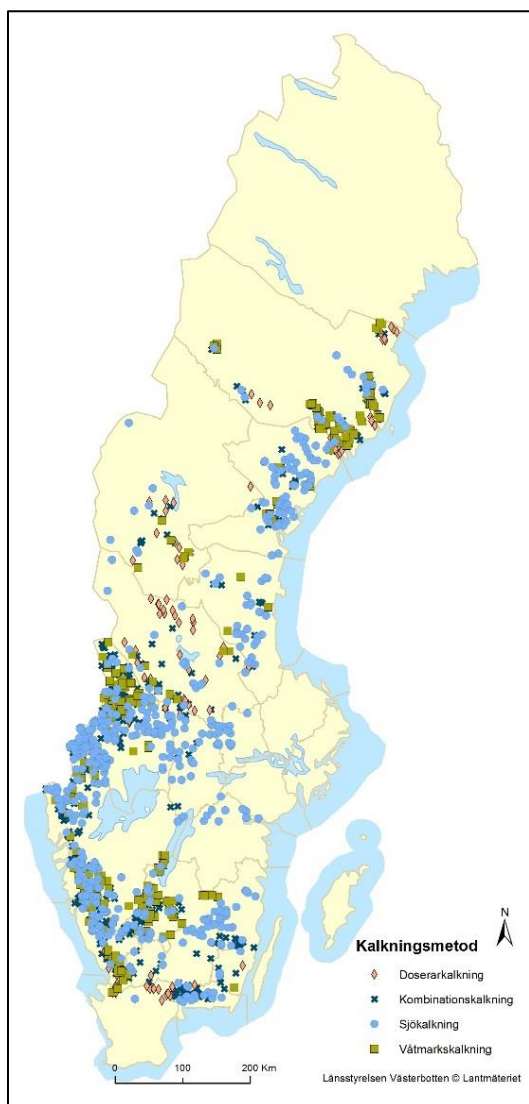


Figur 6. Årlig kalkdos 1984–2016 som medelvärde för målpunkterna i MVU fördelat på kalkningsmetod. Våtmarkskalkning redovisas totalt samt utan Västerbotten.

Utvecklingen för respektive län beror delvis på valet av kalkningsmetod. I Östergötland och Västmanland används enbart sjökalkning, vilket även dominerar i Örebro och Gävleborg (figur 7 & 8). Även i Kronoberg, Kalmar, Blekinge, Västra Götaland, Värmland och Västernorrland är sjökalkning den vanligaste metoden. I Halland och Västerbotten tillämpas våtmarkskalkning mest frekvent, medan doserare dominerar i Skåne och Jämtland. I Jönköping tillämpas spridning på sjöar och våtmarker i samma omfattning, medan Dalarna har ett likvärdigt nyttjande av sjökalkning och doserare.

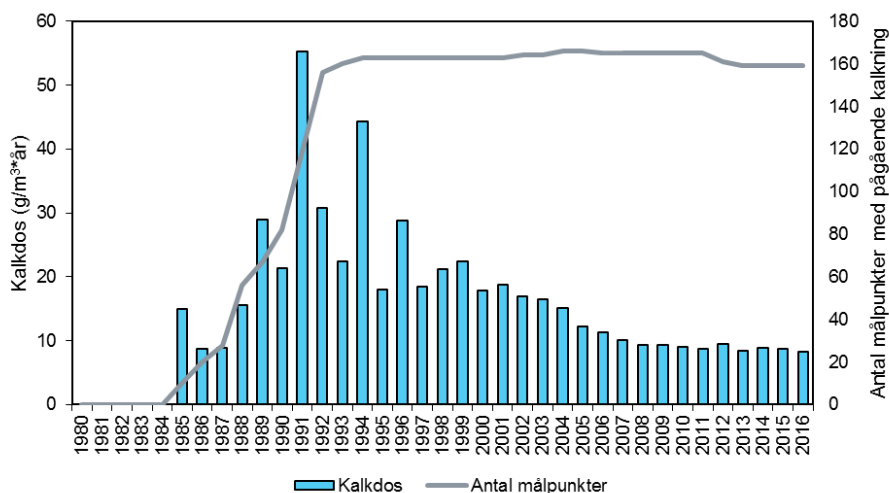


Figur 7. Fördelningen av kalkningsmetoder baserat på kalkspridningen under sex år före provtagningen i MVU. Angiven metod omfattar minst 75 % av den totala kalkmängden.



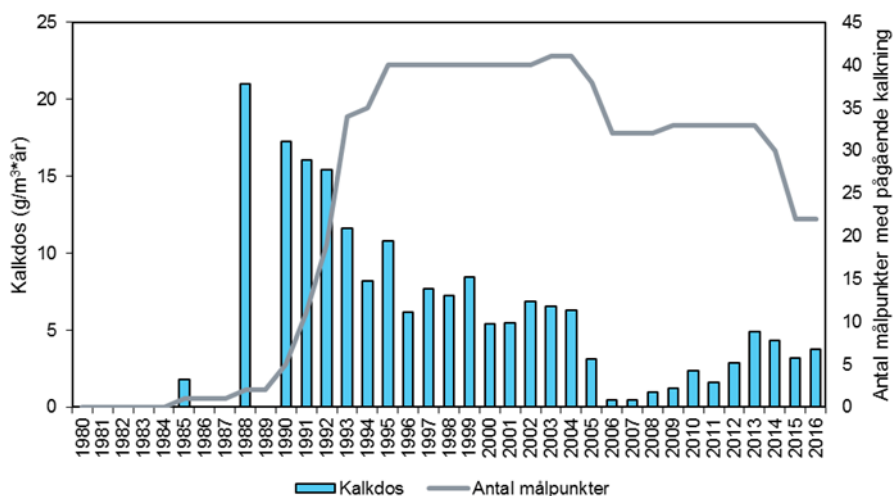
Figur 8.
Kalkningsmetoder för mätpunkter baserat på kalkspridningen under sex år före provtagningen i MVU. Angiven metod omfattar minst 75 % av den totala kalkmängden.

I **Västerbotten** påbörjades kalkningen av vattendrag 1985 och en omfattande nykalkning skedde 1988–1992 (figur 9). Kalkning på våtmarker dominerar och kalkningen 1988–1992 genomfördes med mycket hög dos. Sedan 2010 har den genomsnittliga kalkdosen legat mellan 8 och 9 g/m³, med ungefär 6 g/m³ för sjökalkning och 10 g/m³ på våtmarker. Den något högre dosen 2012 berodde på hög nederbörd som medförde stor kalkåtgång i länets 22 kalkdoserare.



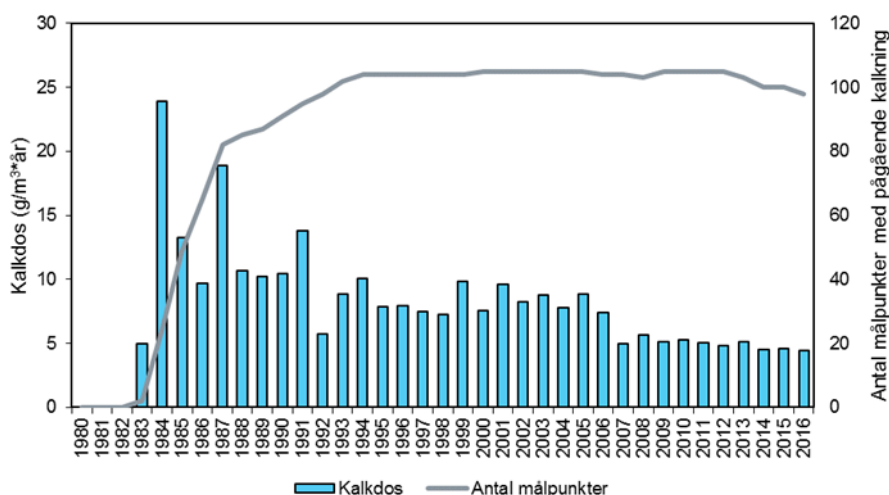
Figur 9. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för målpunkterna i MVU i Västerbotten samt antal målpunkter med pågående kalkning.

I **Jämtland** skedde en omfattande nykalkning på våtmarker under det tidiga 1990-talet (figur 10). Initialt nyttjades höga doser. Efter 2005 avbröts all våtmarkskalkning och endast doserarna bibehölls. Under senare år har en viss kalkning på sjöar och våtmarker återupptagits. Minskningen i antalet kalkade målpunkter sedan 2004 betyder att MVU inkluderade flera målpunkter där ingen kalkspridning skett under de senaste 10 åren.



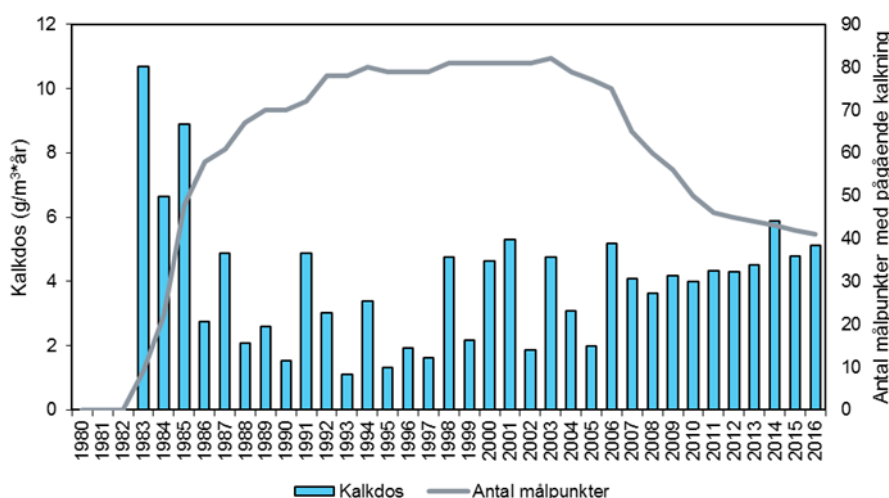
Figur 10. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för målpunkterna i MVU i Jämtland samt antal målpunkter med pågående kalkning.

I **Västernorrland** expanderade verksamheten främst under perioden 1983–1987 (figur 11). Kalkning på sjöar är den dominerande metoden. Fyra år – 1984, 1985, 1987 och 1991 – uppvisar avvikande hög kalkdos. De höga värdena 1984 och 1985 förklaras av ett lågt antal kalkningar i kombination med stora kalkmängder i några sjöar. Ökningen 1987 berodde på åtgärder inom ramen för projektet ”kalkning-kvicksilver” och det höga värdet 1991 på nykalkning av våtmarker i Mjällån och Vedån. Efter 1990 har kalkningen i genomsnitt utförts med låga doser, särskilt efter 2006 när kalkdosen i medeltal legat runt 5 g/m³.



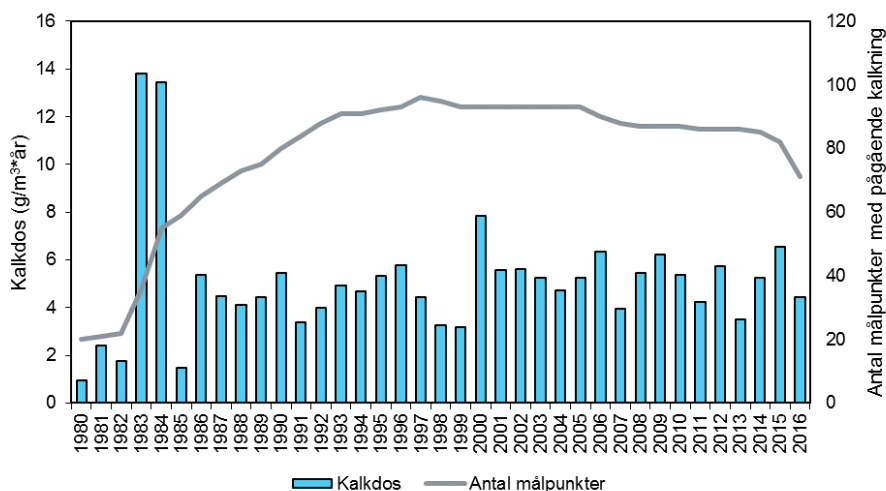
Figur 11. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för mätningarna i MVU i Västernorrland samt antal mätningar med pågående kalkning.

I **Gävleborg** ökade antalet vattendragskalkningar betydligt mellan 1983 och 1985 (figur 12). Därefter fortsatte expansionen i makligare tempo fram till 1992. Kalkning på sjö var initialt helt dominerande och de förhållandevis höga noteringarna under 1983 och 1985 berodde på stora sjökalkningar. Sjökalkning är alltjämt den dominerande metoden och kalkdosen har genom åren legat på 2 till 4 g/m³. Antalet mätningar som saknat kalkning under de senaste åren visar att en betydande del av de mätningar som ingick i MVU inte kalkats under senare år.



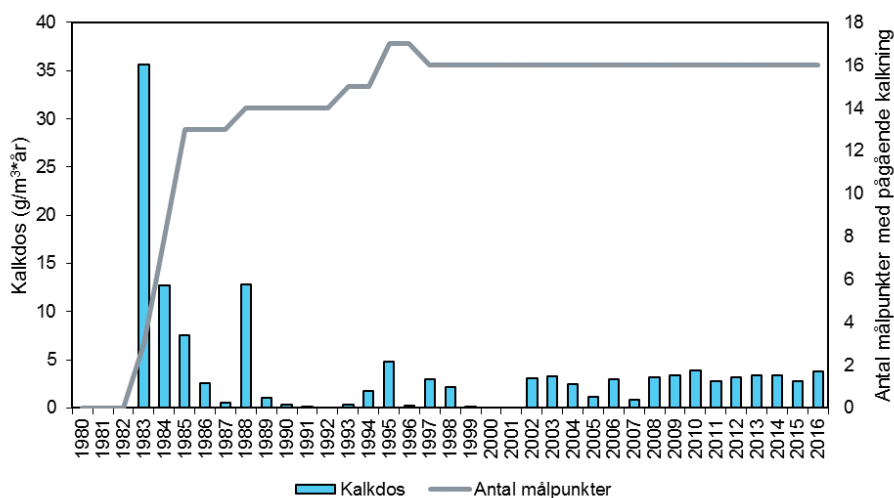
Figur 12. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för mätningarna i MVU i Gävleborg samt antal mätningar med pågående kalkning.

I **Dalarna** förekom betydande kalkning redan innan 1980 (figur 13). Den snabbaste expansionen skedde mellan 1982 och 1984, följt av en successiv ökning fram till 1993. Höga noteringar för 1983 och 1984 berodde på stora sjökalkningar. Sjökalkning samt spridning via doserare dominerar. De förhållandevis stora mellanårsvariationerna beror på det omfattande bruket av doserare i kombination med varierande årsnederbörd. Precis som för landet i stort framstår 2013 och 2016 som ovanligt torra år.



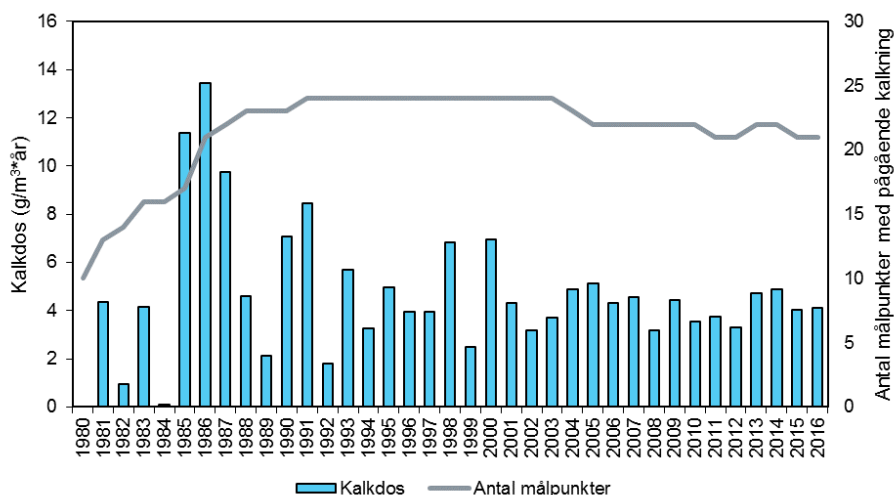
Figur 13. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för mätpunkterna i MVU i Dalarna samt antal mätpunkter med pågående kalkning.

Västmanland är ett litet kalkningslän med 17 mätpunkter i MVU (figur 14). Den huvudsakliga expansionen skedde mellan 1983 och 1985. Kalkningen bedrivs enbart i form av sjökalkning. Den avvikande höga dosen för 1983 berodde på stora kalkningar av Lien och Vågsjön. Sedan 2002 har kalkdosen varierat mellan 3 och 4 g/m³.



Figur 14. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för mätpunkterna i MVU i Västmanland samt antal mätpunkter med pågående kalkning.

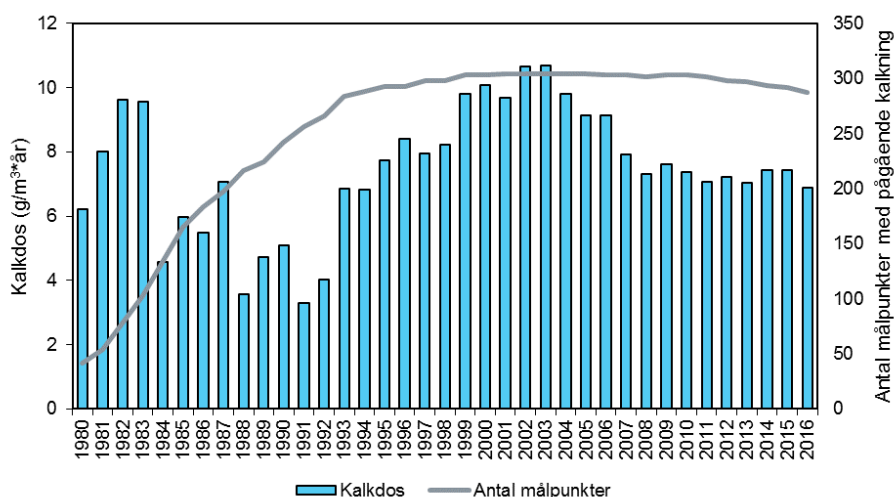
Kalkningen i **Örebro** var förhållandevis omfattande redan 1980 och expanderade fram till 1988 (figur 15). Sjöalkning är numera helt dominerande, men tidigare fanns flera kalkdoserare. Sedan 2012 finns inga kalkmängder noterade för kalkdoserare. De höga kalkdoserna 1985–1987 var en konsekvens av stora sjökalkningar, bland annat i Kölsjön 1985 och Gränssjön 1986. Dessutom spreds stora mängder via doseraren i Sågkvarnsbäcken. Sedan 2001 har kalkdosen varit runt 4 g/m³.



Figur 15. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för mätstationerna i MVU i Örebro samt antal mätstationer med pågående kalkning.

Värmland är landets största kalkningslän med drygt 300 mätstationer i MVU (figur 16).

Verksamheten var betydande redan 1980 och expanderade gradvis fram till mitten av 1990-talet. Initialt användes inte våtmarkskalkning och de något högre doserna för 1982 och 1983 berodde på stora sjökalkningar. Expansionen av våtmarkskalkning innebar att kalkdosen ökade närmast konstant från 1992 fram till 2003. Medeldosen för våtmarkskalkning låg 2001–2003 på 15 till 16 g/m³, men minskade fram till 2008 till ungefär 9 g/m³. För sjökalkning har dosen under senare år legat runt 6 g/m³.

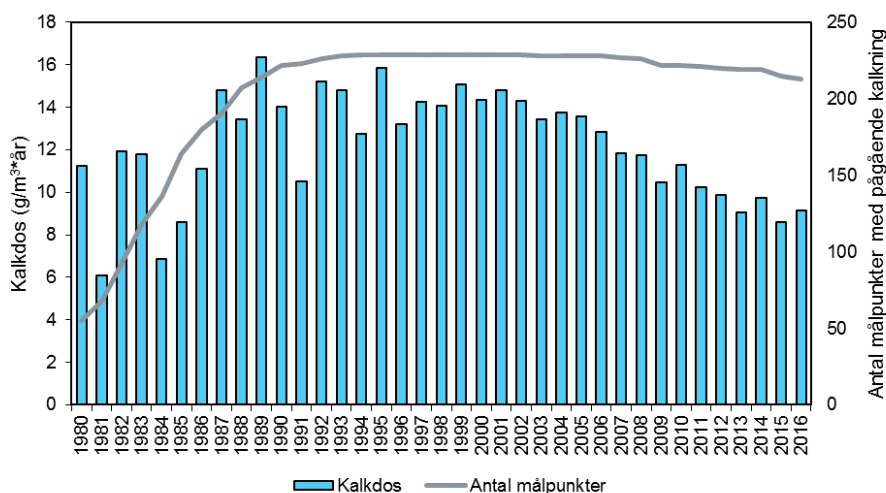


Figur 16. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för mätstationerna i MVU i Värmland samt antal mätstationer med pågående kalkning.

Västra Götaland är landets näst största kalkningslän med 229 mätstationer i MVU (figur 17).

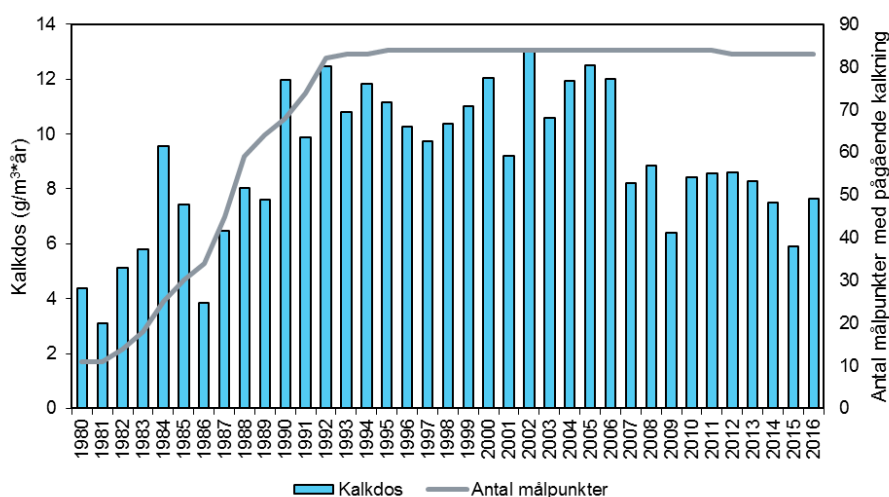
Verksamheten var ursprungligen delad på tre län, Älvsborgs län, Göteborgs och Bohus län och Skaraborgs län, men blev gemensam efter länsammanslagningen 1998. Kalkningen var omfattande redan 1980 och expanderade successivt fram till 1990. De första åren dominerade sjökalkning och de höga doserna 1980, 1982 och 1983 berodde på stora sjökalkningar. Våtmarkskalkningen expanderade betydligt under andra halvan av 1980-talet, vilket innebar att kalkdosen ökade till 14 till 15 g/m³. Efter länsammanslagningen ses en närmast konstant

minskning av kalkdosen som under de senaste åren legat runt 9 g/m³, med ungefär 6 g/m³ för sjökalkning och 11 g/m³ för våtmarker. Endast en målpunkt kalkas via doserare.



Figur 17. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för målpunkterna i MVU i Västra Götaland samt antal målpunkter med pågående kalkning.

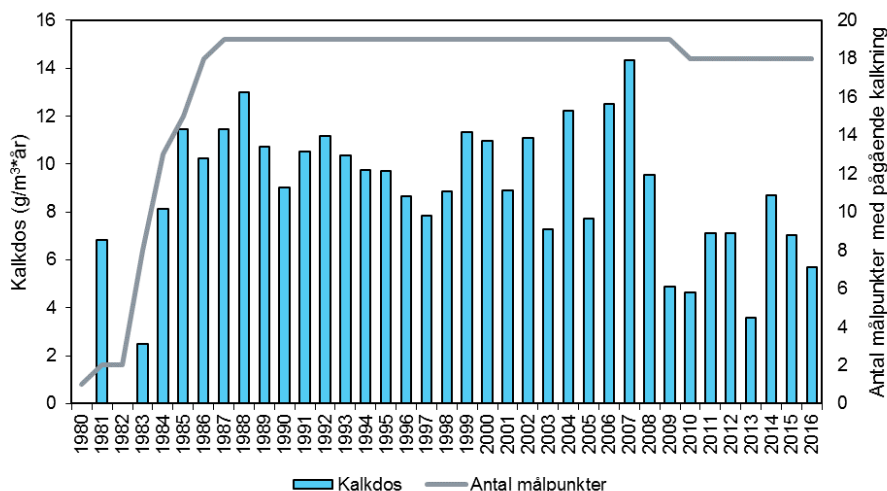
Verksamheten i **Halland** var förhållandevis blygsam 1980, men ökade närmast exponentiellt från 1982 till 1992 (figur 18). Kalkdosen varierade betydligt mellan åren. En ganska betydande ökning skedde 1990 och en dito sänkning 2007. Åren 1980 och 1981 förekom enbart sjökalkning. De första doserarna startade 1982 och våtmarkskalkningen började 1983. Ökningen av kalkdosen i slutet på 1980-talet kan tillskrivas våtmarkskalkningen som låg på en kalkdos runt 15 g/m³. I genomsnitt varierade dosen mellan 9 och 12 g/m³ fram till 2007, då den sänktes till 8 g/m³. De senaste åren har kalkdosen för sjökalkning legat på 4 g/m³ och på våtmarker mellan 9 och 12 g/m³.



Figur 18. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för målpunkterna i MVU i Halland samt antal målpunkter med pågående kalkning.

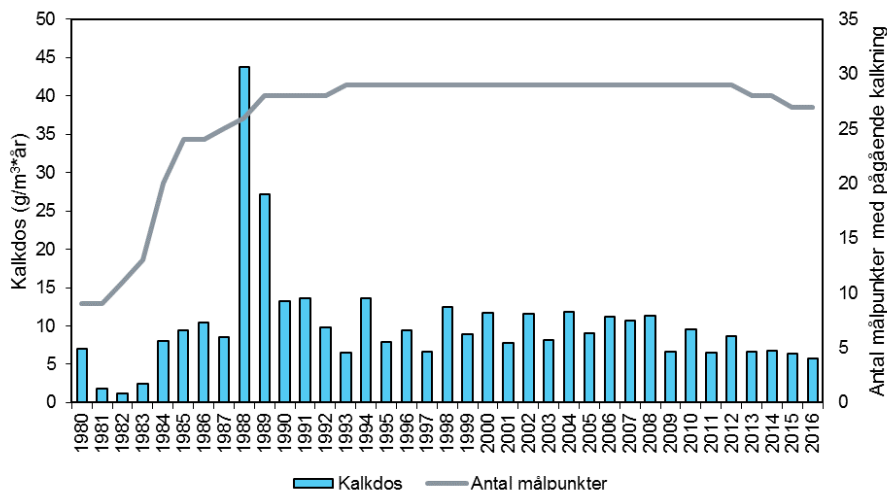
Skåne är ett litet kalkningslän med 19 målpunkter i MVU (figur 19). Verksamheten utvecklades från 1982 till 1985. Redan initialt dominerade doserare. Åren 2005–2016 användes doserare i

samtliga målpunkter utom tre. Bruket av doserare ger stora mellanårsvariationer där framför allt 2013 framstår som ett torrår.



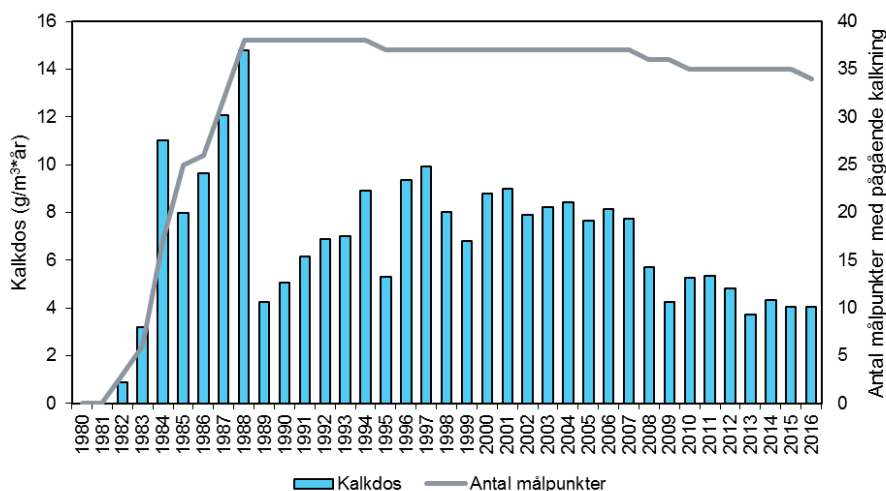
Figur 19. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för målpunkterna i MVU i Skåne samt antal målpunkter med pågående kalkning.

Kalkningen i **Blekinge** ökade framför allt från 1981 till 1985 (figur 20). Sjöalkning dominerar, men det förekommer också våtmarkskalkning och doserare i kombination med sjöalkning. Den höga kalkdosen 1988 berodde på kalkning av våtmarker i biflöden till Mörrumsån, bland annat Gängelbäcken med 2 435 ton. Den höga dosen 1989 var en effekt av stora sjöalkningar och några större våtmarkskalkningar, bland annat i Ällhöllabäcken med 1 028 ton. Efter de omfattande kalkningarna i Mörrumsån minskade kalkdosen betydligt. De senaste åren har medeldosen legat på 6 till 7 g/m³.



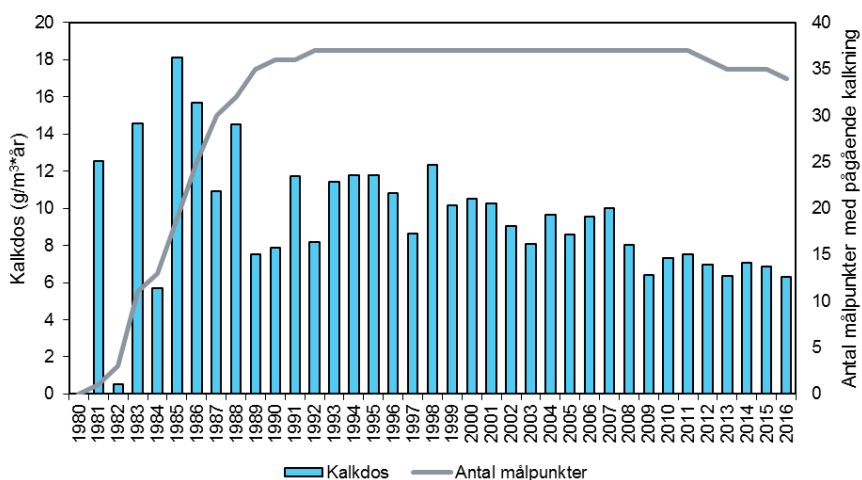
Figur 20. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för målpunkterna i MVU i Blekinge samt antal målpunkter med pågående kalkning.

Verksamheten i **Kalmar** byggdes ut mellan 1982 och 1988 och domineras av sjöalkning (figur 21). Den höga dosen 1987 berodde främst på omfattande sjöalkning, medan noteringen 1988 orsakades av både sjö- och våtmarkskalkning. Från 2007 till 2009 halverades kalkdosen och har under senare år legat runt 4 g/m³.



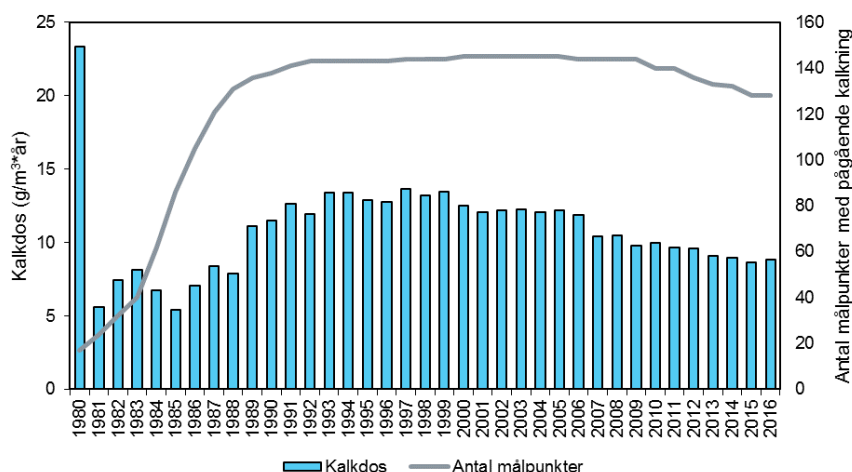
Figur 21. Kalkdosen 1980-2016 som medelvärde för mätpunkterna i MVU i Kalmar samt antal mätpunkter med pågående kalkning.

Verksamheten i **Kronoberg** startade 1981 och expanderade fram till 1989 (figur 22). De första åren uppvisade stora mellanårsvariationer i kalkdosen. Genomsnittsdosen 1982 var bara 0,5 g/m³, men 1985 uppgick den till 18 g/m³. Doserare började användas 1982, vilket är en bidragande orsak till variationerna. År 1998 påbörjades kalkning på våtmarker i större skala, men detta gav ingen påtaglig förändring av kalkdosen. Sedan 2009 har kalkdosen varierat mellan 6 och 7 g/m³.



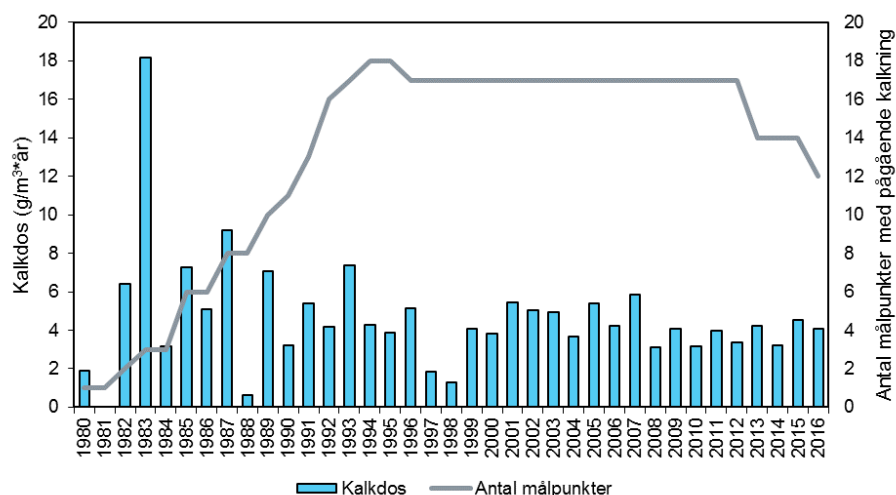
Figur 22. Kalkdosen 1980-2016 som medelvärde för mätpunkterna i MVU i Kronoberg samt antal mätpunkter med pågående kalkning.

Jönköping hade redan 1980 en betydande verksamhet som expanderade ytterligare fram till 1988 (figur 23). Initialt tillämpades enbart sjökalkning och ett par stora sjöspridningar ligger till grund för den höga dosen 1980. Kalkningen på våtmarker påbörjades 1987 och expanderade fram till 1991, vilket resulterade i en höjning av kalkdosen. Från år 2000 ses en successiv minskning av dosen. De senaste åren har i genomsnitt 6 g/m³ använts vid sjökalkning och 10 g/m³ på våtmarker. Doserare har nyttjats sparsamt och den sista kalkspridningen noterades 1999.



Figur 23. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för mätpunkterna i MVU i Jönköping samt antal mätpunkter med pågående kalkning.

Östergötland är ett litet kalkningslän med 18 mätpunkter i MVU (figur 24). Enligt inrapporterade kalkmängder var det dessutom bara 12 som kalkades under 2016. Verksamheten ökade med något projekt årligen fram till början av 1990. Sjøkalkning är helt dominerande, men tidigare fanns även ett par doserare i drift. Den höga kalkdosen 1983 berodde på kalkning av Stensjön med 102 ton. Kalkdosen varierade avsevärt fram till 1999. Därefter ses en utjämning till 3 till 4 g/m³.



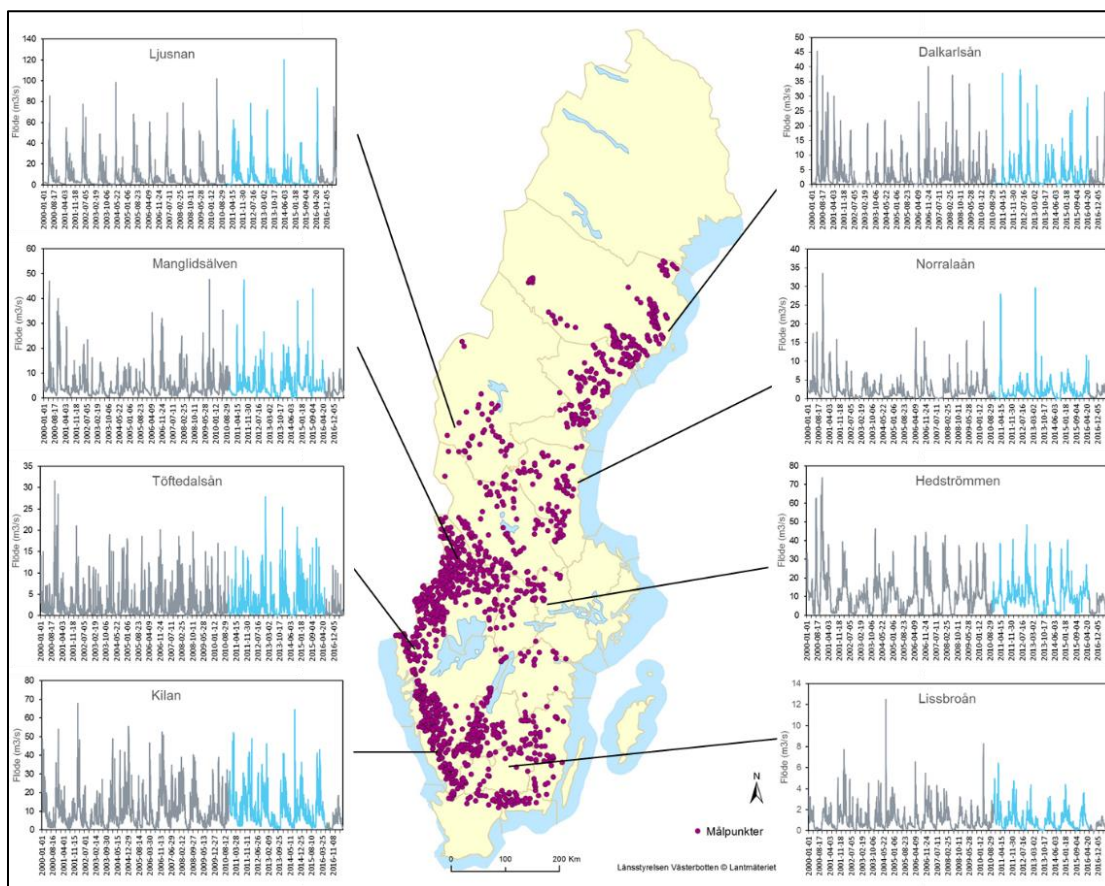
Figur 24. Kalkdosen 1980–2016 som medelvärde för mätpunkterna i MVU i Östergötland samt antal mätpunkter med pågående kalkning.



Kalkbåten "Brahe" är specialbyggd för att sprida kalk. Den går för egen maskin i och ur sjön. Brahe-båtarna byggdes 1995 och 2000 och är de modernaste fartygen för kalkspridning. Lastkapaciteten uppgår till 11,5 ton, vilket ger en spridningskapacitet på ungefär 200 ton/dag. Foto: Lajla Lindgren.

3.3 Vattenflöden under undersökningsperioden

Undersökningsperioden från november 2010 till juni 2016 innefattade perioder med låg såväl som med hög avrinning. I områdets nordöstra del (Dalkarlsån, Västerbotten) uppmättes de högsta flödena under våarna 2011 och 2012, medan vårflo den 2014 var beskedlig (figur 25). Höstflöden av betydande dignitet noterades enbart i oktober 2012. Längs södra Norrlandskusten (Norrålaån, Gävleborg) var vårflo den 2011 och 2013 ovanligt kraftiga, medan vårflo den uteblev 2012, 2014 och 2015. Endast i september 2013 noterades ett betydande höstflöde. I områdets nordvästra del (Ljusnan, Jämtland) präglades avrinningen av distinkta vårflo den. Våren 2014 bjöd på en ovanligt kraftig vårflo d, medan det motsatta kan sägas om 2015. Manglidsälven i centrala delen av Värmland hade en flödestopp i september 2015, och detsamma gäller Årån i södra Dalarna. Även i september 2011 och i oktober 2014 inföll perioder med höga flöden. Av våarna bjöd endast 2011 på en betydande flödestopp. Flödena under 2016 var mycket beskedliga, liksom de var i Årån.



Figur 25. Vattenflödet 1 januari 2000 till 30 juni 2017 för ett urval vattenföringsstationer. Undersökningsperioden (november 2010 till juni 2016) markerad med blått. Data avser uppmätta flöden och hämtades från SMHI.

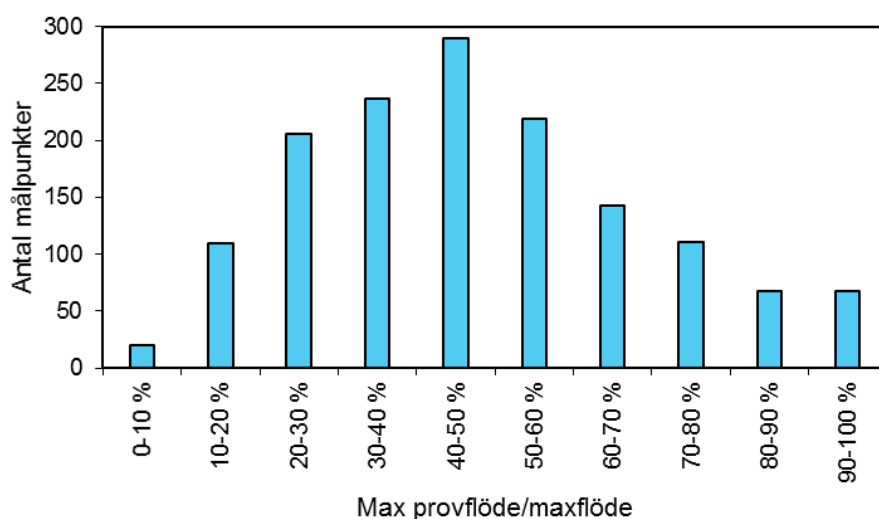
Hedströmmen, som mynnar i Mälaren vid Köping, hade markerade vårfloden samtliga undersökningsår, utom 2012 och 2016. Det absolut högsta flödet registrerades emellertid i oktober 2012. I Dalsland (Töftedalsån) noterades de högsta flödena i början och i slutet av 2013. Hösten 2014 bjöd också på höga flöden, liksom en period runt årsskiftet 2015/16. I norra Småland (Solgenån) ses framför allt ett mycket högt flöde i januari 2012. Höga flöden i början av året noterades även 2013 och 2015 och dessutom uppmättes betydande vårfloden 2011, 2014 och 2015. Höstflödena var genomgående beskedliga under 2010–2016.

I områdets sydvästra del (Kilan, Halland) noterades de högsta flödena i augusti 2014. Höga flöden uppträdde också regelbundet i januari, med den högsta nivån 2011 och den lägsta 2015. Åren 2010–2012 registrerades även höstflöden med förhållandevis höga nivåer. Mera centralt i södra delen (Lissbroån, Kronoberg) förefaller flödena ha varit måttliga under hela inventeringsperioden. Endast i februari 2012 ses ett betydande högflöde. Mindre flödestoppar uppträdde även under övriga vintrar, men särskilt under 2014 var dessa beskedliga.

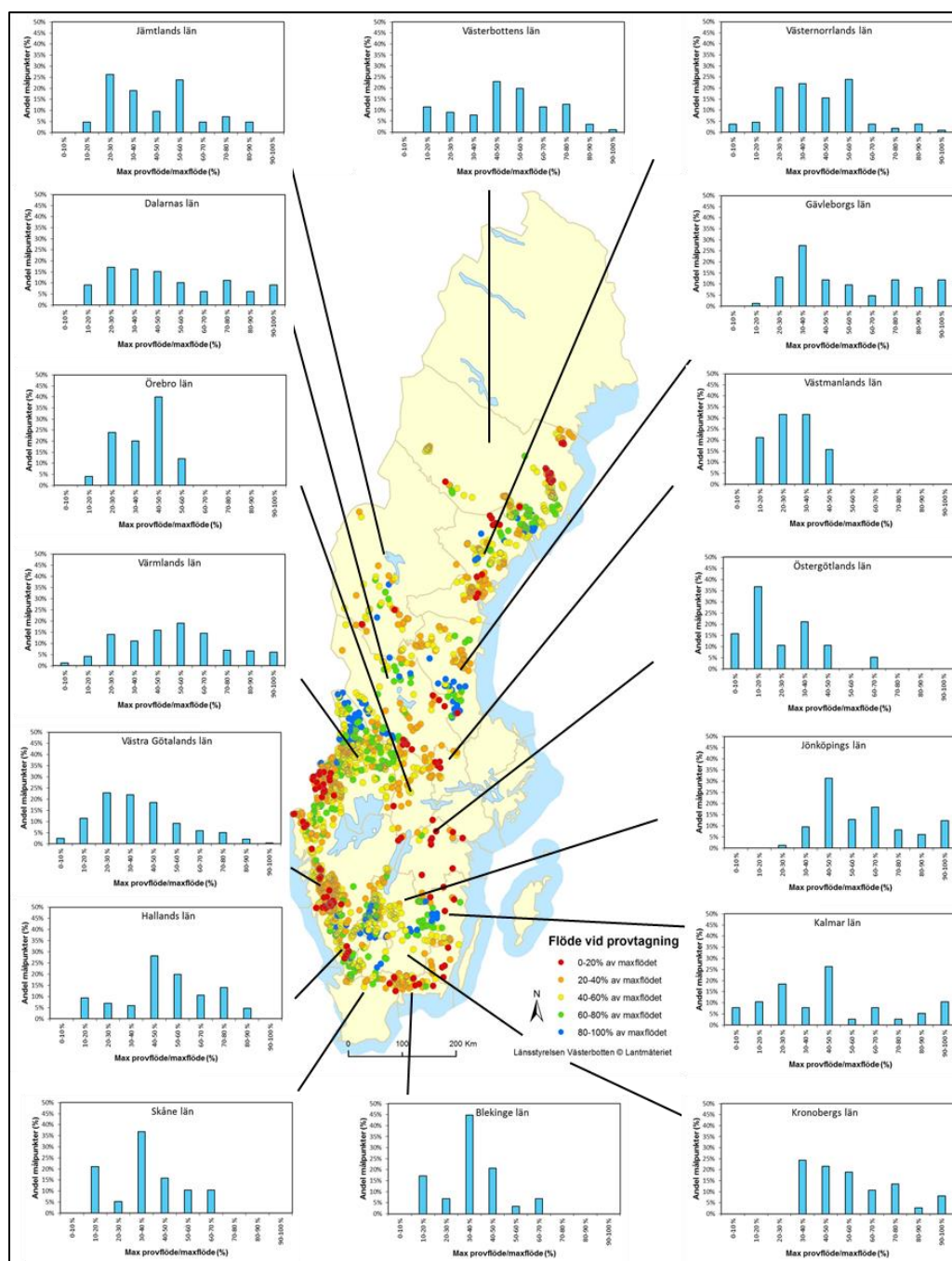
De uppmätta flödesuppgifterna från SMHI avser mätningar i relativt stora vattendrag. De ger därför en förhållandevis grov bild av flödesfluktuationerna. Flertalet kalkade vattendrag är avsevärt mindre och där kan höga flöden uppträda under kortare perioder utan att det får genomslag i de större vattendragen.

3.4 3.4 Hur fungerade högflödesprovtagningen i målvattendragsundersökningen?

Bedömningen av flödet vid provtagningen gjordes genom att varje provpunkt kopplades till ett delavrinningsområde med modellerade (S-HYPE) dygnsflöden. I genomsnitt insamlades provet med högsta flöde vid 48 % av maxflödet för hela undersökningsperioden (november 2010 – juni 2016) (figur 26). Jönköping stod för den högsta noteringen med 61 % och Östergötland för den lägsta med 24 %. För 20 målpunkter var högsta provflödet mindre än 10 % av maxflödet och för ytterligare 109 mindre än 20 %. I Västmanland provtogs ingen målpunkt vid mer än 50 % av maxflödet. I Östergötland och Örebro var utfallet nästan lika svagt (figur 27).

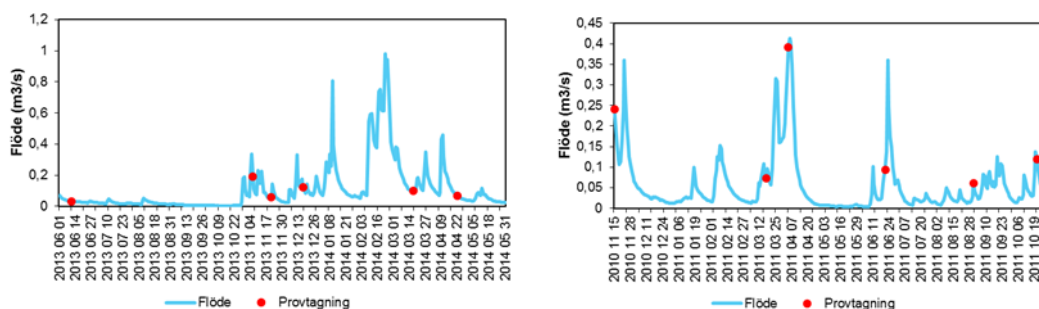


Figur 26. Högsta provflödet inom MVU i förhållande till högsta flödet under hela undersökningsperioden (november 2010 till juni 2016) för respektive målpunkt. Modellerade flödesdata från SMHI (S-HYPE).



Figur 27. Högsta provflödet i MVU i förhållande till högsta flödet under undersökningsperioden (november 2010 till juni 2016) för respektive mätpunkt. Modellerade flödesdata från SMHI (S-HYPE).

Kvarsebobäcken i Östergötland är ett exempel på svag provtagning där maxflödet under perioden 15 juni 2013 till 31 maj 2014 (omgång 4) uppgick till 0,94 m³/s (24/2 2014) (figur 28). Provet med högsta flöde insamlades 6 november vid ett flöde på 0,19 m³/s, vilket motsvarar 20 % av maxflödet under omgång 4. Sett till hela undersökningsperioden motsvarade provet från 6 november 10 % av maxflödet. Provtagningen i bäcken från Lillesjö i Jönköping är ett exempel på bra provtagning. Provet med högsta flödet (0,395 m³/s) insamlades 4 april 2011 och den 5 april inföll det modellerade maxflödet på 0,41 m³/s. Provtagningen gjordes således vid 96 % av maxflödet. Sett till hela undersökningsperioden motsvarar provet från 4 april också 96 % av maxflödet eftersom det inföll 5 april 2011.

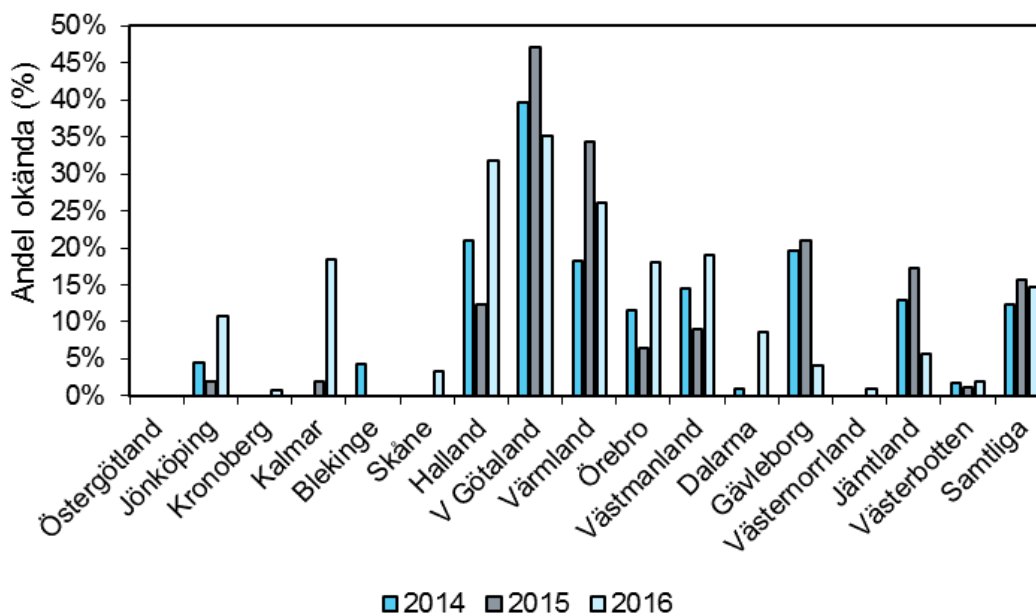


Figur 28. Exempel på provtagning inom MVU i förhållande till modellerat flöde. Figur till vänster avser Kvarsebobäcken i Östergötland och till höger bäck från Lillesjö i Jönköping. Flödesdata från SMHI S-HYPE.

3.5 Hur fungerade högflödesprovtagningen i den ordinarie uppföljningen?

Länsstyrelserna rapporterar årligen andelen målvattendrag med okänd måluppfyllelse. Sedan 2014 definieras detta som att inget vattenprov insamlats vid mer än 50 % av årets maxflöde. Rapporteringen avser längd av målvattendrag, vilket innebär att varje provpunkt motsvarar hela eller delar av målvattendraget.

Sammantaget för 2014–2016 hade Västra Götaland den högsta andelen målvattendrag med okänd måluppfyllelse (figur 29). Därefter kom Värmland och Halland. Lägst andel återfanns i Östergötland, Kronoberg och Västernorrland.

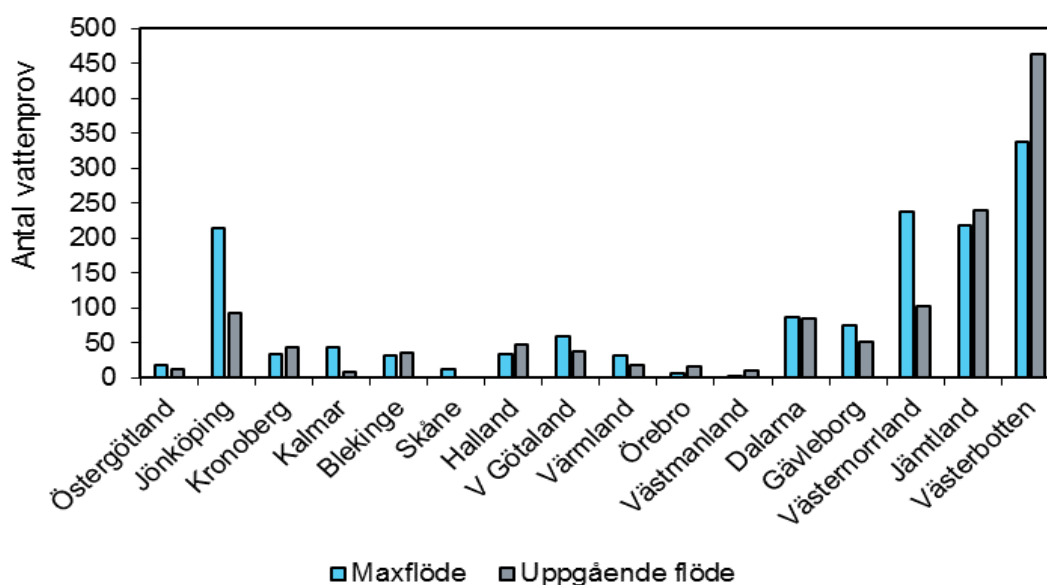


Figur 29. Andel målvattendragsträckor 2014–2016 med okänd måluppfyllelse. Data från länsstyrelsernas redovisning av nyckeltal.

De rapporterade uppgifterna ger inte underlag för att bedöma hur många prover som insamlades från de absolut högsta flödena eller vid kraftigt ökande flöden. Ökande flöden i samband med regn eller snösmältning är ofta lika kritiska tillfällen som perioder med maxflöden. För att bedöma provtagningsintensiteten vid maxflöden och ökande flöden nyttjades flödesdata från två mindre

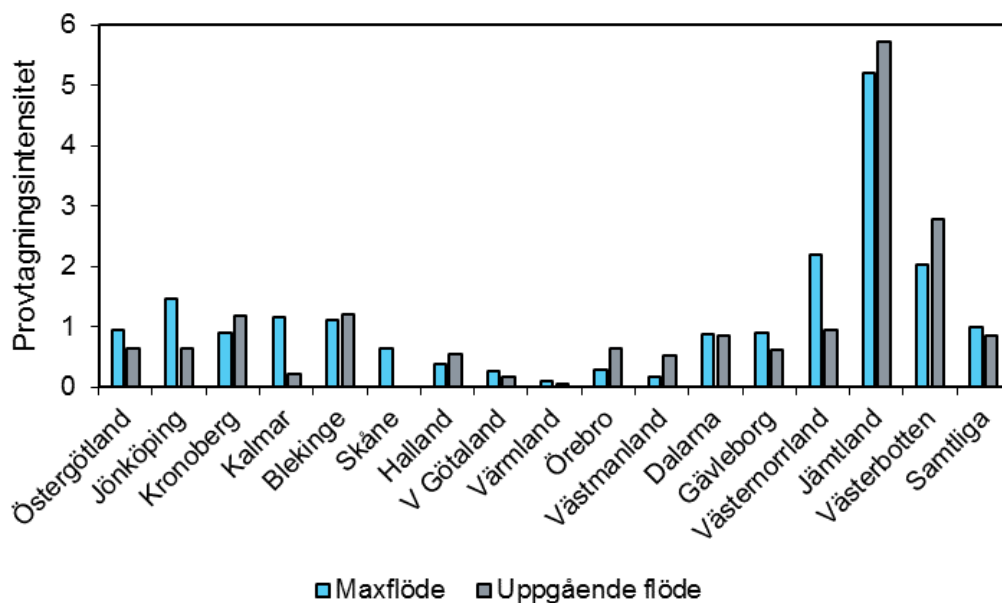
vattendrag (ARO 1000–2000 ha) inom varje län. Flödesdata avsåg modellerade data från SMHI S-HYPE och vattendragens geografiska läge valdes för att motsvara de kalkade vattnens huvudsakliga lokalisering. För varje vattendrag identifierades 5 dagar med de högsta flödena respektive 5 med de kraftigaste flödesökningarna. Därefter räknades totala antalet prov insamlade i kalkade vattendrag för dessa datum inom KEU.

Totalt för 2014–2016 fanns 1 443 vattenprover från dagar med maxflöden och 1 261 prover från dagar med kraftigt ökande flöden (figur 30). Fördelningen mellan länen var ojämn. Från Västerbotten fanns 337 vattenprov tagna vid maxflöden och från Västernorrland, Jönköping och Jämtland drygt 200. Från Västmanland fanns 3 prover och från Örebro 7. Från ökande flöden fanns 463 prov från Västerbotten, 240 från Jämtland och 103 från Västernorrland. Från Skåne fanns inget prov taget vid kraftigt uppgående flöden och från Kalmar fanns 8.



Figur 30. Antal vattenprover inom ordinarie uppföljning under 2014–2016 som insamlades i vattendrag under dagar med maxflöden respektive kraftigt ökande flöden. Kemidata från KEU.

Genom att relatera antalet vattenprov vid maxflöden respektive ökande flöden till totala antalet målpunkter erhöles ett mått på provtagningsintensiteten. Förfarandet visade att Jämtland hade den högsta intensiteten avseende såväl högflöden som ökande flöden (figur 31). Västerbotten och Västernorrland låg också betydligt över medelnivån. Den svagaste provtagningen återfanns i Värmland och Västra Götaland, vilket överensstämde med andelen okända i nyckeltalsredovisningen. Nivån i Värmland innebar att det totalt fanns 32 vattenprov insamlade vid de 10 datum (5+5) där de högsta flödena noterades i de bägge utvalda vattendragen (Sorkan och Bjurånaälven). Totalt i Värmland fanns 313 målpunkter, vilket gav en provtagningsintensitet på $32/313=0,10$ höglödesprov/målpunkt. Från provtagning vid kraftigt ökande flöden fanns 17 vattenprov, vilket gav en provtagningsintensitet på 0,05.



Figur 31. Provtagningsintensitet (antal prov/målpunkt) inom KEU 2014-2016 avseende prov tagna vid maxflöden respektive vid kraftigt ökande flöden.



Vattenprovtagning under kritiska perioder är en förutsättning om man ska kunna kontrollera måluppfyllelse, bedöma omkalkningsbehov och styra kalkdoserare. Foto: Roger Vallin.

3.6 Vattenkemiska mål

De vattenkemiska målen definieras i form av pH-värden som inte ska underskridas. Dessa nivåer har modifierats över tid och publicerats i Naturvårdsverkets kalkningshandböcker (Naturvårdsverket 1988, 2002, 2010). Före 2002 tillämpades ett generellt pH-mål på 6,0, vilket var den målsättning som angavs i allmänna råd 88:3 (Naturvårdsverket 1988). I handboken från

2002 presenterades ett system med differentierade pH-mål på tre målnivåer baserade på förekomst eller tidigare trolig förekomst av specifika arter (motiv) enligt följande:

- pH-mål 6,3: Lax, märkräftor (*Gammarus*)
- pH-mål 6,0: Mört, elritsa, havsöring, flodkräfta, flodpärlmussla, snäckor, samt två familjer av dagsländor (*Ephemeroidea* och *Caenidae*) och en familj av nattsländor (*Philopotamidae*)
- pH-mål: 5,6: Övriga vatten

Dessutom angavs att pH-mål 6,0 bör väljas i stället för 5,6 om halten av oorganiskt aluminium efter kalkning överskred 50 µg/l.

I handboken från 2010 reviderades pH-målen avseende både nivåer och motiv enligt följande:

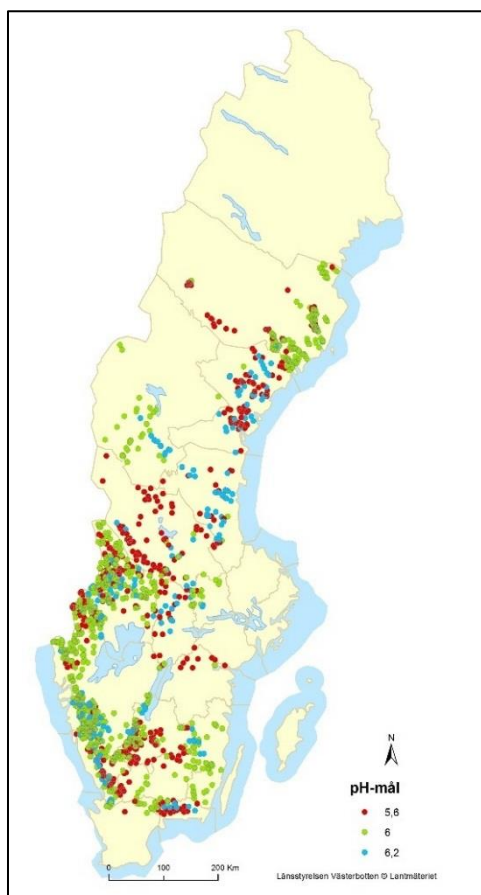
- pH-mål 6,2: Flodpärlmussla
- pH-mål 6,0: Lax, mört (enbart i sjöar) och flodkräfta
- pH-mål: 5,6: Övriga vatten

Även i den versionen rekommenderades pH-mål 6,0 i stället för 5,6 om halter av oorganiskt aluminium över 50 µg/l noterades efter kalkning.

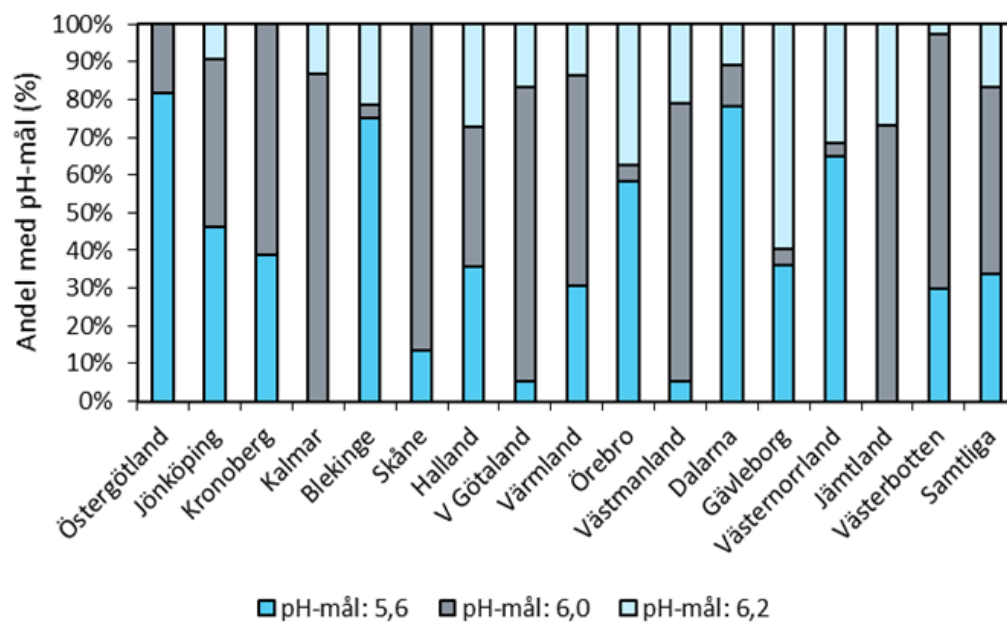
Enligt HaV:s föreskrifter anger huvudmannen pH-mål för respektive målområde som därefter fastställs av länsstyrelsen.

Enligt länsstyrelsernas uppgifter användes pH-mål 6,2 för 225 (17 %) målpunkter med förekomst/tidigare förekomst av flodpärlmussla (figur 32 & 33). För 460 (34 %) målpunkter tillämpades pH-mål 5,6 och för övriga 671 (49 %) användes pH-mål 6,0. Som motiv för pH-mål 6,0 angavs lax för 113 målpunkter och flodkräfta för 189. Höga halter av oorganiskt aluminium angavs för 250 målpunkter och för 211 användes pH-mål 6,0 utan att något av dessa kriterier var uppfyllt.

Högst andel målpunkter med pH-mål 6,2 förekom i Gävleborg, Örebro och Västernorrland och med pH-mål 5,6 i Östergötland, Dalarna och Blekinge. Även i Örebro och Västernorrland användes pH-mål 5,6 för merparten av målpunkterna. I Kalmar och Jämtland tillämpades pH-mål 5,6 inte för några målpunkter. pH-mål 6,0 användes för fler än hälften av målpunkterna i Kronoberg, Kalmar, Skåne, Västra Götaland, Värmland, Västmanland, Jämtland och Västerbotten.

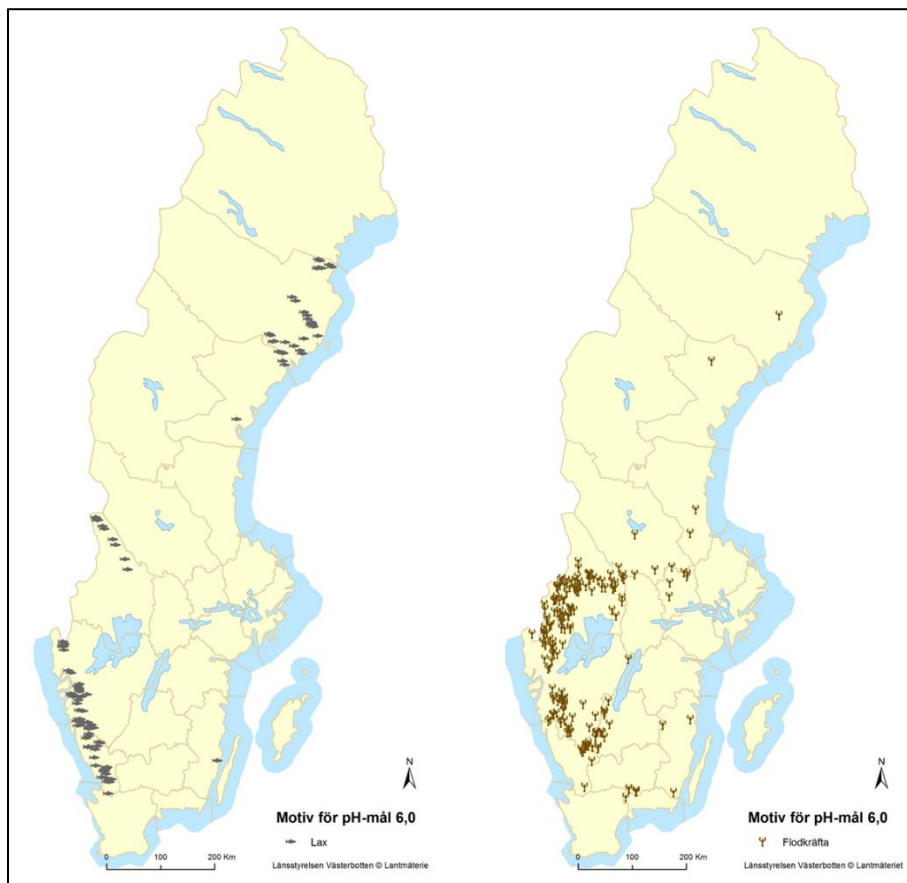


Figur 32. pH-mål för målpunkter. Uppgifter från länsstyrelserna.

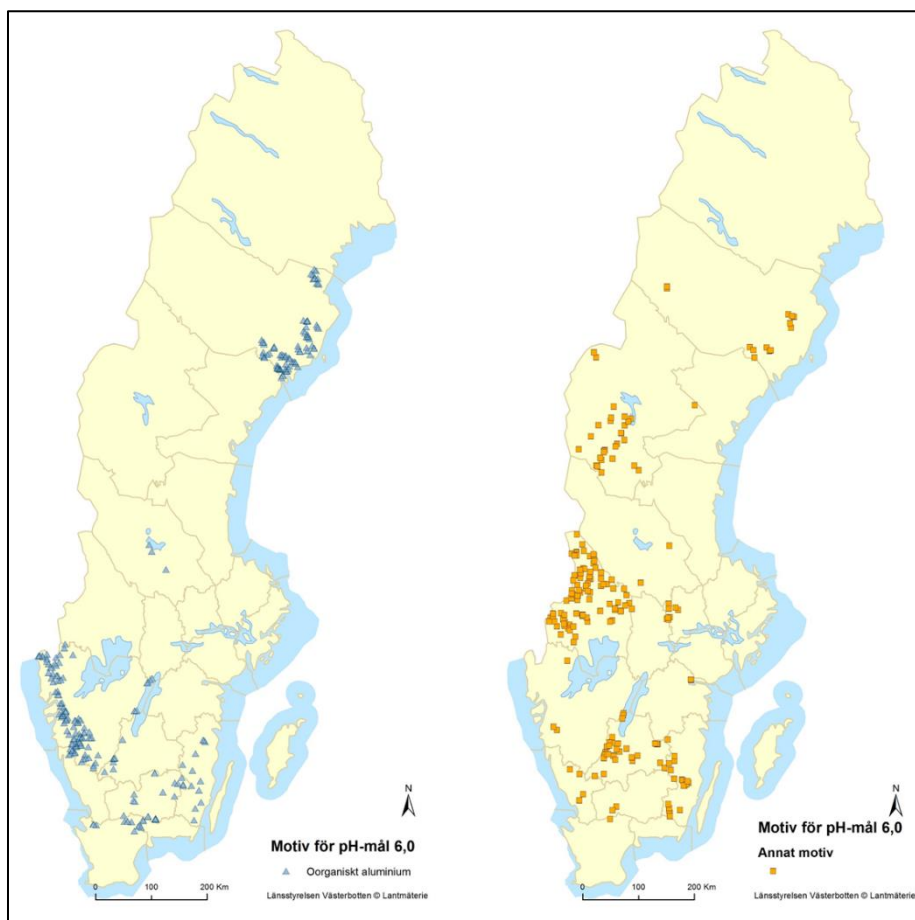


Figur 33. Procentuell fördelning av pH-målen mellan målpunkterna. Uppgifter från länsstyrelserna.

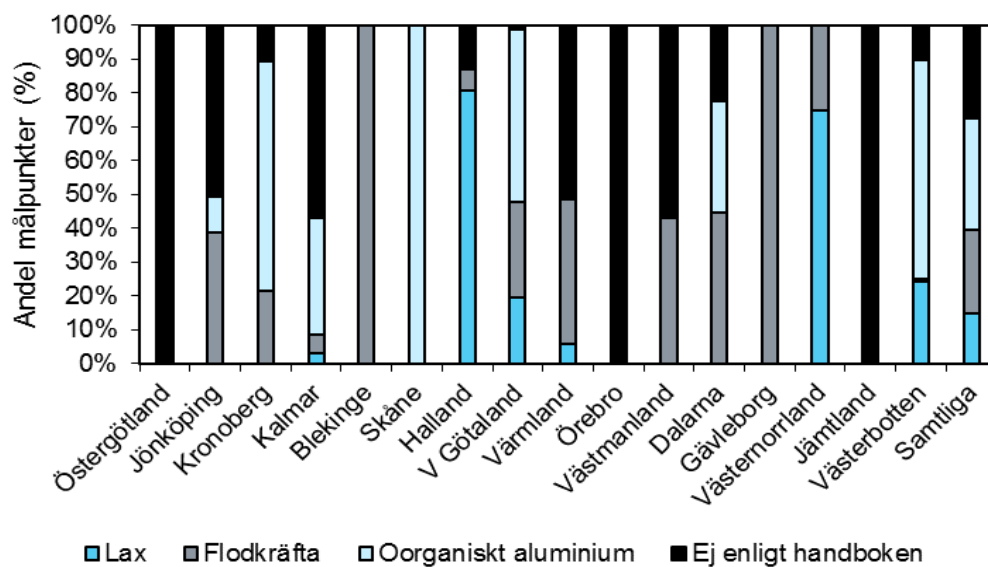
Avseende motiv för pH-mål 6,0 förekom flest målpunkter med lax i Västra Götaland, Västerbotten och Halland och flest med flodkräfta i Värmland, Västra Götaland och Jönköping (figur 34). Högst antal målpunkter där pH-mål 6,0 motiverades av risk för höga halter av oorganiskt aluminium fanns i Västra Götaland, Västerbotten och Kronoberg (figur 35). I Östergötland, Jönköping, Kalmar, Värmland, Örebro, Västmanland och Jämtland dominerade andra motiv än de som anges i handboken för val av pH-mål 6,0 (figur 36)



Figur 34. Målpunkter med pH-mål 6,0 motiverade med lax (vänster karta) respektive flodkräfta (höger karta). Uppgifter från länsstyrelserna.



Figur 35. Målpunkter med pH-mål 6,0 motiverade av höga halter av oorganiskt aluminium (vänster karta) eller av annat motiv än de som anges i kalkningshandboken (höger karta). Uppgifter från länsstyrelserna.



Figur 36. Motiv för pH-mål 6,0: procentuell fördelning mellan målpunkterna. Uppgifter från länsstyrelserna.

Vattendrag med pH-mål 5,6 var i genomsnitt förhållandevis små med stor andel våtmark och hög halt av organiskt kol (TOC) (tabell 2). Vattendrag med pH-mål 6,2 karaktäriserades av förhållandevis hög sjöprocent, låg andel öppen våtmark och låg halt av TOC. De skulle även ha förhållandevis högt pH utan kalkning (pH_{okalk}). Vattendrag med flodkräfta var små med stor sjöandel. Laxvattnen var stora med liten sjöandel och låg TOC-halt. Vattendrag med höga halter av oorganiskt aluminium var små och humösa med lågt pH_{okalk}. För samtliga pH-mål hade de matchade objekten i MAGIC-biblioteket i genomsnitt ett förindustriellt årsmedel-pH (pH₁₈₆₀) över 6,0. Lägst hade pH-mål 5,6 och högst pH-mål 6,2. Försurningsgraden (Δ pH) var däremot högst för pH-mål 6,0 och lägst för pH-mål 6,2. I genomsnitt var Δ pH över 0,4 för samtliga pH-mål, vilket är gränsen för att klassas som försurade enligt HaV:s föreskrifter (HVMFS 2013:19, Havs- och vattenmyndigheten 2013b).

Tabell 2. Medelvärden avseende avrinningsområden, vattenkemi och försurning i målpunkter fördelade på pH-mål och motiv för pH-mål. Vattenkemin baseras på underlag från MVU. pH₁₈₆₀ och Δ pH avser matchade objekt i MAGIC-biblioteket.

pH-mål	Antal	ARO (km ²)	Sjöandel (%)	Andel öppen våtmark (%)	TOC-årsmedel (mg/l)	pH _{okalk} -min	pH _{okalk} -årsmedel	pH ₁₈₆₀ -årsmedel	Δ pH
5,6	460	45	4,1	8,5	15,5	5,24	5,50	6,12	0,55
6,0 (samtliga)	671	82	5,2	6,4	14,9	5,30	5,56	6,28	0,63
6,0 (flodkräfta)	189	40	6,9	5,3	14,6	5,35	5,60	6,34	0,63
6,0 (lax)	113	130	4,3	7,1	13,3	5,29	5,55	6,37	0,75
6,0 (oorganiskt aluminium)	250	43	4,6	4,6	16,4	5,14	5,43	6,26	0,75
6,0 (annat)	211	132	4,9	8,7	14,8	5,41	5,67	6,20	0,44
6,2	225	113	5,9	5,6	13,2	5,70	5,91	6,52	0,48

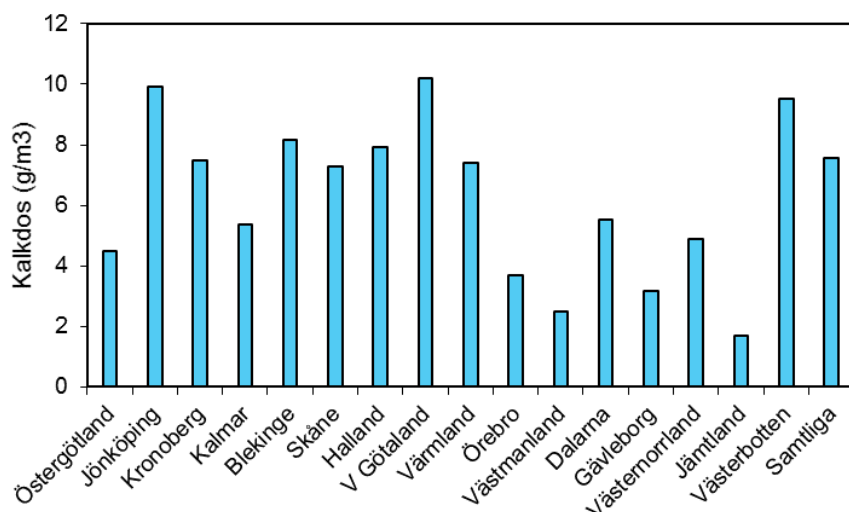
3.7 Kalkdos

3.7.1 Använd kalkdos

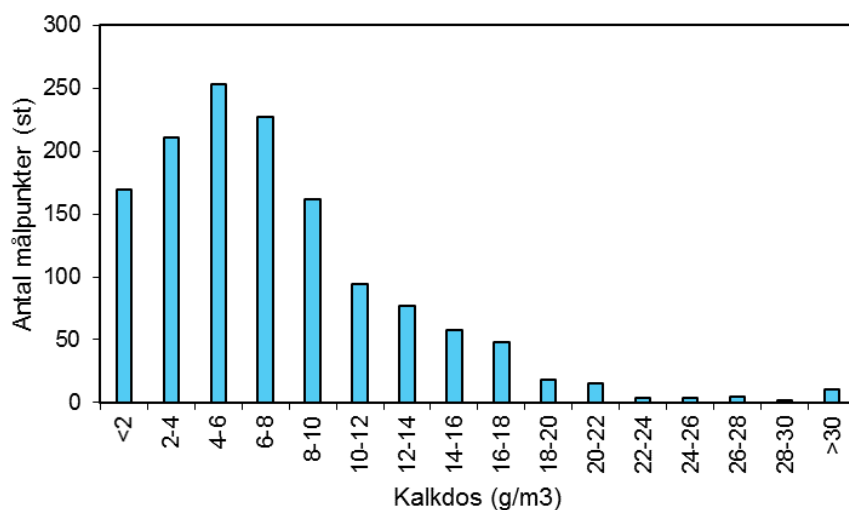
Den använda kalkdosen förväntas avgöras av den höjning av pH som behövs för att uppnå pH-målet samt vilken kalkeffekt som kan uppnås. Behovet att höja pH benämns **erforderlig pH-höjning** och avser skillnaden mellan pH-målet och lägsta okalkade pH. Stor erforderlig pH-höjning samt låg kalkeffekt förutsätter en hög kalkdos för att inte pH-målet ska underskridas. I handboken anges riktvärden baserade på lägsta okalkat pH och angivet pH-mål. Riktvärdena är ungefär 30 % högre för sjökalkning än för våtmarkskalkning, vilket beror på att kalkeffekten förväntas vara lägre vid sjökalkning. Riktvärdena för doserarkalkning baseras på momentanvärden och är inte direkt jämförbara med de som anges för sjö- eller våtmarkskalkning.

I medeltal uppgick kalkdosen till 7,6 g/m³ för samtliga målpunkter (figur 37). De i genomsnitt högsta doserna nyttjades i Västra Götaland (10,2 g/m³), Jönköping (9,9 g/m³) och Västerbotten (9,5 g/m³). De lägsta användes i Jämtland (1,7 g/m³), Västmanland (2,5 g/m³) och Gävleborg (3,2 g/m³).

För 55 målpunkter finns ingen kalkning registrerad under sex år före provtagningen i MVU (figur 38). För ytterligare 130 målpunkter var kalkdosen lägre än 2 g/m³, vilket medför en försumbar höjning av lägsta pH.



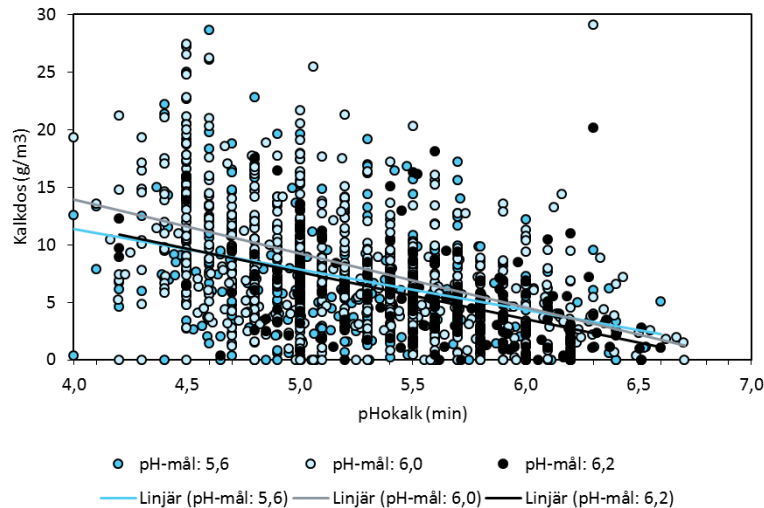
Figur 37. Genomsnittlig kalkdos för målpunkter baserad på utspridd kalkmängd under sex år före provtagningen i MVU.



Figur 38. Fördelningen av kalkdos mellan målpunkter. Kalkdosen baserades på utspridd kalkmängd under sex år före provtagningen i MVU.

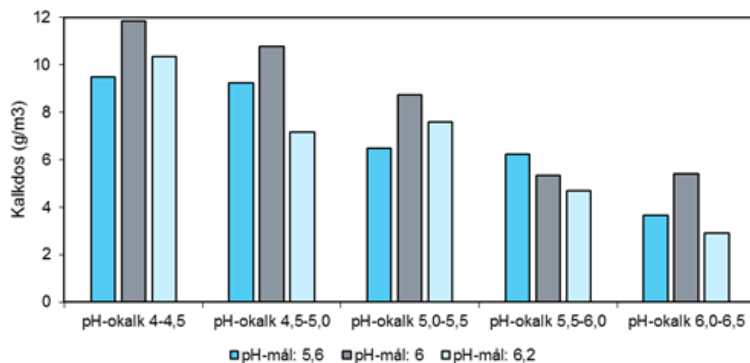
3.7.2 Kalkdos i förhållande till behovet att höja pH

Generellt uppvisade använd kalkdos stor variation i förhållande till erforderlig pH-höjning. Förhållandet mellan pH_{okalk} och kalkdos var likartat för pH-målen 5,6 och 6,2, medan en något högre kalkdos nyttjades vid pH-mål 6,0 (figur 39).



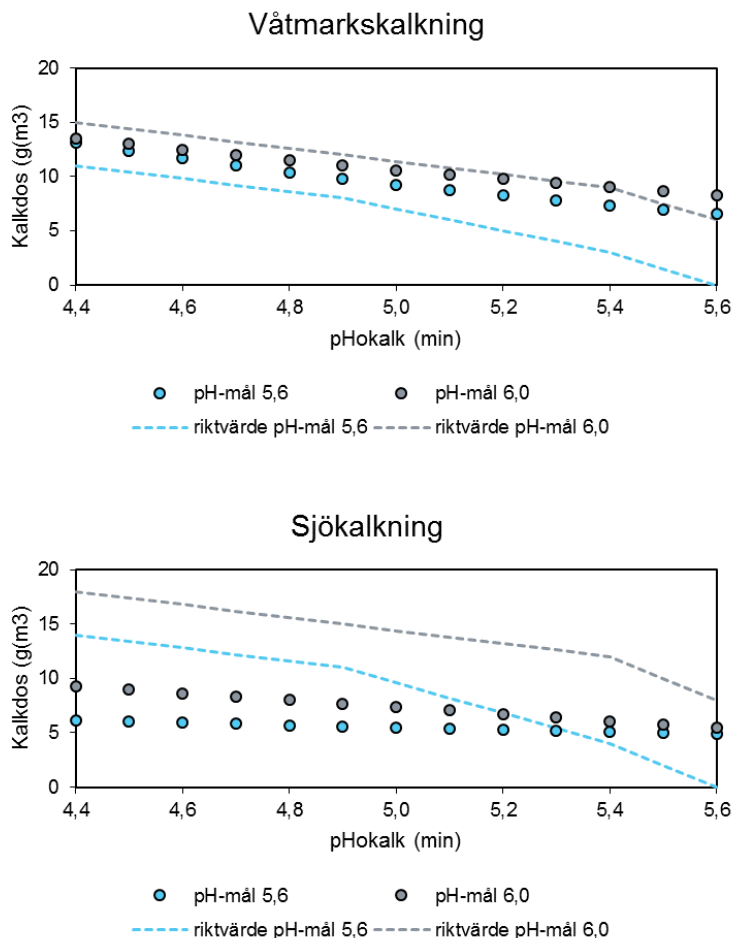
Figur 39. Använd kalkdos i förhållande till lägsta okalkat pH och pH-mål. Okalkat pH hämtades från länsstyrelsernas uppgifter där sådana angivits, övriga från MVU. pH-mål 5,6: $R^2=0,1$, $n=460$, pH-mål 6,0: $R^2=0,15$, $n=671$, pH-mål: 6,2: $R^2=0,12$, $n=225$.

En gruppering enligt okalkat pH gav ett liknande intryck, med de i genomsnitt högsta kalkdoserna vid pH-mål 6,0 (figur 40). Målpunkter med pH-mål 6,2 borde teoretiskt kalkas med den högsta dosen, men uppvisade lägst dos vid 3 av 5 nivåer på okalkat pH. Förutom vid pH_{okalk} 5,5–6,0 nyttjades en högre kalkdos vid pH-mål 6,0 än vid 5,6, men skillnaden var mindre än vad som är teoretiskt motiverat.



Figur 40. Genomsnittlig kalkdos i förhållande till okalkat pH och pH-mål. Okalkat pH hämtades från länsstyrelsernas uppgifter där sådana angivits, övriga från MVU.

Generellt nyttjades en högre kalkdos vid våtmarkskalkning än vid kalkning på sjöar eller via doserare. Vid våtmarkskalkning användes ungefär samma dos oavsett pH-mål 5,6 eller 6,0. I förhållande till riktvärdena i handboken tillämpades en högre kalkdos vid pH-mål 5,6 (figur 41). Vid pH-mål 6,0 var kalkdosen snarlikt riktvärdena. Vid sjökalkning nyttjades en högre kalkdos vid pH-mål 6,0 än för pH-mål 5,6. Vid låga pH_{okalk} var kalkdosen, oavsett pH-mål, ungefär hälften av angivna riktvärden. Skillnaden minskade därefter för att vid pH_{okalk} strax under pH-målet vara ungefär samma som riktvärdena. Riktvärden för kalkdosering vid pH-mål 6,2 saknas i handboken.



Figur 41. Genomsnittlig kalkdos vid våtmarkskalkning respektive sjökalkning i förhållande till lägsta okalkat pH och pH-mål. Riktvärdena är hämtade från kalkningshandboken (Naturvårdsverket 2010:2).

3.7.3 Kalkdos i förhållande till behovet att höja pH på länsnivå

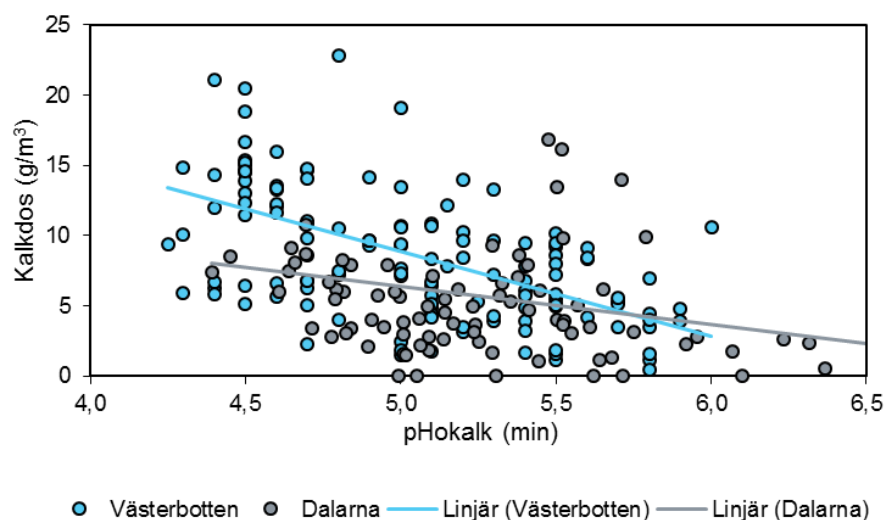
De länsvisa sambanden mellan kalkdos och pH_{okalk} skattades med linjär regression. Som underlag för pH_{okalk} användes länsstyrelsernas skattningar. Där sådana saknades nyttjades beräkningar baserade på MVU. Målpunkter som enligt länsstyrelserna överkalkades till förmån för nedströms belägna målområden uteslöts. Teoretiskt borde det föreligga en skillnad beroende på val av pH-mål. På länsnivå återfanns inga sådana skillnader varför förhållandet mellan kalkdos och pH_{okalk} avser samtliga målpunkter, oavsett pH-mål.

Vid pH_{okalk} på 5,4 låg flertalet län på en rimlig nivå i förhållande till riktvärdena i handboken (tabell 3). I Västmanland, Gävleborg och Jämtland var dosen lägre. Flertalet län uppvisade en relativt liten ökning av kalkdosen i förhållande till minskat pH_{okalk}. Det var bara Västra Götaland och Västerbotten som i genomsnitt nyttjade en kalkdos i paritet med riktvärdena vid pH_{okalk} på 4,4.

Tabell 3. Använd kalkdos i förhållande till lägsta okalkade pH. Kalkdoserna beräknades utifrån linjära samband. Okalkat pH hämtades från länsstyrelsernas uppgifter där sådana angivits, övriga från MVU. R²-värdena anger i vilken grad kalkdosen varierade med pH_{okalk}.

pH _{okalk} (min)	Kalkdos (g/m ³)			R ²
	4,4	4,9	5,4	
Östergötland		4,9	4,6	0,02
Jönköping	10,3	9,2	8,1	0,09
Kronoberg	8,5	6,9	5,4	0,20
Kalmar		7,1	6,2	0,05
Blekinge			8,0	0,19
Skåne	5,8	7,6	9,3	0,16*
Halland	10,1	8,4	6,7	0,10
V Götaland	14,2	11,4	8,6	0,23
Värmland	10,6	8,7	6,8	0,15
Örebro		6,1	4,6	0,12
Västmanland	5,2	3,9	2,7	0,41
Dalarna	8,0	6,7	5,3	0,03
Gävleborg	5,6	4,4	3,3	0,12
Västernorrland	7,7	6,3	4,8	0,21
Jämtland	4,3	3,1	1,8	0,17
Västerbotten	12,6	9,5	6,5	0,29

Några län saknade anpassning av kalkdosen till behovet att höja pH. Dalarna utgjorde ett sådant exempel (figur 42). Enligt tabell 3 framgår att även Östergötland, Kalmar och Skåne saknade förväntade samband. Tydlig koppling mellan kalkdos och pH_{okalk} återfanns främst i Västmanland, Kronoberg, Västernorrland, Västerbotten och Västra Götaland. I Västmanland, Kronoberg och Västernorrland var emellertid kalkdosen låg i förhållande till riktvärdena, särskilt vid låga pH_{okalk}.



Figur 42. Exempel på samband mellan pH_{okalk} och kalkdos som användes i tabell 3. Okalkat pH hämtades från länsstyrelsernas uppgifter där sådana angivits, övriga från MVU. Västerbotten: R²=0,29, n=134, Dalarna: R²=0,03, n=86.

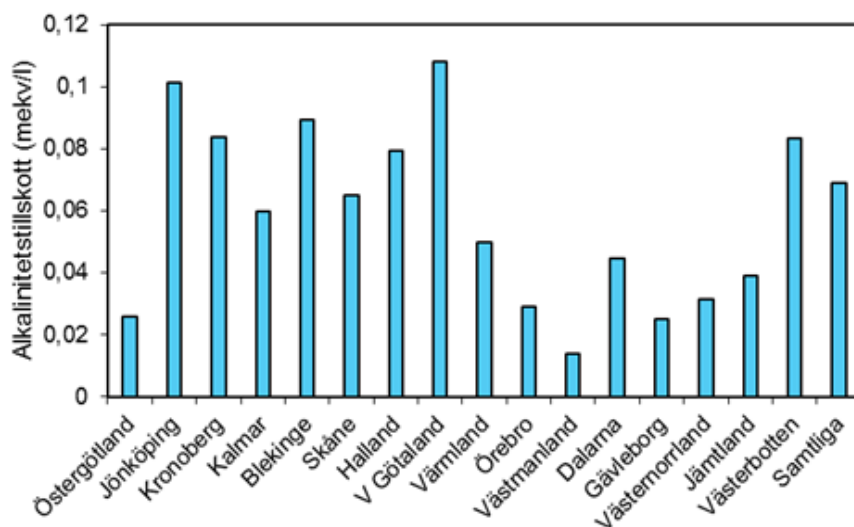
3.8 Tillskott av alkalinitet

3.8.1 Uppnått alkalinitetstillskott

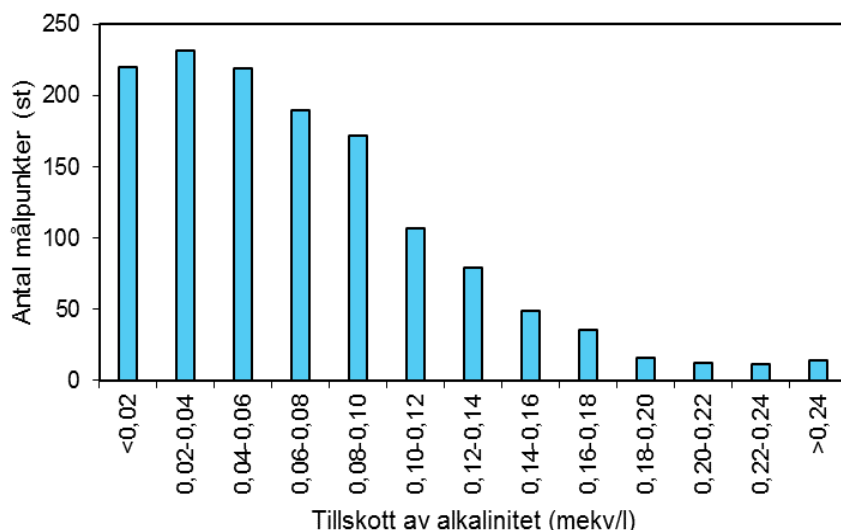
Tillskottet av alkalinitet beror av använd kalkdos samt vilken kalkeffekt som uppnås. En väl fungerande kalkning förutsätter att tillskottet är anpassat efter behovet att höja pH. Om tillskottet är för litet underskrids pH-målet. Om tillskottet är för högt blir kalkförbrukningen onödigt stor. Tillskottet varierar över året och det mest kritiska tillfället infaller vid lägsta pH.

Tillskottet av alkalinitet vid lägsta pH uppgick i medeltal till 0,069 mekv/l (figur 43). De högsta snittvärdena noterades i Västra Götaland (0,11 mekv/l), Jönköping (0,1 mekv/l) och Blekinge (0,09 mekv/l). I Västmanland bidrog kalkningen i genomsnitt med 0,01 mekv/l i alkalinitet vid lägsta pH, vilket ger en försumbar höjning av pH. Gävleborg, Östergötland, Örebro och Västernorrland uppvisade snittvärden på 0,03 mekv/l eller lägre, vilket motsvarar en ökning av lägsta pH på cirka 0,2–0,4 pH-enheter.

För 80 mätpunkter beräknades ett negativt tillskott av alkalinitet, vilket är orimligt. Orsaken är att Ca_{ref}/Mg_{ref} var högre än uppmätt Ca/Mg för den kalkade mätpunkten. Det visade att Ca_{ref}/Mg_{ref} utgjorde en dålig skattning av Ca_{okalk}/Mg_{okalk} för dessa mätpunkter, men antyder också en ringa höjning av kalciumhalten till följd av kalkning. Sammantaget beräknades att det lägsta alkalinitetstillskottet underskred 0,02 mekv/l för 220 mätpunkter. Ett tillskott på 0,02 mekv/l motsvarar en höjning av pH på ungefär 0,2–0,3 enheter (figur 44).



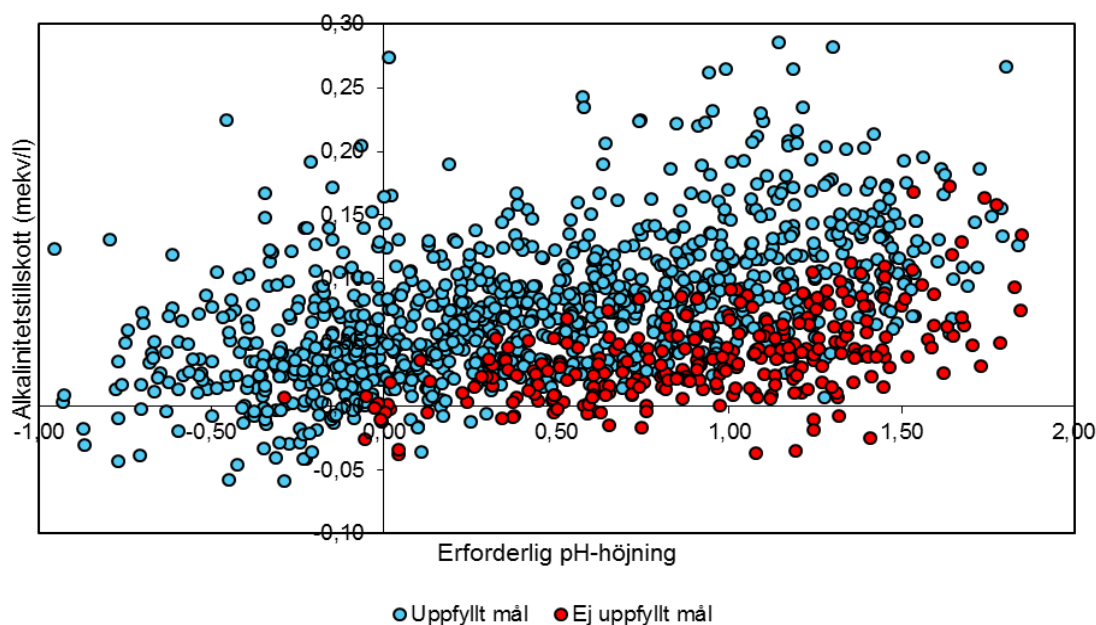
Figur 43. Genomsnittligt tillskott av alkalinitet i mätpunkter vid lägsta pH. Data från MVU.



Figur 44. Fördelning av alkalinitetstillskott i mätpunkter vid lägsta pH. Data från MVU.

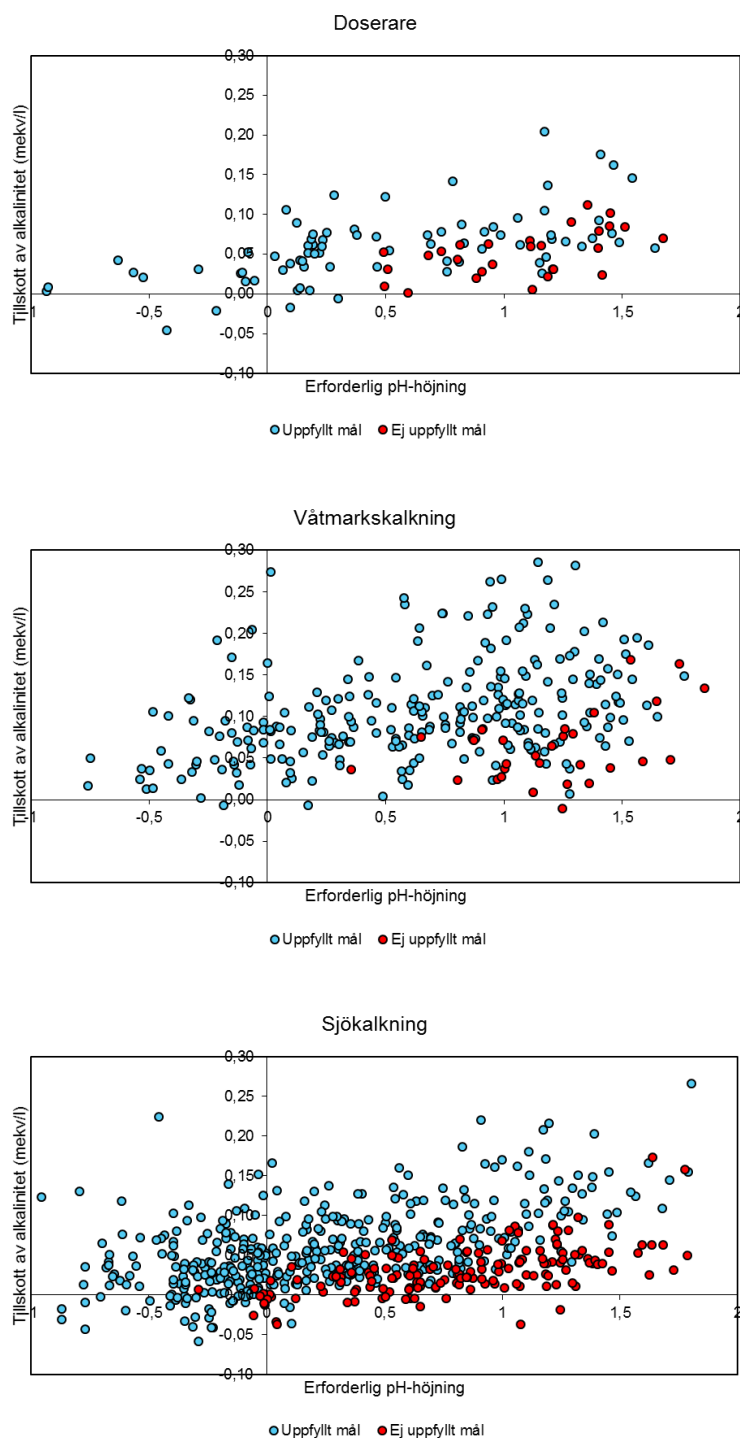
3.8.2 Tillskott av alkalinitet i förhållande till behovet att höja pH

Generellt fanns ett förväntat samband som innebar att tillskottet av alkalinitet var större i mätpunkter med stor erforderlig pH-höjning än i de som hade litet behov (figur 45). I mätpunkter med en erforderlig pH-höjning på 1,0 pH-enheter var tillskottet av alkalinitet i genomsnitt 0,085 mekv/l vid lägsta pH. Vid en erforderlig pH-höjning på 1,5 var tillskottet i genomsnitt 0,10 mekv/l. För att pH-målet inte skulle underskridas vid någon mätpunkt behövdes ungefär ett tillskott av alkalinitet på 0,09 mekv/l vid en erforderlig pH-höjning på 1,0 pH-enheter och 0,13 mekv/l om behovet att höja pH uppgick till 1,5 pH-enheter.



Figur 45. Tillskott av alkalinitet vid lägsta pH i förhållande till erforderlig höjning av pH för att inte underskrida pH-målet. Data från MVU.

Tillskottet av alkalinitet var ungefär 50 % högre vid våtmarkskalkning än vid kalkning på sjöar eller via doserare (figur 46). Förhållandet gällde oavsett om behovet att höja pH var litet eller stort. Detta medför att måluppfyllelsen var högre vid våtmarkskalkning än vid kalkning via sjöar eller med doserare.



Figur 46. Tillskott av alkalinitet vid lägsta pH i förhållande till erforderlig höjning av pH för att inte underskrida pH-målet. Data från MVU.

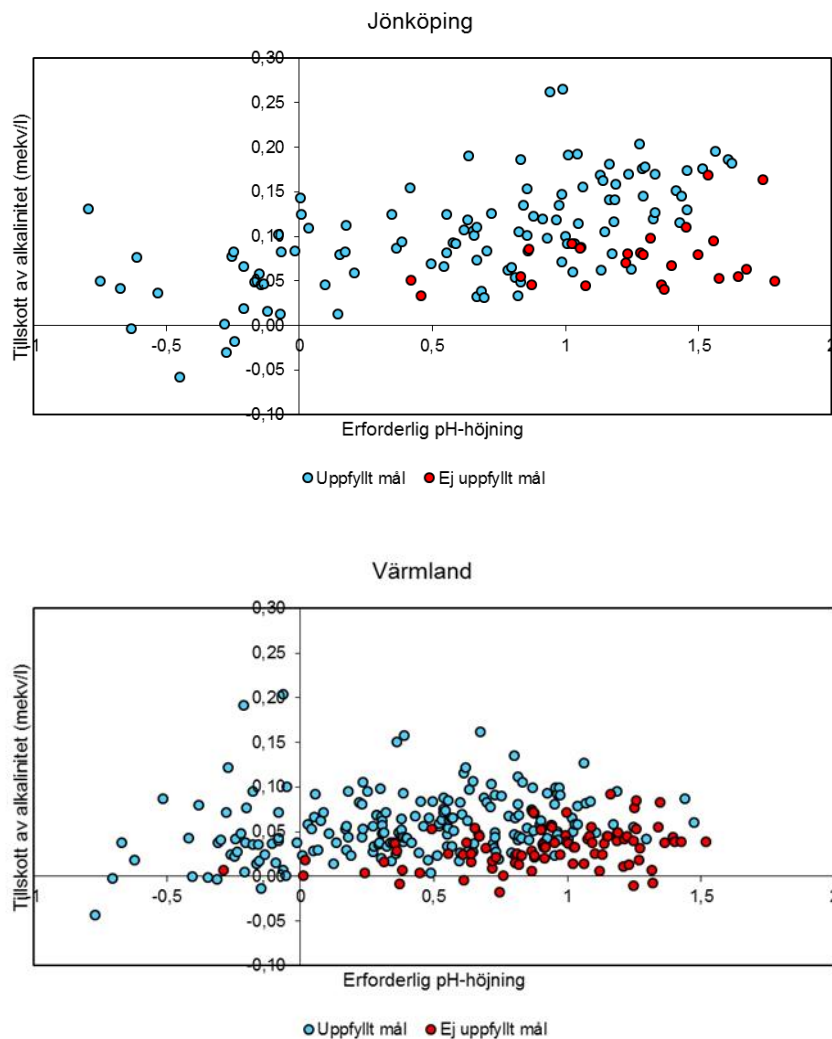
3.8.3 Tillskott av alkalinitet i förhållande till behovet att höja pH på länsnivå

De länsvisa sambanden mellan uppnått alkalinitetstillskott i förhållande till erforderlig pH-höjning baserades på data från MVU och skattades med linjär regression. Blekinge, Skåne, Värmland, Dalarna och Gävleborg saknade samband (tabell 4), vilket innebär att kalkningen tillförde lika mycket alkalinitet oavsett behov. Om inte tillskottet är genomgående högt, som i Västra Götaland, blir konsekvensen en låg måluppfyllelse i målpunkter med stort behov av pH-höjning. Som kontrast till Västra Götaland kan nämnas Västmanland som uppvisade det starkaste sambandet mellan tillskott och behov. Tillskottet var emellertid genomgående lågt, vilket resulterade i låg måluppfyllelse. Ett liknade förhållande återfanns i Örebro.

Tabell 4. Tillskott av alkalinitet vid lägsta pH i förhållande till erforderlig pH-höjning för att uppnå pH-målet. Alkalinitetstillskottet beräknades utifrån linjära samband. R²-värdena anger i vilken grad tillskottet varierade med erforderlig pH-höjning. Låga vä

	Tillskott av alkalinitet (mekv/l) vid erforderlig pH-höjning			R ²
	0,5	1	1,5	
Östergötland	0,040	0,061		0,30
Jönköping	0,089	0,113	0,136	0,22
Kronoberg	0,068	0,083	0,098	0,19
Kalmar	0,088	0,123		0,38
Blekinge	0,093	0,100	0,107	0,02
Skåne	0,062	0,064	0,066	0,00
Halland	0,073	0,079	0,085	0,03
V Götaland	0,101	0,114	0,127	0,07
Värmland	0,049	0,052	0,054	0,00
Örebro	0,031	0,040	0,049	0,12
Västmanland	0,019	0,042	0,065	0,41
Dalarna	0,044	0,044	0,043	0,00
Gävleborg	0,025	0,025	0,025	0,00
Västernorrland	0,044	0,061	0,078	0,16
Jämtland	0,048	0,066	0,084	0,29
Västerbotten	0,089	0,112	0,136	0,21

Jönköping och Värmland redovisas i figur 47 som ett bra respektive dåligt exempel på anpassning. I Jönköping ökade tillskottet generellt i takt med ökat behov. Måluppfyllelsen var förhållandevis hög och pH-målet underskreds bara i målpunkter som avvek från det generella sambandet och uppvisade ett lågt tillskott trots att behovet var stort. I Värmland fanns inget samband mellan alkalinitetstillskott och behov och måluppfyllelsen uppgick till 33 % i målpunkter där erforderlig pH-höjning översteg 1,0 pH-enheter. Motsvarande notering i Jönköping var 65 %.



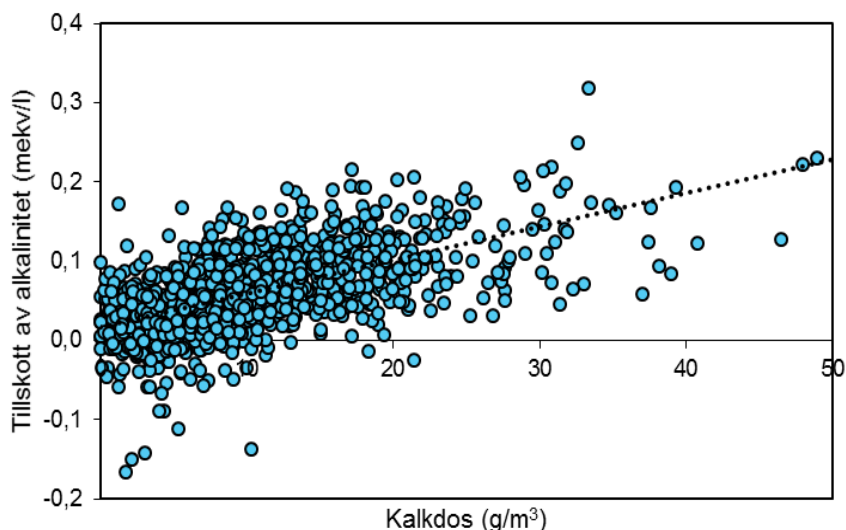
Figur 47. Tillskott av alkalinitet i förhållande till erforderlig höjning av pH för att inte underskrida pH-målet. Data från MVU. Exempel på svag anpassning (Värmland) och bra anpassning (Jönköping). Värmland: N=285, R2=0,00, Jönköping: N=138, R2=0,22.

3.9 Kalkeffekt

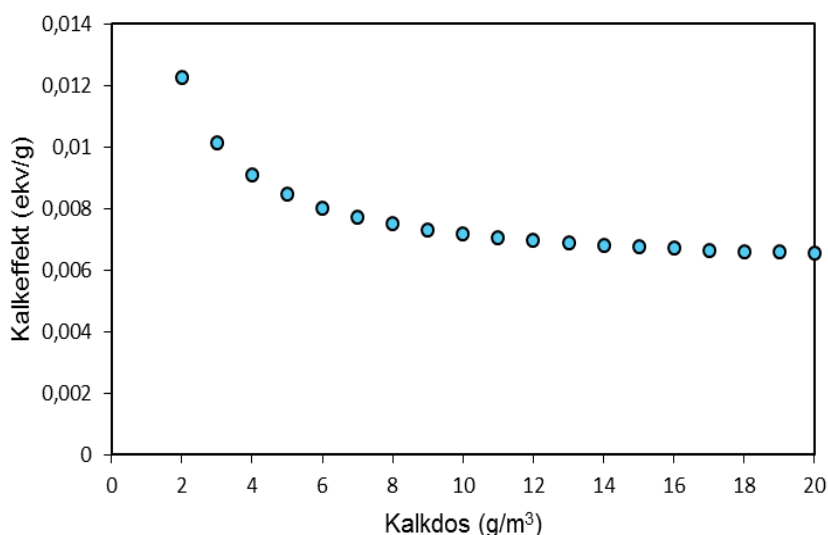
Kalkeffekten beräknas efter hur stort tillskott av alkalinitet som uppnås i förhållande till använd kalkdos. Det mest kritiska tillfället infaller vid lägsta pH. Eftersom lägsta pH inte alltid sammanfaller med lägsta tillskott av alkalinitet är det också intressant att belysa lägsta kalkeffekt, oavsett pH.

3.9.1 Uppnådd kalkeffekt

Tillskottet av alkalinitet ökade med ökande kalkdos, vilket var förväntat (figur 48). I genomsnitt uppgick den lägsta kalkeffekten till 0,01 ekv/g, dvs. en kalkdos på 1 g/m³ gav upphov till en ökning av alkaliniteten på 0,01 mekv/l. Kalkeffekten vid lägsta uppmätta pH uppgick i genomsnitt till 0,013 ekv/g. Vid låga kalkdoser blir beräkningen av kalkeffekten osäker. Likväl visade beräkningarna att kalkeffekten generellt var högre vid låga kalkdoser och minskade med ökande kalkdos (figur 49). Den lägsta kalkeffekten var i genomsnitt 0,012 ekv/g vid en kalkdos på 2 g/m³ för att sjunka till 0,006 ekv/g vid en dos på 20 g/m³. Minskningen var brantast vid låga kalkdoser och planade ut när dosen ökade.



Figur 48. Tillskott av alkalinitet i förhållande till kalkdos. Avser provtillfälle med lägsta beräknade alkalinitetstillskott. Data från MVU. Kalkdosen avser medelvärdet för sex år innan provtagningen. $R^2=0,36$, $N=1\ 299$.

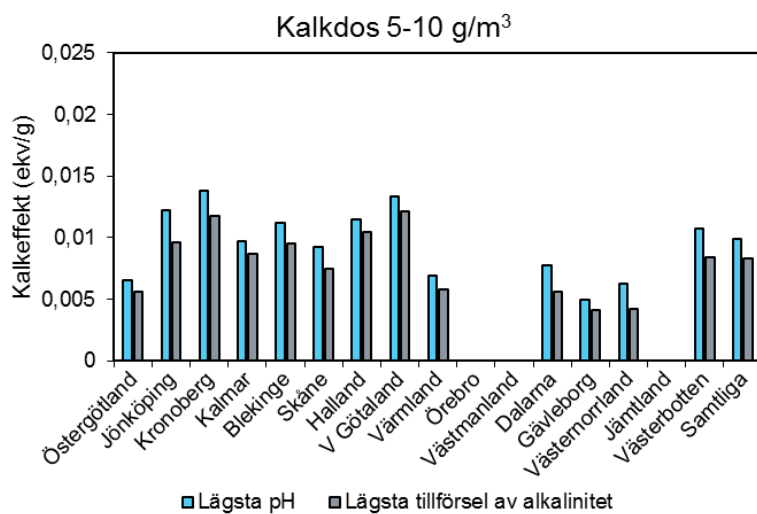
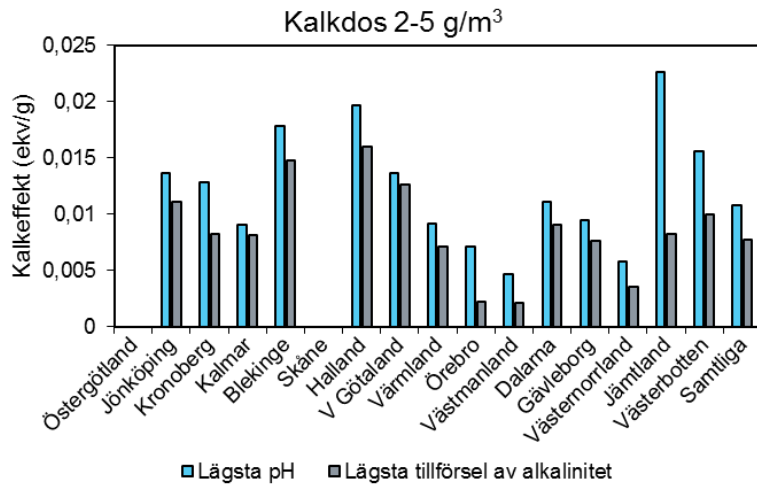


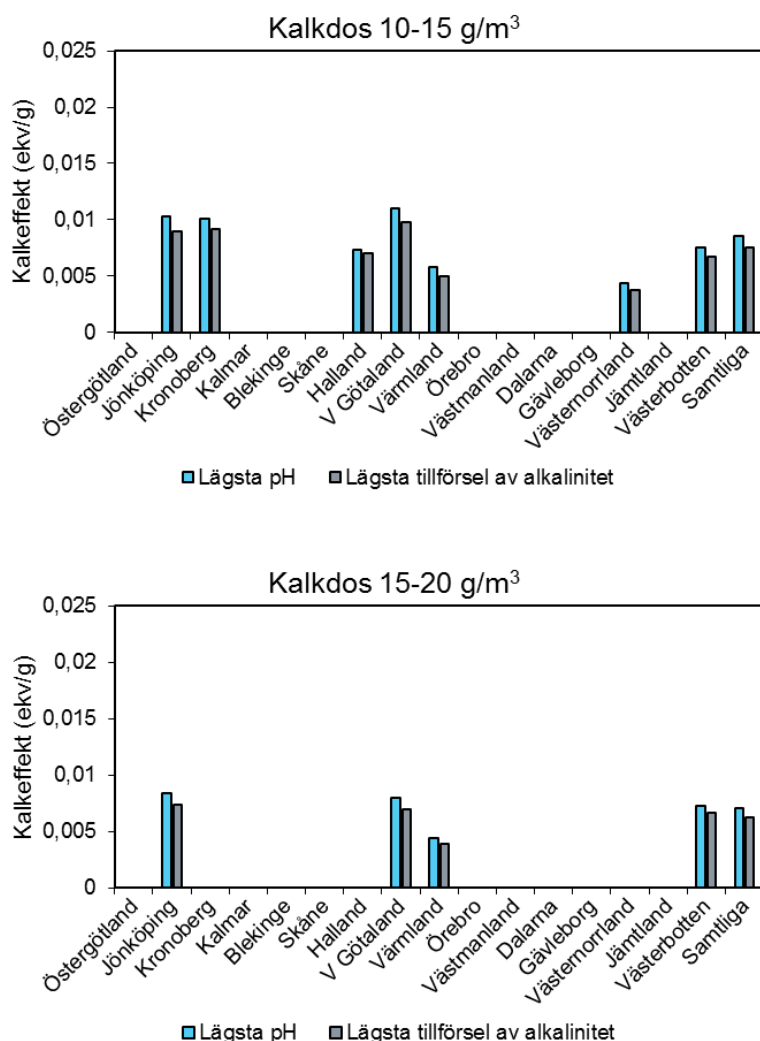
Figur 49. Kalkeffekt (tillskott av alkalinitet i förhållande till kalkdos). Avser provtillfälle med lägsta beräknade alkalinitetstillskott för respektive provpunkt. Data från MVU.

3.9.2 Uppnådd kalkeffekt på länsnivå

Eftersom kalkdosen varierade mellan länen var det inte lämpligt att göra en direkt jämförelse av kalkeffekten. I stället gjordes en gruppering baserad på kalkdos enligt 2–5 g/m³, 5–10 g/m³, 10–15 g/m³ respektive 15–20 g/m³. Målpunkter med lägre dos än 2 g/m³ beaktades inte eftersom fel i beräkningen av alkalinitetstillskott kan leda till orimligt hög beräknad kalkeffekt. Enstaka målpunkter kan också ge avvikande värden och därför redovisas endast medelvärden som baserades på minst fem målpunkter. Flertalet län hade minst fem målpunkter i de två klasserna med lägst kalkdos. Kalkdoser över 10 g/m³ var endast vanliga i Jönköping, Halland, Västra Götaland, Värmland och Västerbotten.

Kalkeffekten beräknades vid lägsta pH och vid lägsta alkalinitetstillskott. Ofta sammanföll dessa tillfällen, men det var inte ovanligt att lägsta pH noterades vid ett annat tillfälle än när kalkeffekten var lägst. Generellt minskade skillnaderna mellan länen vid en högre kalkdos (figur 50). I det lägsta dosintervallet uppvisade Jämtland och Halland den effektivaste kalkningen. Vid en kalkdos på 5–10 g/m³ var kalkningarna i Kronoberg och Västra Götaland effektivast. Kalkningar med i genomsnitt låg effekt inom dosintervallet 2–10 g/m³ återfanns i Västmanland, Västernorrland, Örebro och Värmland. Kalkningar i Värmland och Västernorrland var också de minst effektiva i dosintervallen över 10 g/m³, där övriga län uppvisade mer likartade värden.

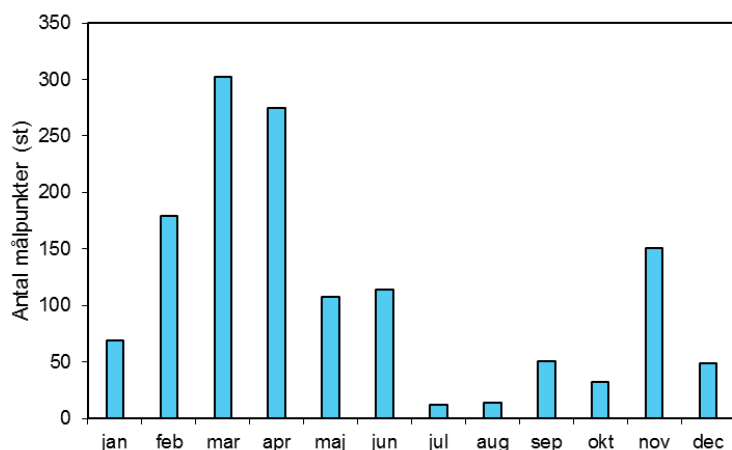




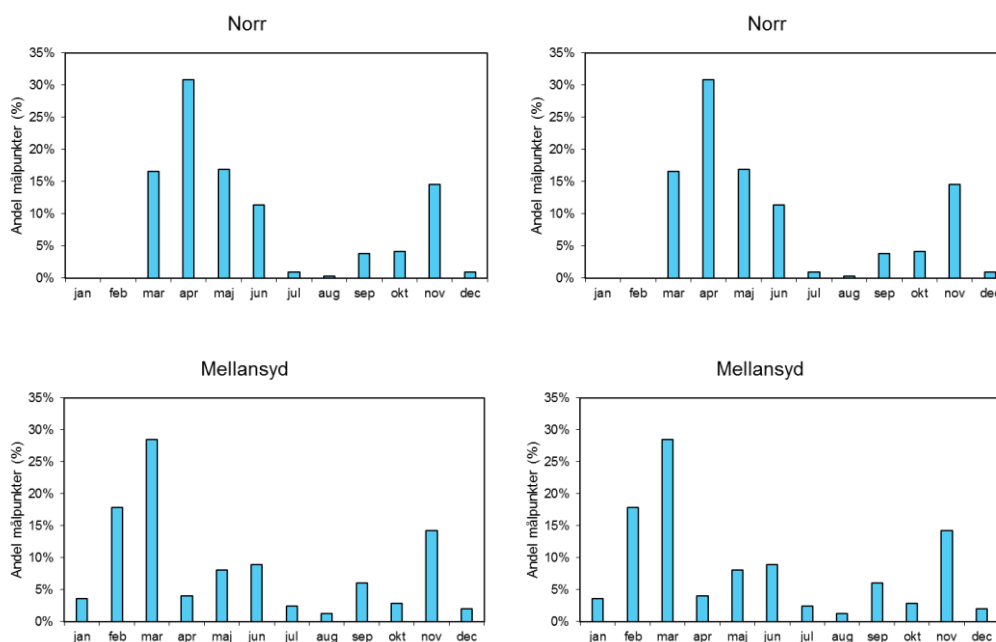
Figur 50. Genomsnittlig kalkeffekt vid lägsta pH samt vid lägsta alkalinitetstillskott. Data från MVU.

3.9.3 Tidpunkt för lägsta kalkeffekt

Det största antalet målpunkter uppvisade lägst kalkeffekt i mars och april (figur 51). Mars månad bör vara överrepresenterad till följd av de fasta provtillfällena i MVU, men detta torde vara mer uppenbart avseende juni och november. För att belysa regionala skillnader gjordes en enkel uppdelning enligt x-koordinat. I de två nordliga regionerna uppvisade det största antalet målpunkter den svagaste kalkeffekten i april (figur 52). Längre söderut var kalkeffekten lägst i februari och mars.



Figur 51. Månad när lägsta kalkeffekt noterades. Data från MVU.

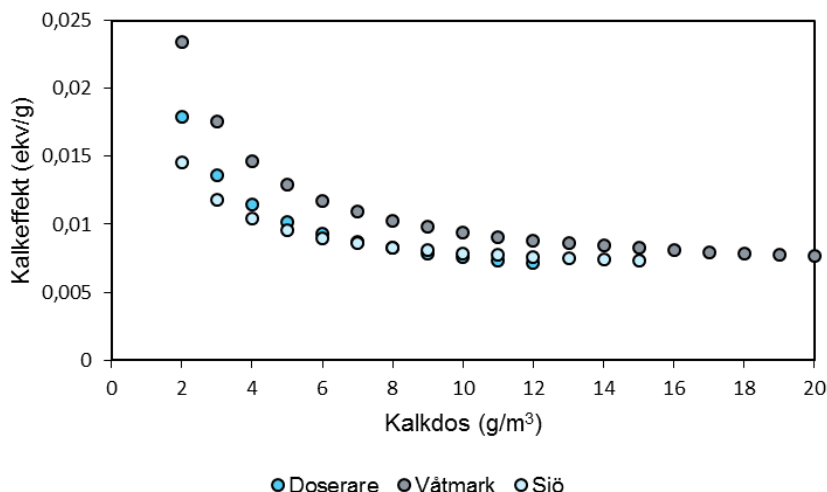


Figur 52. Månad när lägsta kalkeffekt noterades fördelat på fyra regioner från norr till söder. Data från MVU. Den södra regionen definierades som x-koordinat (RT-90) lägre än 6400000. Den sydliga mellanregionen mellan 6400000 och 6600000, den norra mellanregionen med x-koordinat mellan 6600000 och 6800000 den norra regionen med x-koordinat över 6800000.

3.9.4 Kalkeffekt i förhållande till kalkningsmetod

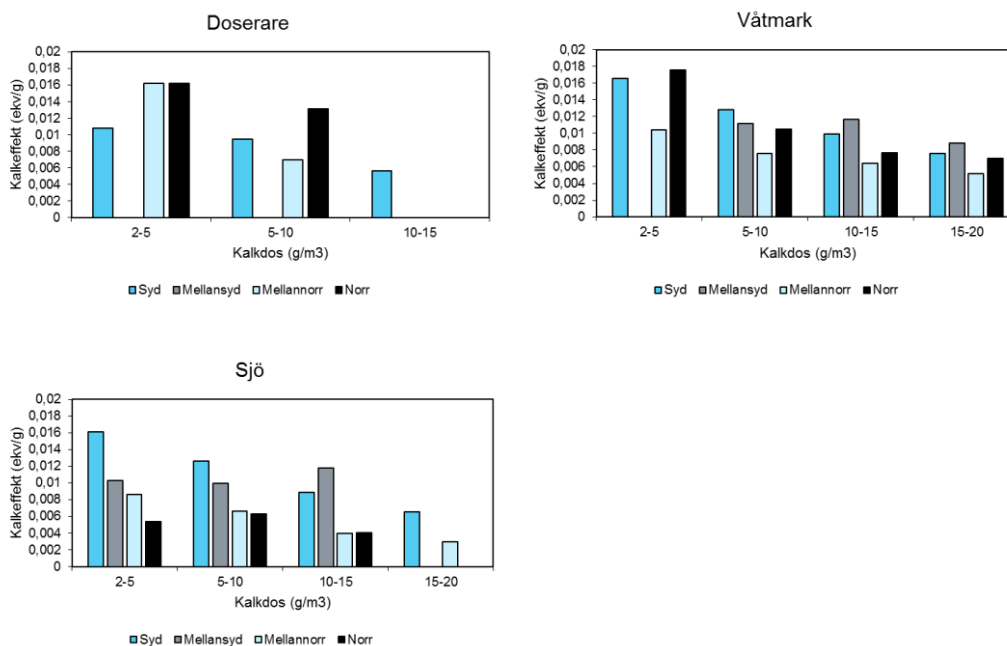
Jämförelsen av kalkeffekt mellan kalkningsmetoderna utgick från tillfället med lägsta uppmätta pH. Detta valdes eftersom kalkdosering stängs av när de inte behövs. Därför kan ett provtillfälle med lägsta alkalinitetstillskott infalla när ingen kalk behöver tillföras, vilket felaktigt kan bedömas som låg kalkeffekt.

Våtmarkskalkning uppvisade den högsta kalkeffekten, oavsett kalkdos (figur 53). Vid en låg kalkdos var kalkdosering effektivare än sjökalkning, men vid högre doser var förhållandet omvänt. Skillnaden mellan dosering och sjökalkning var liten förutom vid kalkdos under 4 g/m³ där dosering var effektivare.



Figur 53. Kalkeffekt (tillskott av alkalinitet i förhållande till kalkdos) i målpunkter. Avser provtillfälle med lägsta pH för respektive målpunkt. Data från MVU.

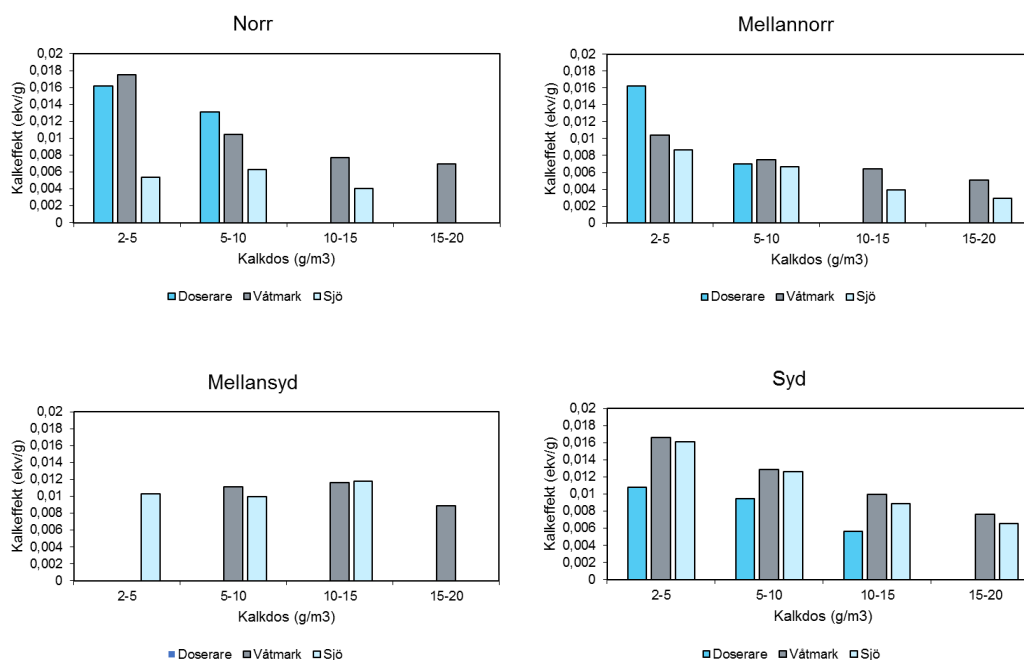
Kalkeffekten uppdelad efter kalkningsmetod visade att sjökalkningen i genomsnitt var betydligt effektivare i södra Sverige än längre norrut (figur 54). Våtmarkskalkningen uppvisade mindre regionala skillnader, men den nordliga mellanregionen hade lägst effekt. För doserare uppvisade den nordliga regionen den effektivaste kalkningen. En i sammanhanget intressant notering är att det i princip inte förekommer kalkning med doserare i den sydliga mellanregionen.



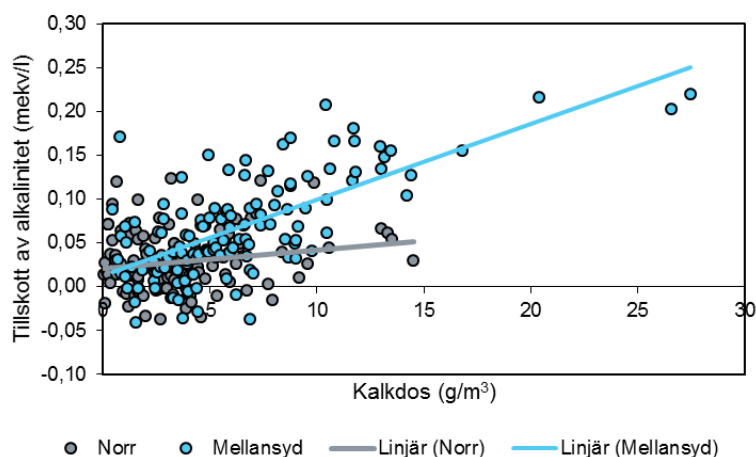
Figur 54. Genomsnittlig kalkeffekt vid lägsta pH fördelat efter metod, region och använd kalkdos. Data från MVU. Den regionala indelningen redovisas i figur 52.

När samma resultat redovisades för respektive region (figur 55) visade det sig att sjökalkning var minst effektiv i den norra regionen. Denna innefattade Västerbotten, Jämtland och Västernorrland samt mindre delar av Dalarna och Gävleborg. I den nordliga mellanregionen var sjökalkning också minst effektiv, men skillnaden var mindre än längst i norr. I de två sydliga regionerna uppvisade kalkning på sjöar och våtmarker likvärdig effekt. I de två nordliga regionerna var

kalkning med doserare minst lika effektiv som våtmarkskalkning. Problemen med sjökalkning i norra Sverige avspeglades också i avsaknaden av samband mellan alkalinitetstillskott och kalkdos (figur 56).

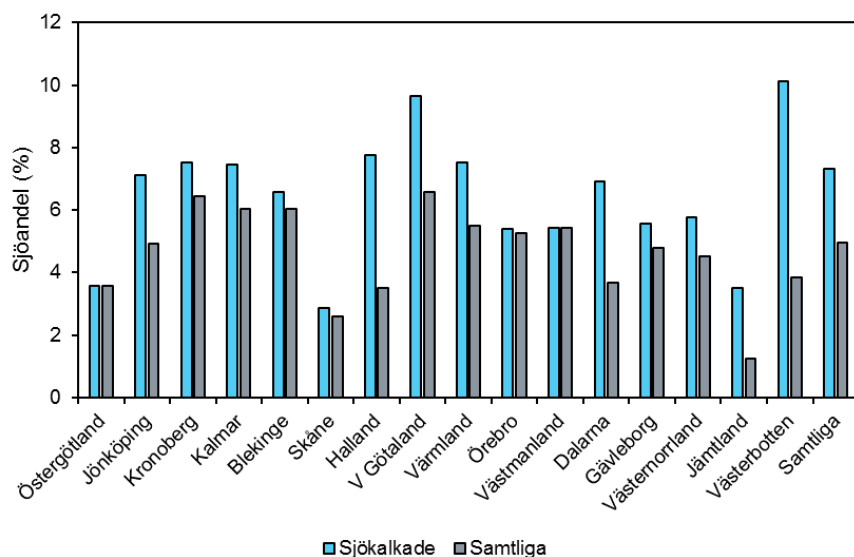


Figur 55. Genomsnittlig kalkeffekt vid lägsta pH fördelat efter region, metod och använd kalkdos. Data från MVU. Den regionala indelningen redovisas i figur 52.



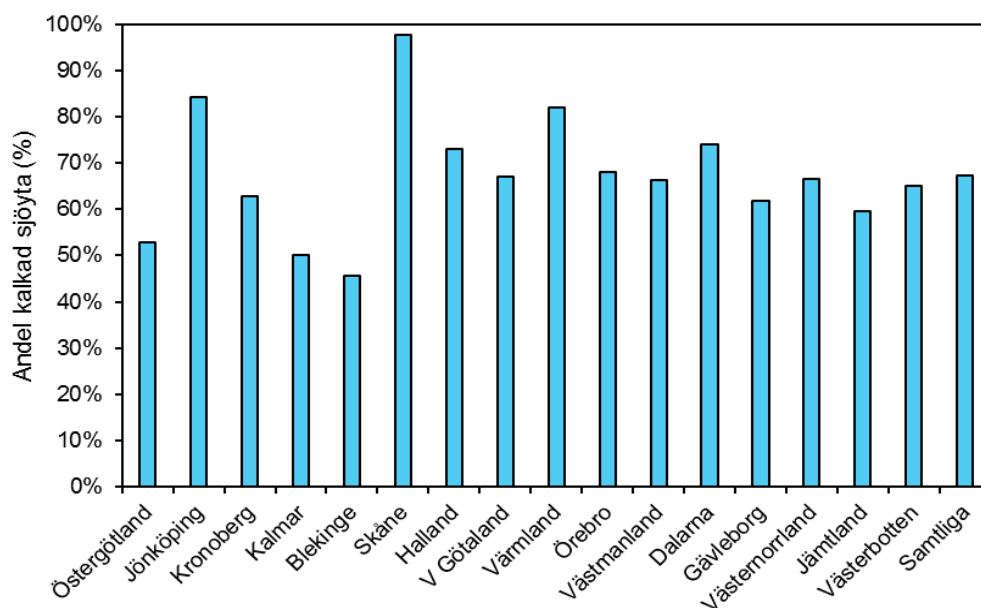
Figur 56. Tillskott av alkalinitet vid lägsta pH i förhållande till använd kalkdos vid sjökalkning i den norra regionen. Som jämförelse visas motsvarande för den sydliga mellanregionen. Data från MVU. Norr: $R^2=0,03$, $n=136$, mellansyd: $R^2=0,47$, $n=125$.

Sjökalkning kan naturligtvis enbart tillämpas i vattensystem där det finns sjöar. Sjöarnas antal, storlek och omsättningstider sätter begränsningar för den kalkmängd som kan tillföras utan att kalkeffekten blir orimligt låg. Andelen sjö i avrinningsområdet uppgick i genomsnitt till 5,0 % för samtliga målpunkter, medan samma notering för de sjökalkade var 7,3 % (figur 57). Generellt nyttjas alltså sjökalkning i vattensystem med högre sjöandel, medan våtmarkskalkning eller doserare används i system med lägre sjöandel. Särskilt uttalat är detta i Västerbotten, Dalarna, Västra Götaland och Halland, medan i flera län ingen nämnvärd skillnad tycks föreligga.



Figur 57. Andelen sjö (sjöprocent) som medelvärde för samtliga målpunkter samt för dem som kalkades via sjöar.

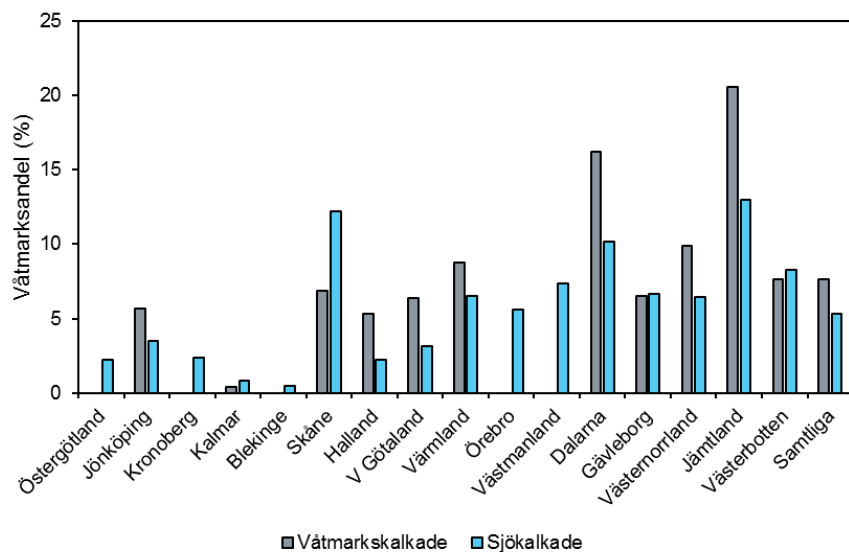
I sjökalkade målpunkter uppgick andelen kalkad sjöyta i medeltal till 67 % av den totala sjöytan (figur 58). Skåne, med bara en sjökalkad målpunkt, hade en notering på 100 %. I Jönköping och Värmland kalkades också en hög andel av den totala sjöytan – 84 % respektive 82 %. Blekinge, Kalmar och Östergötland nyttjade en förhållandevis liten andel, vilket antyder att vid behov fler sjöar skulle kunna kalkas.



Figur 58. Andel kalkad sjöyta av den totala sjöytan. Avser medelvärde för målpunkter som kalkades via uppströms belägna sjöar.

I våtmarkskalkade målpunkter uppgick andelen öppen våtmark i genomsnitt till 7,6% av avrinningsområdet (figur 59). Motsvarande notering vid sjökalkning var 5,3%. I Kalmar och Blekinge var våtmarksandelen låg i sjökalkade målpunkter, vilket även gällde i Östergötland, Kronoberg och Halland. I Örebro, Västmanland, Gävleborg och Västernorrland dominerade sjökalkning trots att våtmarksandelen var förhållandevis hög. Även om inte alla våtmarker är

lämpliga för kalkning borde därmed förutsättningarna för att komplettera med spridning på våtmarker vara goda, men det kan också föreligga andra begränsningar i form av naturvårdshänsyn och markägartillstånd.



Figur 59. Genomsnittlig andel öppen våtmark i avrinningsområden för mätpunkter kalkade via våtmarker respektive sjöar.



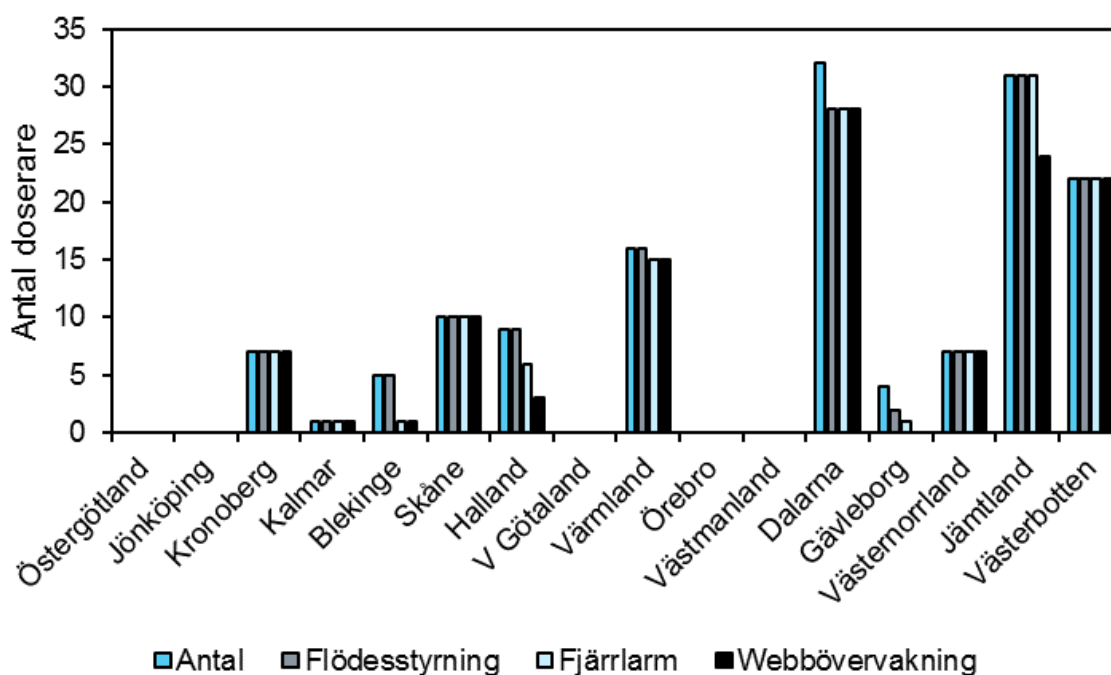
Kalkdoseraren rymmer vanligen 60–100 ton kalk och fylls via lastbil med trycktank. Den utdoserade kalkmängden anpassas automatiskt till flödet via kontinuerlig registrering av vattennivå.

Foto: Johan Ahlström.

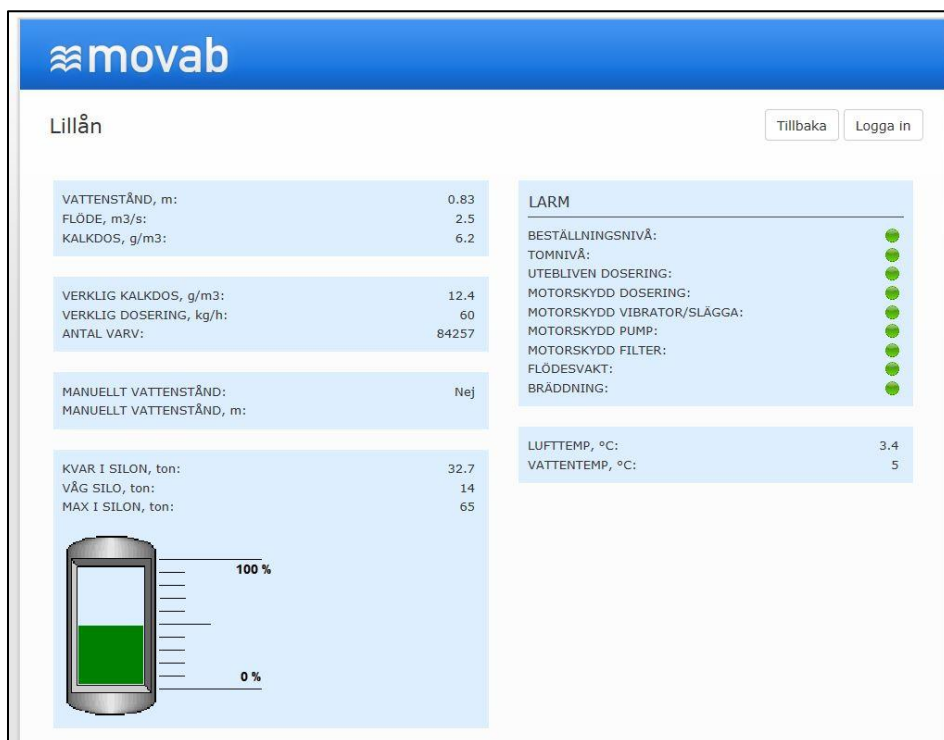
En effektiv kalkning med doserare förutsätter en ändamålsenlig teknisk funktion. I denna ingår kontinuerlig registrering av vattennivån som via en förprogrammerad avbördningskurva omräknas till flöde. I doserarens styrenhet anges aktuell kalkdos vid olika flöden och den lågvattennivå vid

vilken doseraren ska starta och stanna. Enligt länsstyrelsernas redovisning 2017 fanns elektronisk flödesstyrning på 138 av 144 doserare som kalkar målområden i vattendrag (figur 60). De som saknade flödesstyrning återfanns i Dalarna (4) och i Gävleborg (2). Fjärrlarm utgör en förutsättning för effektiv felavhjälpning. Förutom att larma vid driftstopp kan larmet påkalla uppmärksamhet vid exempelvis höga flöden, låg kalknivå i silon eller låg batterispänning. Fjärrlarm fanns 2017 installerat på 129 doserare. I Blekinge och Dalarna saknade 4 doserare fjärrlarm, i Halland och Gävleborg 3 och i Värmland 1.

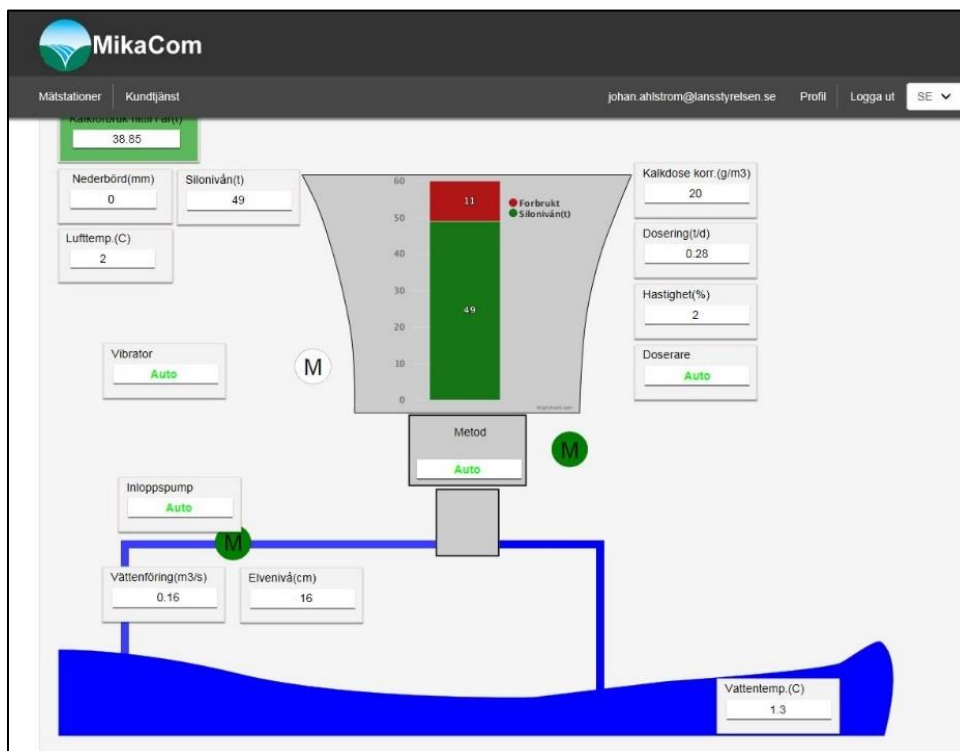
De senaste årens utveckling innebär att doserarna styrs och övervakas via webbaserade system. I huvudsak nyttjas två system, Movab-Magna (figur 61) och Miljøkalk-Mikacom (figur 62). År 2017 var 74 doserare anslutna till Movab-Magna och 44 till Mikacom. Det innebär att 82 % av doserarna med målområden i vattendrag styrdes via internet. De som saknade webbövervakning fanns främst i Blekinge, Halland, Gävleborg och Jämtland.



Figur 60. Antal doserare som kalkar målområden i vattendrag samt förekomst av elektronisk flödesstyrning, fjärrlarm respektive webbövervakning. Underlag från länsstyrelsernas redovisning av nyckeltal för 2017.



Figur 61. Movab-Magna webbaserat övervakningssystem för kalkdosere.



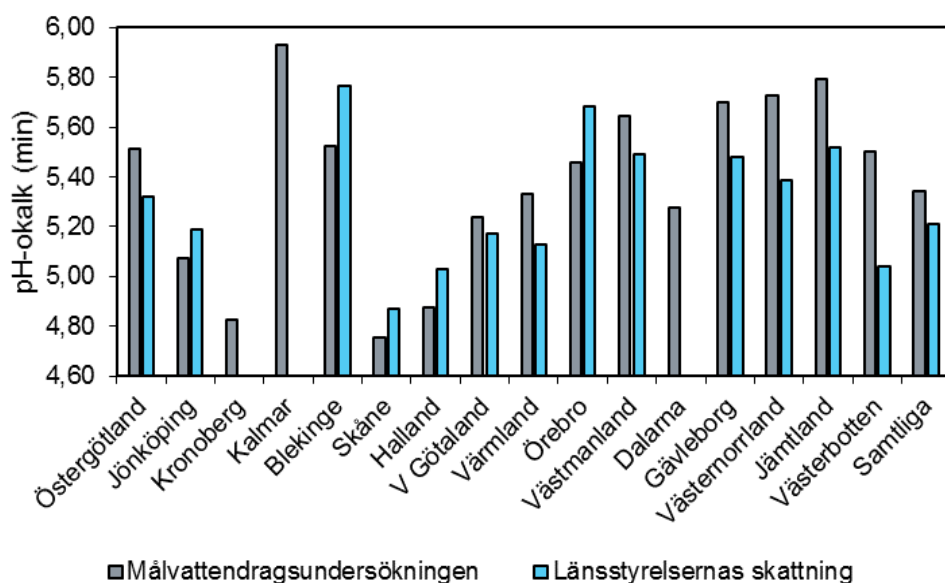
Figur 62. Miljöalk-MikaCom webbaserat övervakningssystem för kalkdosere.

3.10 Måluppfyllelse

Måluppfyllelse innebär att pH inte vid något tillfälle underskrider uppsatt pH-mål, vilket förutsätter att kalkningen förmår höja pH från okalkat tillstånd (pH_{okalk}) till angiven målnivå. Differensen mellan pH_{okalk} och pH-målet avgör hur mycket pH behöver höjas och vilken kalkdos som erfordras. För målpunkterna finns pH_{okalk} beräknat dels utifrån uppmätta kemidata i MVU, dels via länsstyrelsernas enkätuppgifter. Från länsstyrelserna i Kronoberg, Kalmar och Dalarna lämnades ingen skattning av pH_{okalk} . Sammantaget fanns uppgifter från länsstyrelserna avseende pH_{okalk} för 1 087 av 1 356 målpunkter med pågående kalkning.

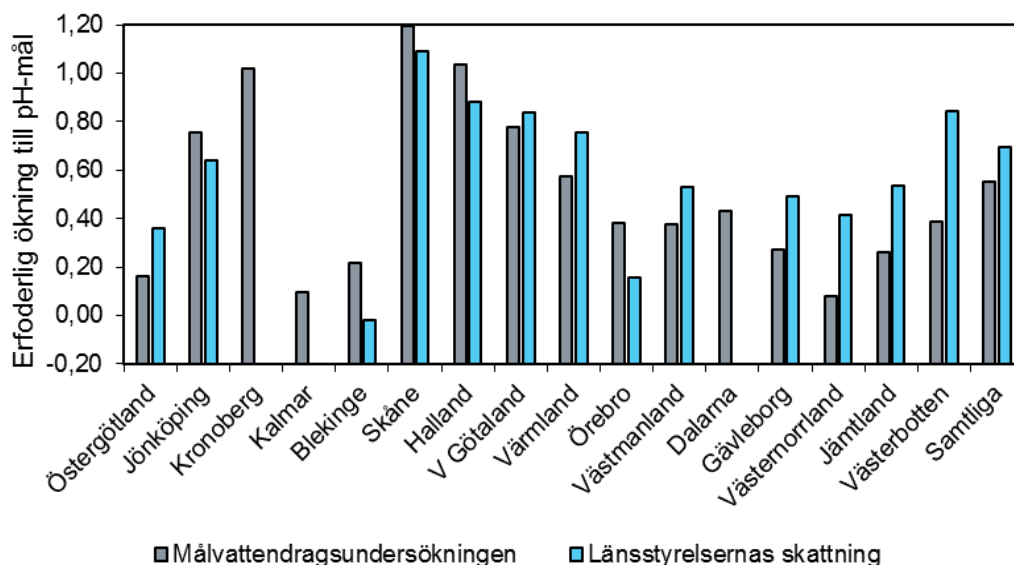
3.10.1 Måluppfyllelse på länsnivå

Baserat på MVU återfanns de i genomsnitt suraste målpunkterna i Skåne, Kronoberg och Halland (figur 63). De minst sura fanns i Kalmar, Jämtland och Västernorrland. Enligt länsstyrelsernas skattningar fanns målpunkterna med lägsta pH_{okalk} i Skåne, Halland och Västerbotten och de med högsta i Blekinge, Örebro och Jämtland. I genomsnitt gav beräkningarna baserade på MVU högre värden än länsstyrelsernas skattningar: 5,35 respektive 5,21. I Jönköping, Blekinge, Skåne, Halland och Örebro var förhållandet det omvända. Störst skillnad mellan de bägge skattningarna fanns i Västerbotten, Västernorrland och Jämtland.



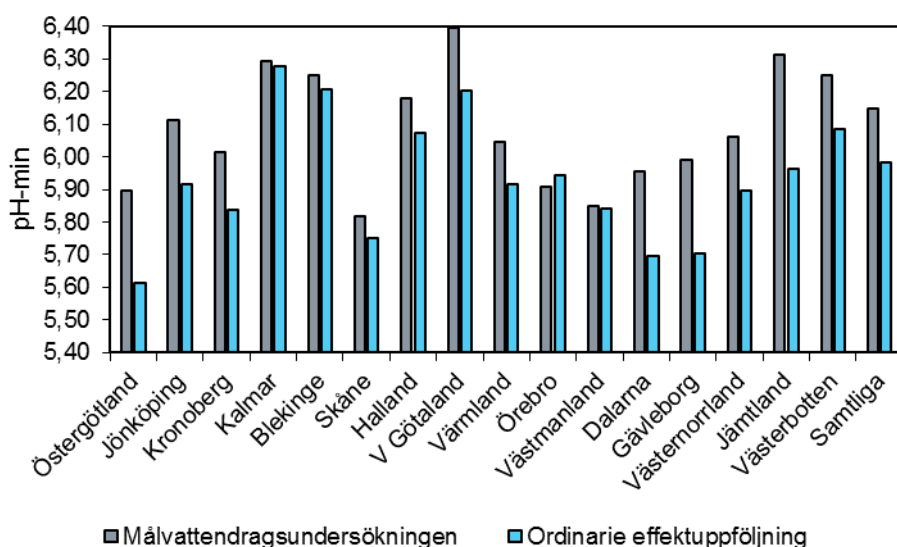
Figur 63. Medelvärden för lägsta pH_{okalk} baserade på MVU respektive länsstyrelsens skattningar. Uppgifter om pH_{okalk} saknades från länsstyrelserna i Kronoberg, Kalmar och Dalarna.

I genomsnitt uppgick erforderlig pH-höjning till 0,55 pH-enheter enligt MVU och 0,69 pH-enheter enligt länsstyrelsernas underlag (figur 64). Den i genomsnitt största höjningen av pH erfordrades enligt MVU i Skåne, Halland och Kronoberg och enligt länsstyrelserna i Skåne, Halland och Västerbotten. Den minsta höjningen behövdes i Västernorrland, Kalmar och Blekinge enligt MVU och i Blekinge, Örebro och Östergötland enligt länsstyrelserna. Länsstyrelsen i Blekinge rapporterade skattade värden på pH_{okalk} som i genomsnitt var högre än pH-målen, vilket innebär att det i genomsnitt inte behövdes en ökning av pH för att uppnå måluppfyllelse.



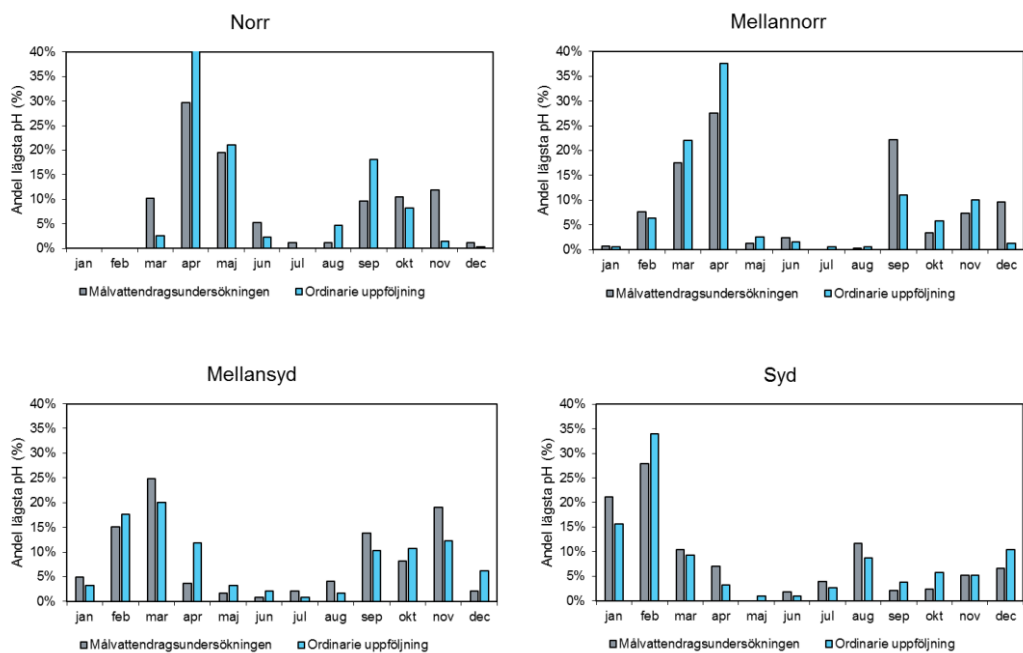
Figur 64. Genomsnittlig erforderlig höjning av pH för att nå pH-målen enligt beräkningar baserade på MVU respektive länsstyrelsernas skattningar. Skattningar av pHokalk saknades från Kronoberg, Kalmar och Dalarna varför erforderlig pH-höjning inte kunde

I genomsnitt uppgick lägsta uppmätta pH till 6,15 i MVU och till 5,98 i KEU (figur 65). Samtliga län utom Örebro redovisade lägre medelvärden i KEU. I Västmanland, Kalmar och Blekinge var skillnaderna små. Störst var differensen i Jämtland, Gävleborg och Östergötland.



Figur 65. Medelvärden för lägsta uppmätta pH från MVU respektive KEU. KEU avser lägsta pH under hela undersökningsperioden (2010–2016).

Indelningen i fyra regioner från norr till söder visade att lägsta pH i norr vanligen noterades under perioden mars till maj, medan januari till mars var mest kritisk i södra Sverige (figur 66). Ett par episoder i september avvek från det generella mönstret i de två nordliga regionerna. En inföll 2013 i Västernorrland (region norr) och en i Värmland 2011 (region mellannorr). I viss utsträckning är överrepresentationen i mars, juni och november en följd av de fasta provtillfällena i MVU. Region mellansyd uppvisade den största spridningen över året med förhållandevis många lägstanoteringar även under september, oktober och november.

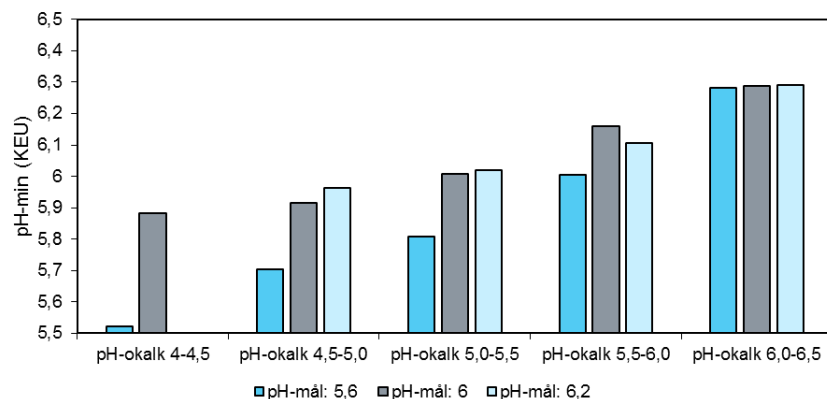


Figur 66. Månad när lägsta uppmätta pH noterades inom MVU respektive KEU. Den regionala indelningen redovisas i figur 52.



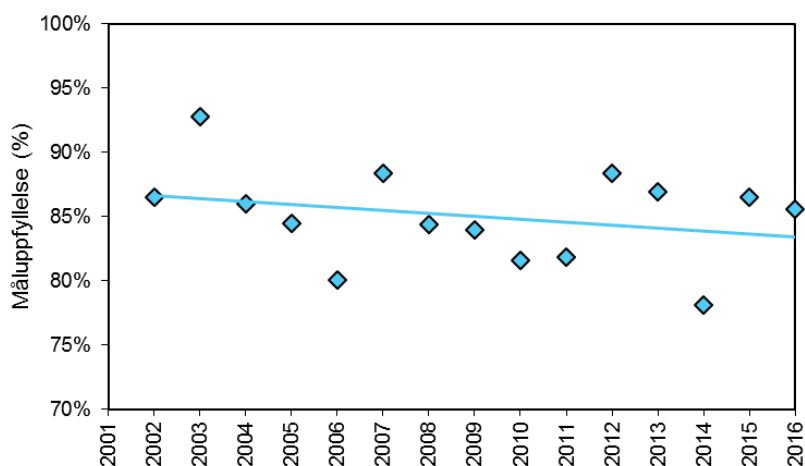
Måluppfyllelsen sjunker i regel i samband med höga flöden. Inte minst gäller det vid kalkning med doserare där såväl utrustning som personal kan ställas inför betydande utmaningar. Foto: Christina Myrestam.

Lägsta uppmätta pH inom KEU uppvisade som medelvärde ingen skillnad mellan målpunkter med pH-mål 6,0 och 6,2. Däremot var pH lägre i målpunkter med pH-mål 5,6 (figur 67).



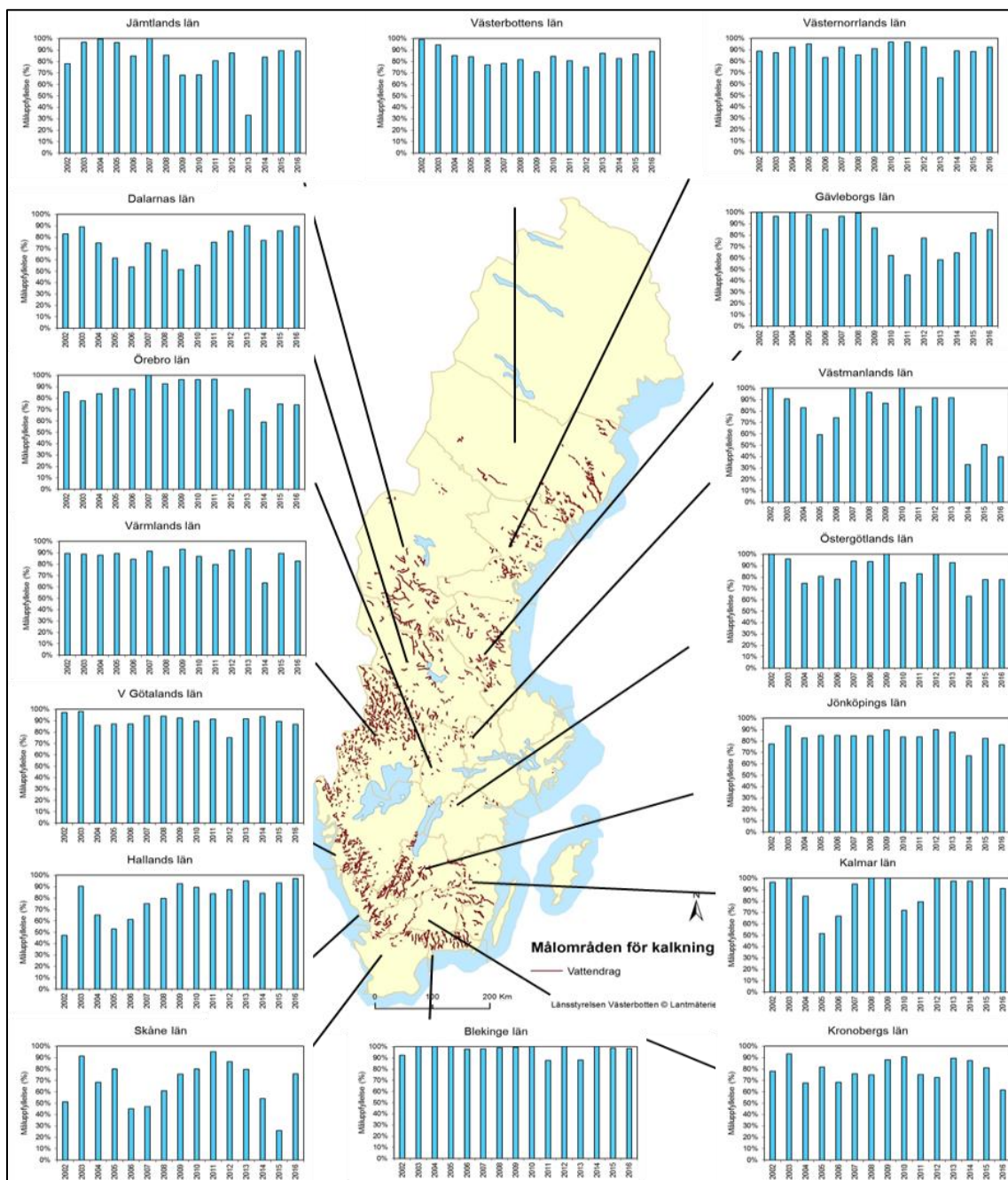
Figur 67. Medelvärde av lägsta uppmätta pH inom KEU i förhållande till pH-mål och lägsta okalkat pH. Vid pHokalk 4–4,5 återfanns bara 3 målpunkter med pH-mål 6,2, varför inget medelvärde redovisas.

Sedan 2002 rapporterar länsstyrelserna årligen måluppfyllelse i form av nyckeltal. Måluppfyllelsen baseras på längden av kalkade målområden och är inte direkt jämförbar med den som baseras på antal målpunkter. Sett till utvecklingen för hela landet är trenden svagt negativ, där 2014 framträder med särskilt svagt utfall (figur 68). Av de övriga undersökningsåren var även 2010 och 2011 svaga, medan måluppfyllelsen för 2012, 2013, 2015 och 2016 var förhållandevis hög.



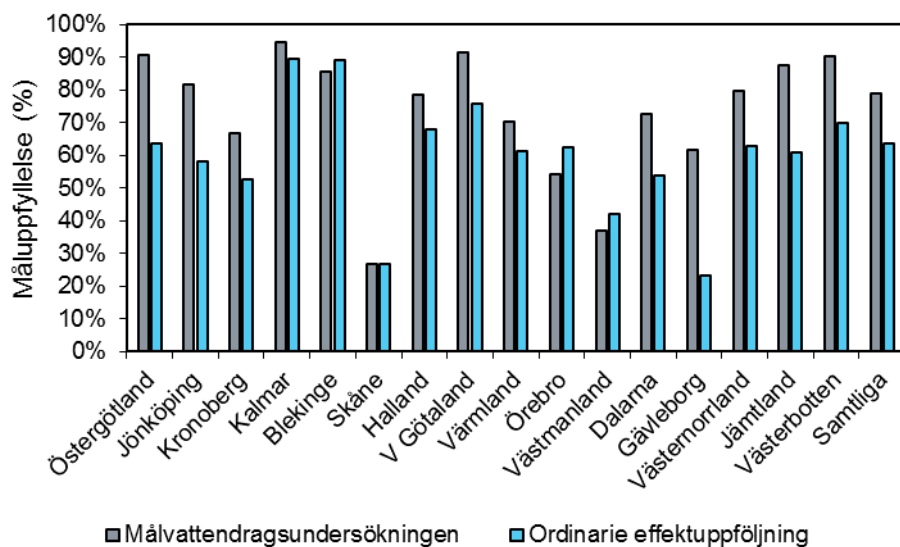
Figur 68. Vattenkemisk måluppfyllelse 2002–2016 baserat på kalkad vattendraglängd. $R^2=0,08$, $n=15$. Data från länsstyrelsernas redovisning av nyckeltal.

Nyckeltalen för de enskilda länen visade att det svaga utfallet för 2014 främst berodde på svag måluppfyllelse i Jönköping, Värmland och Örebro (figur 69). År 2010 var det Dalarna och Gävleborg och i viss mån Kalmar som drog ned siffrorna. Gävleborg hade också ett svagt år 2011, liksom Kronoberg, Kalmar och Värmland.

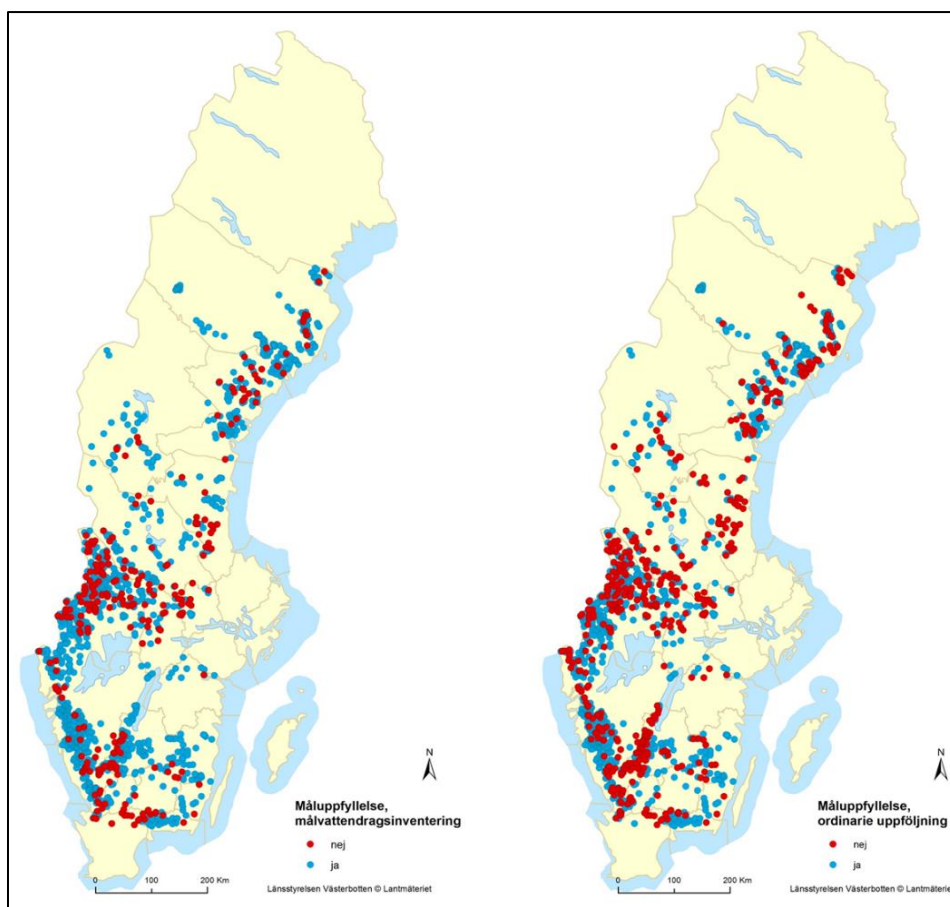


Figur 69. Vattenkemisk måluppfyllelse i kalkade vattendrag 2002–2016 enligt länsstyrelsernas årliga rapportering av nyckeltal. Måluppfyllelsen baseras på längd av målområden.

Baserad på MVU uppgick måluppfyllelsen till 79 % och enligt KEU till 64 % (figur 70 & 71). MVU baserades på lägsta pH under en 12-månadersperiod medan KEU avsåg hela undersökningsperioden (november 2010 till juni 2016). Det är således förväntat att KEU gav lägre måluppfyllelse. Den högsta måluppfyllelsen enligt MVU uppnåddes i Kalmar, Västra Götaland, Östergötland och Västerbotten och den lägsta i Skåne, Västmanland och Örebro. Enligt KEU var måluppfyllelsen högst i Kalmar, Blekinge och Västra Götaland och lägst i Gävleborg, Skåne och Västmanland.

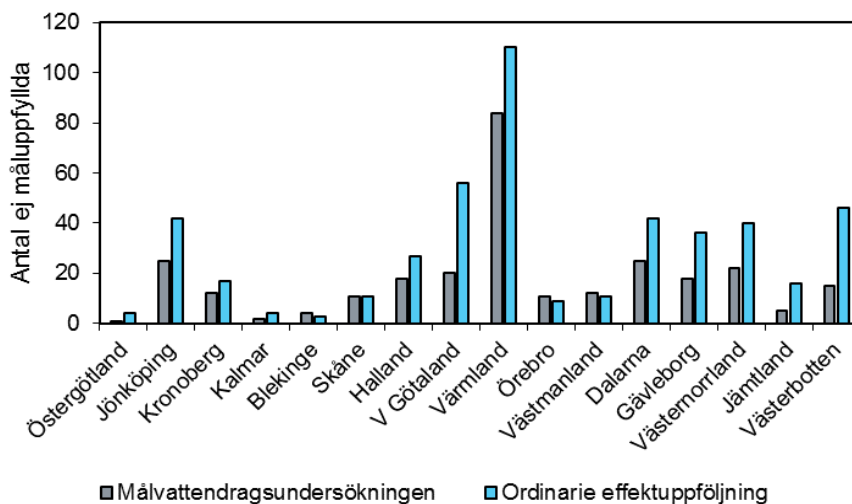


Figur 70. Andel mätpunkter med uppfyllt vattenkemiskt mål inom MVU respektive KEU. KEU avser måluppfyllelse för hela undersökningsperioden (2010–2016).



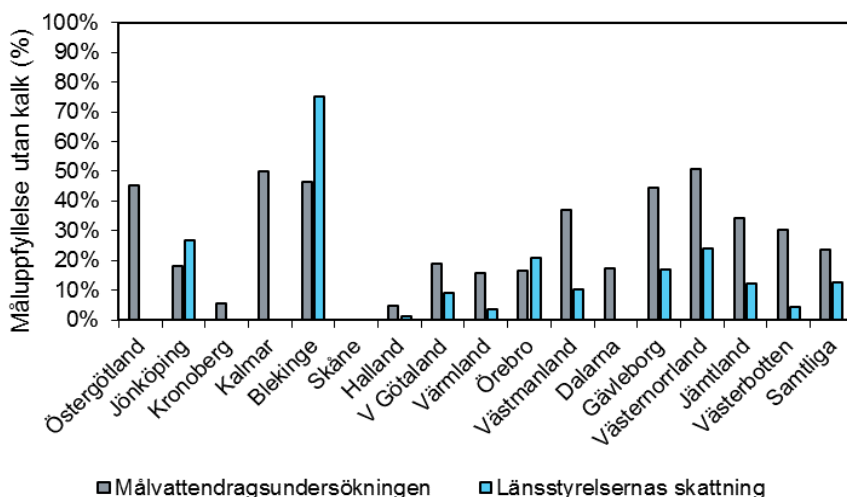
Figur 71. Måluppfyllelse baserat på MVU (vänster karta) respektive KEU (höger karta). KEU avser måluppfyllelse för hela undersökningsperioden (2010–2016).

Totalt underskreds målet vid 285 målpunkter enligt MVU och vid 474 i KEU. Enligt utfallet av MVU fanns 30 % av de underskridna målpunkterna (88 målpunkter) i Värmland, medan motsvarande notering för KEU var 23 % (110 målpunkter) (figur 72). Jönköping och Dalarna med vardera 25 målpunkter låg närmast efter Värmland enligt MVU. Enligt KEU var det Västra Götaland (56 målpunkter) och Västerbotten (46 målpunkter) som, efter Värmland, hade flest målpunkter med underskridet mål.



Figur 72. Antal målpunkter med ej uppfyllt vattenkemiskt mål enligt MVU respektive KEU.

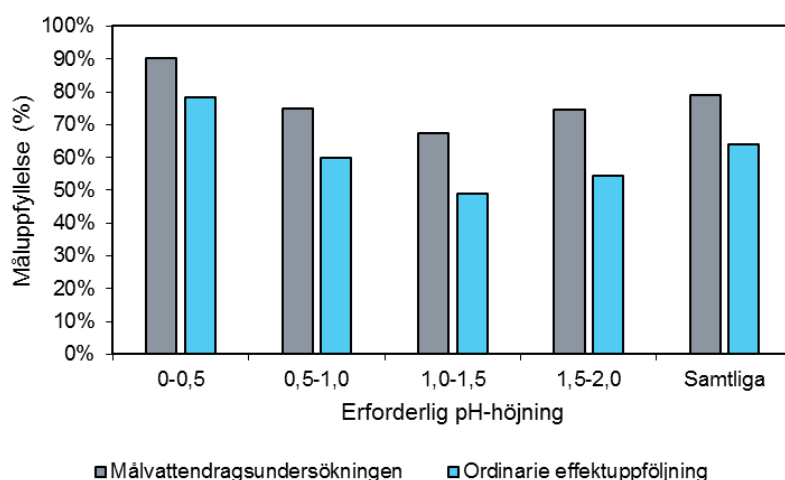
Utan kalkning skulle måluppfyllelsen uppgå till 24 % enligt MVU och till 13 % enligt länsstyrelsernas skattning av lägsta pH_{okalk} (figur 73). I Blekinge angav länsstyrelsen att lägsta pH_{okalk} översteg pH-målet för 75 % av målpunkterna. Enligt MVU var motsvarande notering 46 %. Även i Östergötland, Kalmar, Gävleborg och Västernorrland skulle ungefär hälften av målpunkterna saknat kalkbehov enligt beräkningar baserade på MVU.



Figur 73. Andel målpunkter med uppfyllt vattenkemiskt mål utan kalkning enligt beräkningar baserade på MVU respektive på uppgifter från länsstyrelserna. Uppgifter om pH_{okalk} saknades från länsstyrelserna i Kronoberg, Kalmar och Dalarna varför måluppfyllelse utan kalkning inte kunde beräknas för dessa.

Den högsta måluppfyllelsen noterades för målpunkter med den lägsta erforderliga höjningen av pH (figur 74). Vid en erforderlig pH-höjning på mindre än 0,5 pH-enheter uppgick måluppfyllelsen

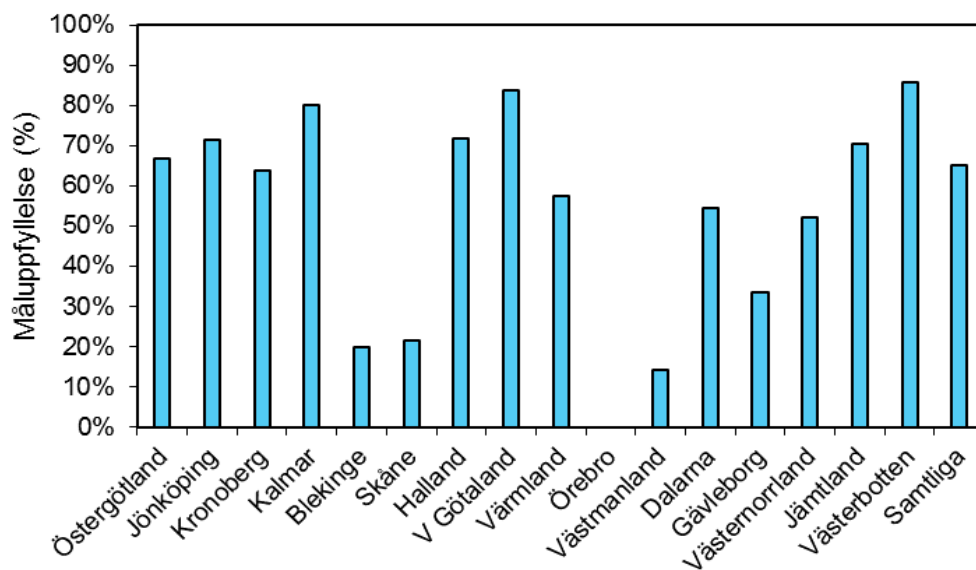
till 90 % enligt MVU och till 78 % enligt KEU. Vid en erforderlig pH-höjning på 1–1,5 pH-enheter var motsvarande siffror 67 % respektive 49 %. Vid en ytterligare ökning till 1,5–2,0 pH-enheter förbättrades måluppfyllelsen något.



Figur 74. Måluppfyllelse i förhållande till erforderlig höjning av pH för att nå pH-målet. Måluppfyllelsen baserad på uppmätta pH-värden inom MVU respektive KEU. Erforderlig pH-höjning baserad på länsstyrelsernas uppgifter där sådana angivits, annars MVU.

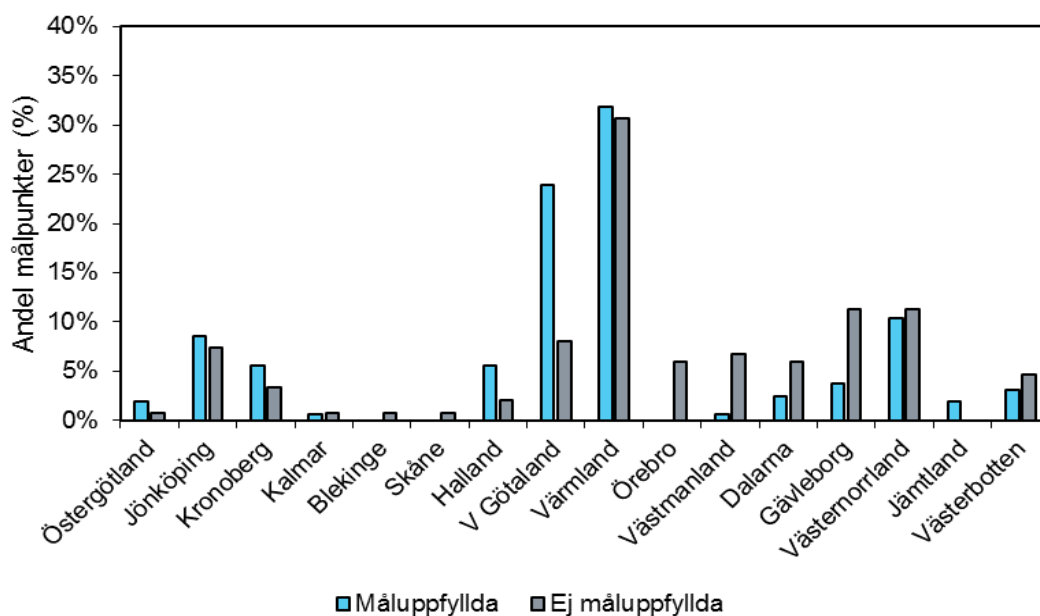
För att erhålla en rättvis jämförelse mellan länen behöver hänsyn tas till skillnaderna i erforderlig pH-höjning, men även till flödet vid provtagningen. Jämförelsen mellan länen baserades på MVU eftersom denna hade en gemensam provtagningsintensitet för samtliga län. För att sälla bort målpunkter med svag provtagning exkluderas sådana som saknade prov med flöden över 30 % av maxflödet för hela undersökningsperioden. Även målpunkter med en erforderlig pH-höjning mindre än 0,3 pH-enheter exkluderas. Därmed bortsorterades målpunkter som klarade pH-målet utan kalkning och sådana där antalet dagar med pH_{okalk} lägre än målet är så litet att det blir alltför slumpartat att pricka dessa tillfällen med bara tre högflödesprover.

Enligt utfallet fanns den högsta måluppfyllelsen i Västerbotten, Västra Götaland och Kalmar, medan Örebro, Västmanland, Blekinge och Skåne uppvisade den lägsta (figur 75). I Västerbotten var det framför allt våtmarkskalkningen som bidrog till hög måluppfyllelse (figur 76–79). I Västra Götaland uppvisade både sjö- och våtmarkskalkning höga noteringar. I Skåne var doserarkalkningen orsaken till de låga noteringarna, medan sjökalkning förklarade merparten av den låga måluppfyllelsen i Örebro och Västmanland. Dessa metoder är också helt dominerande i respektive län. Halland noterade hög måluppfyllelse vid kalkning med doserare, men låg för våtmarkskalkning. Värmland hade låga noteringar både vid våtmarks- och doserarkalkning. Det är viktigt att poängtera att analysen enbart syftar till en jämförelse mellan länen. Nivåerna på måluppfyllelsen kan också vara betydligt lägre om även underlag från KEU beaktas. Den ojämna provtagningsintensiteten inom KEU gör emellertid att dessa data inte bör användas för jämförelser mellan länen.

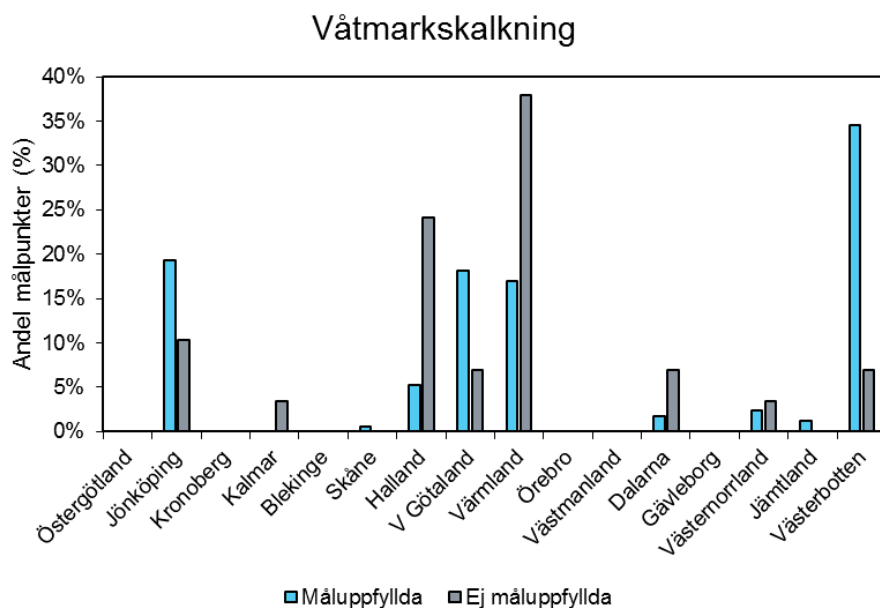


Figur 75. Måluppfyllelse baserad på MVU. Avser enbart målpunkter där erforderlig pH-höjning uppgick till minst 0,3 pH-enheter. Uppfyllt mål förutsatte att minst ett prov insamlats vid minst 30 % av maxflödet för hela undersökningsperioden.

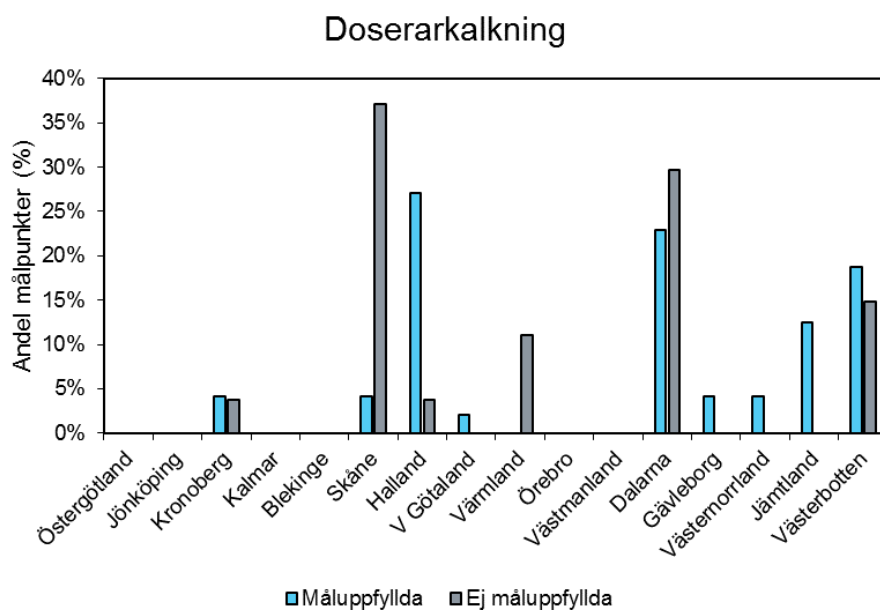
Sjökalkning



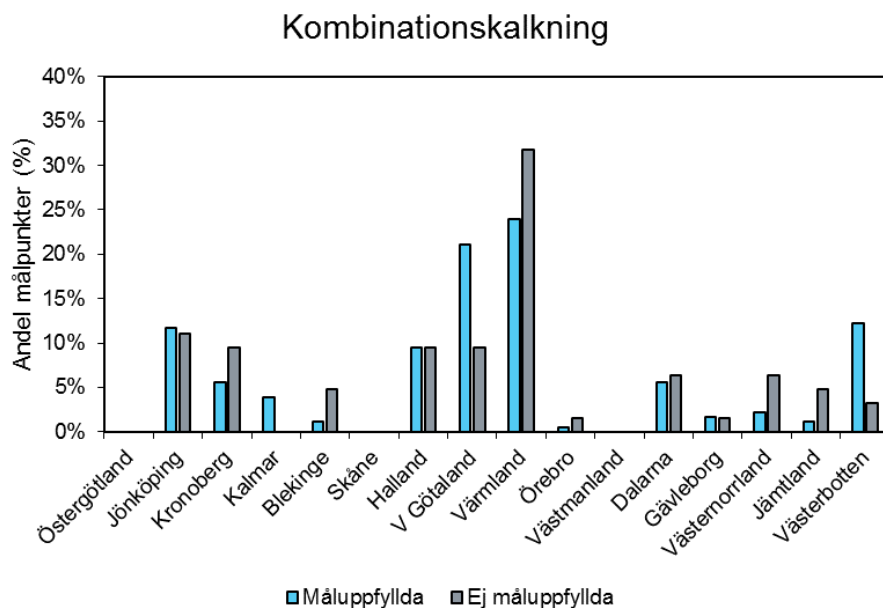
Figur 76. Måluppfyllelse för landets samtliga sjökalkade målpunkter fördelat på län. Baserat på MVU. Avser enbart målpunkter där erforderlig pH-höjning uppgick till minst 0,3 pH-enheter. Uppfyllt mål förutsatte att minst ett prov insamlats vid minst 30 % av maxflödet för hela undersökningsperioden.



Figur 77. Måluppfyllelse för landets samtliga våtmarkskalkade målpunkter fördelat på län. Baserat på MVU. Avser enbart målpunkter där erforderlig pH-höjning uppgick till minst 0,3 pH-enheter. Uppfyllt mål förutsatte att minst ett prov insamlats vid minst 30 % av maxflödet för hela undersökningsperioden.



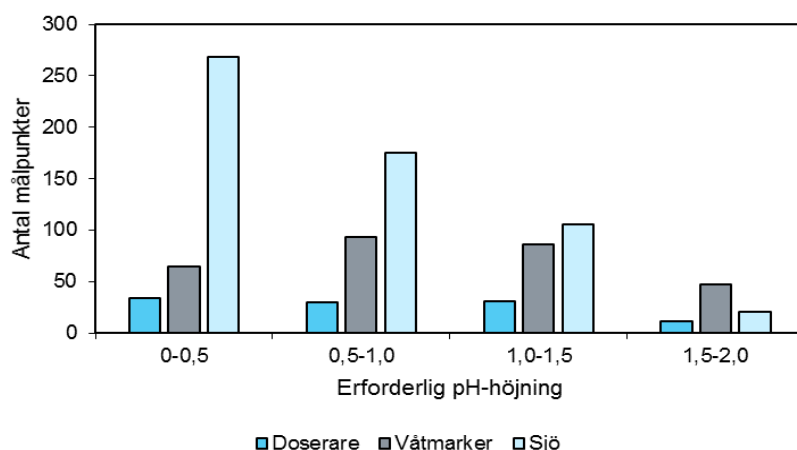
Figur 78. Måluppfyllelse för landets samtliga doseringskalkade målpunkter fördelat på län. Baserat på MVU. Avser enbart målpunkter där erforderlig pH-höjning uppgick till minst 0,3 pH-enheter. Uppfyllt mål förutsatte att minst ett prov insamlats vid minst 30 % av maxflödet för hela undersökningsperioden.



Figur 79. Måluppfyllelse för landets samtliga kombinationskalkade målpunkter fördelat på län. Baserat på MVU. Avser enbart målpunkter där erforderlig pH-höjning uppgick till minst 0,3 pH-enheter. Uppfyllt mål förutsatte att minst ett prov insamlats vid minst 30 % av maxflödet för hela undersökningsperioden.

3.10.2 Måluppfyllelse beroende på kalkmetod

För att erhålla en rättvis jämförelse mellan kalkningsmetoderna gjordes en klassindelning baserad på erforderlig pH-höjning. Sjøkalkning dominerade i målpunkter där erforderlig pH-höjning var mindre än 0,5 pH-enheter (figur 80). Våtmarkskalkningens andel ökade med stigande behov av pH-höjning och dominerade i gruppen 1,5–2,0 pH-enheter. Bruket av kalkdoserare var inte lika tydligt länkat till behovet av pH-höjning.

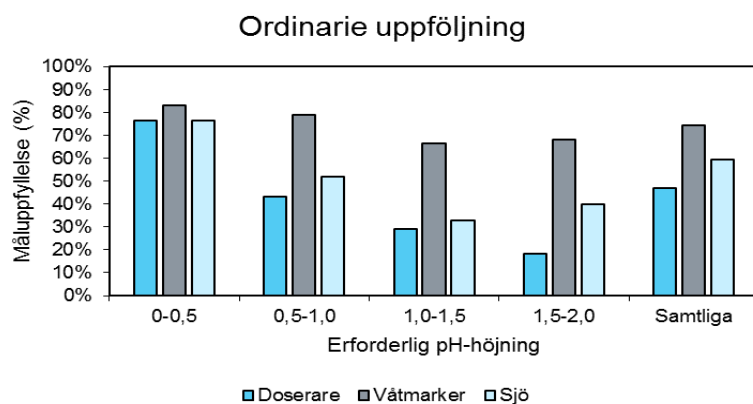
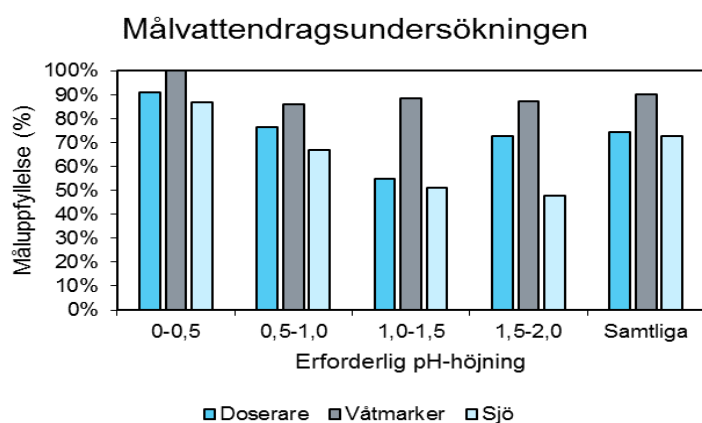


Figur 80. Antal målpunkter som kalkas via sjöar, våtmarker eller doserare. Avser "rena" kalkningar där en metod står för mer än 75 % av den utspridda kalkmängden. Erforderlig pH-höjning enligt länsstyrelsernas uppgifter där sådana angivits, annars MVU.

Våtmarkskalkade målpunkter hade högst måluppfyllelse oavsett behov av pH-höjning (figur 81). I princip ökade skillnaden mellan våtmarkskalkning och övriga metoder med stigande behov av pH-höjning. Måluppfyllelsen var genomgående lägre i KEU än i MVU med den största skillnaden för doserarkalkade målpunkter.



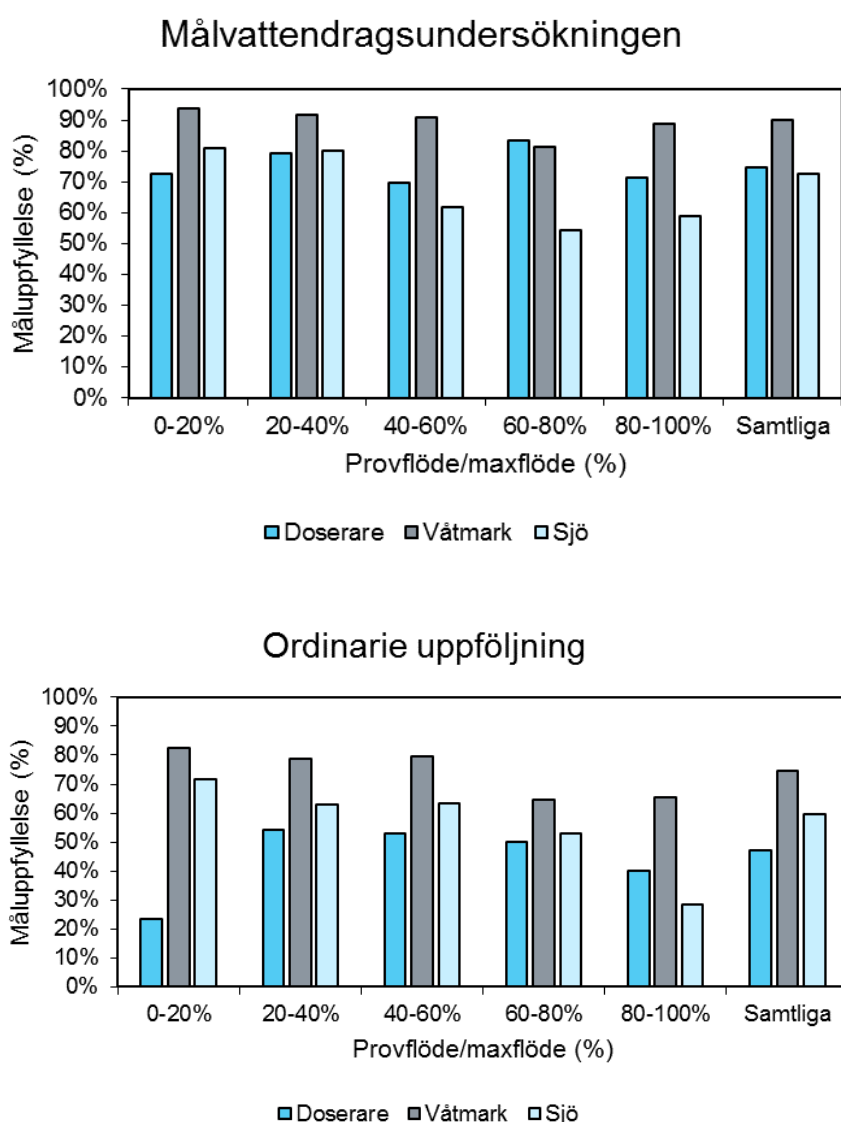
Ur vattenkemisk synvinkel är våtmarkskalkning den mest effektiva metoden. Spridningen sker uteslutande med helikopter.
Foto: Johan Ahlström.



Figur 81. Måluppfyllelse enligt MVU respektive KEU fördelat på kalkningsmetod och erforderlig pH-höjning för att nå pH-målet. Erforderlig pH-höjning enligt länsstyrelsernas uppgifter där sådana angivits, annars MVU.

Baserat på MVU hade våtmarkskalkade vattendrag den högsta måluppfyllelsen oavsett vid vilket flöde som lägsta pH noterades (figur 82). Undantaget var vid flöden på 60–80 % av maxflödet där målpunkter kalkade via doserare hade något högre måluppfyllelse. Vid alla flödesintervall över 40 % av maxflödet noterades den lägsta måluppfyllelsen i sjökalkade vattendrag. I sjö- eller våtmarkskalkade vattendrag försämrades måluppfyllelsen med ökande provflöden. Vid kalkning med doserare fanns inget sådant samband.

KEU gav ett liknande intryck, men nivån på måluppfyllelsen var genomgående lägre. Mest anmärkningsvärt var att 17 av 106 målpunkter som kalkas via doserare hade lägsta uppmätta pH i flödesintervallet 0–20 % och att målet bara uppfylldes i 4 av dessa.

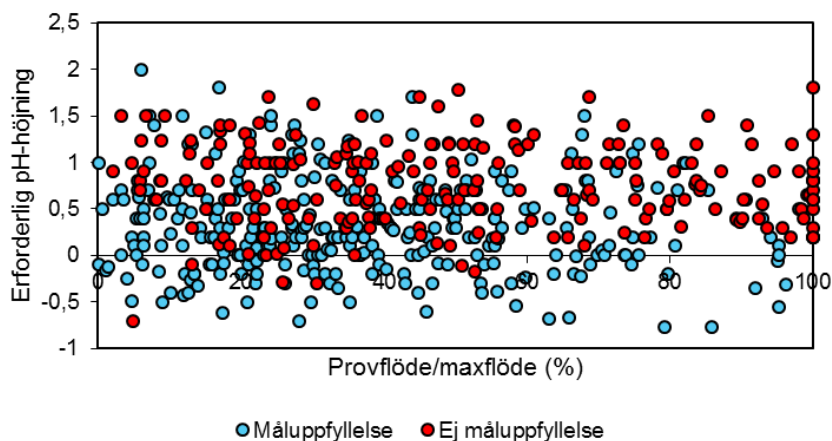


Figur 82. Måluppfyllelse enligt MVU respektive KEU i förhållande till provflödet vid lägsta uppmätta pH.

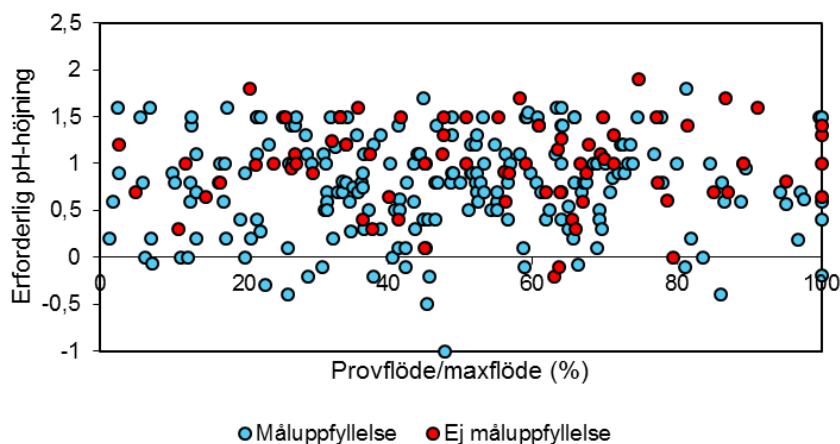
En sammanvägning av erforderlig pH-höjning och provflödet vid lägsta pH visade att många sjökalkade målpunkter med uppfyllt mål saknade kalkbehov, dvs. pH_{okalk} var högre än pH-målet (figur 83). I målpunkter där det fanns ett kalkbehov var det främst de med lägsta pH uppmätt i flödesintervallet 0–20 % av maxflödet som uppvisade måluppfyllelse. I den mån lägsta pH

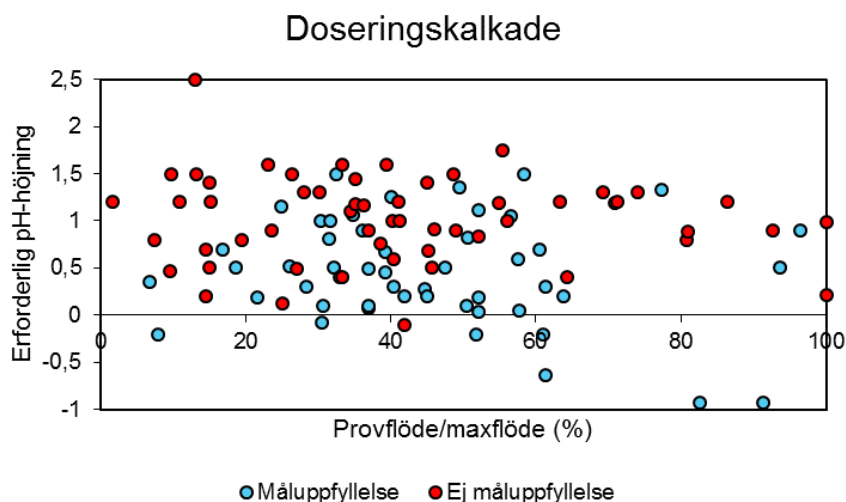
noterades vid flöden över 80 % av maxflödet var det bara ett fåtal målpunkter med erforderlig pH-höjning över 0,5 pH-enheter som uppvisade måluppfyllelse. Vid våtmarkskalkning var måluppfyllelsen hög, oavsett erforderlig pH-höjning, i den mån lägsta pH noterades vid låga flöden. Något tydligt mönster i övrigt förelåg inte. Doseringskalkade målpunkter uppvisade låg måluppfyllelse när lägsta pH noterades vid låga (<20% av maxflödet) eller höga (>60 % av maxflödet) flöden. Däremellan noterades förhållandevis hög måluppfyllnad förutsatt att erforderlig höjning av pH inte överskred 0,6–0,7 pH-enheter.

Sjökalkade



Våtmarkskalkade





Figur 83. Måluppfyllelse i förhållande till provflödet vid lägsta uppmätta pH och erforderlig pH-höjning. Avser KEU.

3.10.3 Har måluppfyllelsen försämrats till följd av minskad kalkdos?

Kalkdosen var i genomsnitt $7,6 \text{ g/m}^3$ under de sex år som föregick provtagningen i MVU. Sex år innan dess, dvs. år 7–12 före provtagningen, uppgick den genomsnittliga kalkdosen till $9,7 \text{ g/m}^3$. Våtmarkskalkningen minskade mest, med $1,4 \text{ g/m}^3$, medan minskningen vid sjökalkning var $0,8 \text{ g/m}^3$. Vid doserarkalkning var dosen oförändrad. I målpunkter med uppfyllt vattenkemiskt mål minskade kalkdosen från $10,4$ till $7,6 \text{ g/m}^3$. I målpunkter med ej uppfyllt mål minskade dosen från $7,9$ till $7,0 \text{ g/m}^3$. I 652 av 836 (78 %) målpunkter med uppfyllt mål hade kalkdosen minskat, medan motsvarande för ej uppfyllt mål var 277 av 474 (58 %). Detta tar emellertid ingen hänsyn till om kalkdosen endast förändrats marginellt. Sätts en gräns på 2 g/m^3 hade kalkdosen minskat i 420 (50 %) målpunkter med uppfyllt mål och i 133 (28 %) med ej uppfyllt mål. Samtidigt hade kalkdosen höjts med mer än 2 g/m^3 i 33 målpunkter med måluppfyllelse och i 58 med ej uppfyllt mål.

Förutsatt att kalkeffekten inte förändrats betydde förändringen av kalkdos att alkaliniteten vid lägsta pH minskat med i genomsnitt $0,051 \text{ mekv/l}$ i målpunkter med uppfyllt mål och med $0,013 \text{ mekv/l}$ i målpunkter med ej uppfyllt mål. Relationen mellan storleken på underskridandet av pH-målet och förväntat bortfall av alkalinitet till följd av minskad kalkdos antyder att 70 av 474 målpunkter (15 %) med ej uppfyllt mål sannolikt skulle ha klarat pH-målet om kalkdosen inte reducerats.

Störst försämring av måluppfyllelsen till följd av minskad kalkdos noterades för Västerbotten, Värmland, Halland och Jämtland (tabell 5). Exempelvis skulle 50 % av målpunkterna med underskridet mål i Jämtland sannolikt uppnått målet om kalkdosen inte minskats. För Västerbotten, Halland och Blekinge uppgick motsvarande notering till 30 %. Det bör påpekas att utfallet för doseringskalkade målpunkter bör betraktas med försiktighet. Vid doseringskalkning är det framför allt den momentana kalkdosen som avgör måluppfyllelse. Huruvida den genomsnittliga kalkdosen över sex år förändrats har i sammanhanget en underordnad betydelse.

Tabell 5. Antal målpunkter där underskridandet av pH-målet sannolikt undvikits om kalkdosen inte minskat mellan perioden 7–12 år före provtagning och perioden 1–6 år före provtagning.

	Totalt antal	Sjökalkade	Våtmarkskalkade	Doserare	Kombination
Östergötland	0	0	0	0	0
Jönköping	7	2	4	0	1
Kronoberg	2	0	0	1	1
Kalmar	1	0	0	1	0
Blekinge	1	0	0	0	1
Skåne	3	0	0	3	0
Halland	8	0	7	0	1
V Götaland	7	3	2	0	2
Värmland	12	5	4	0	3
Örebro	0	0	0	0	0
Västmanland	0	0	0	0	0
Dalarna	0	0	0	0	0
Gävleborg	4	4	0	0	0
Västernorrland	3	3	0	0	0
Jämtland	8	1	3	2	2
Västerbotten	14	2	5	1	6
Samtliga	70	20	25	8	17

Eftersom det finns en betydande eftersläpning efter att kalkdosen minskats finns risk att måluppfyllelsen minskar ytterligare under kommande år. Analys av den framtida utvecklingen genomfördes genom att jämföra kalkdosen för perioden 1–6 år före provtagningen med riktvärdena enligt handboken. Utfallet är beroende av vilken nivå på kalkdos som behövs för att uppnå måluppfyllelse när effekten av äldre kalkningar ebbat ut. Behövs 50 % av riktvärdet riskerar ytterligare ungefär 90 målpunkter att missa måluppfyllelsen inom ett antal år. Vid 70 % fördubblas antalet där det finns risk för missad måluppfyllelse till följd av genomförda neddragningar.

3.10.4 Vad är orsaken till låg måluppfyllelse?

pH-värden lägre än pH-målet uppträder om kalkdosen och/eller kalkeffekten är för låg. Låg kalkeffekt indikerar att åtgärdsobjekten ger ett ojämnt tillskott av alkalinitet eller att de överutnyttjas (kalkas med för hög giva). Därför är det inte lämpligt att kompensera för låg kalkeffekt genom att höja kalkdosen i befintliga åtgärdsobjekt.

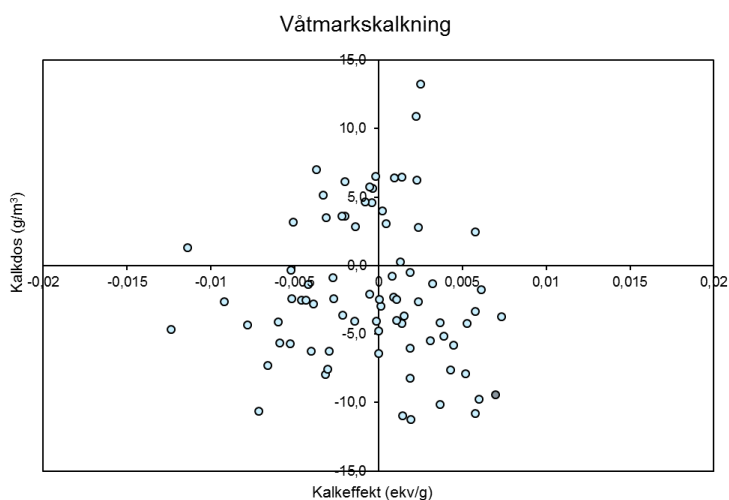
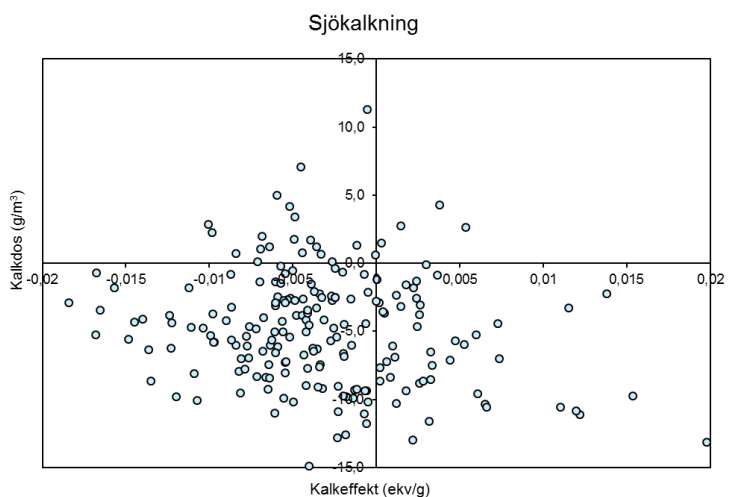
Genom att relatera använd kalkdos till riktvärdena i kalkningshandboken och kalkeffekten till ett medelvärde för samtliga målpunkter var det möjligt att uppdelade målpunkter med underskridet mål enligt fyra kategorier:

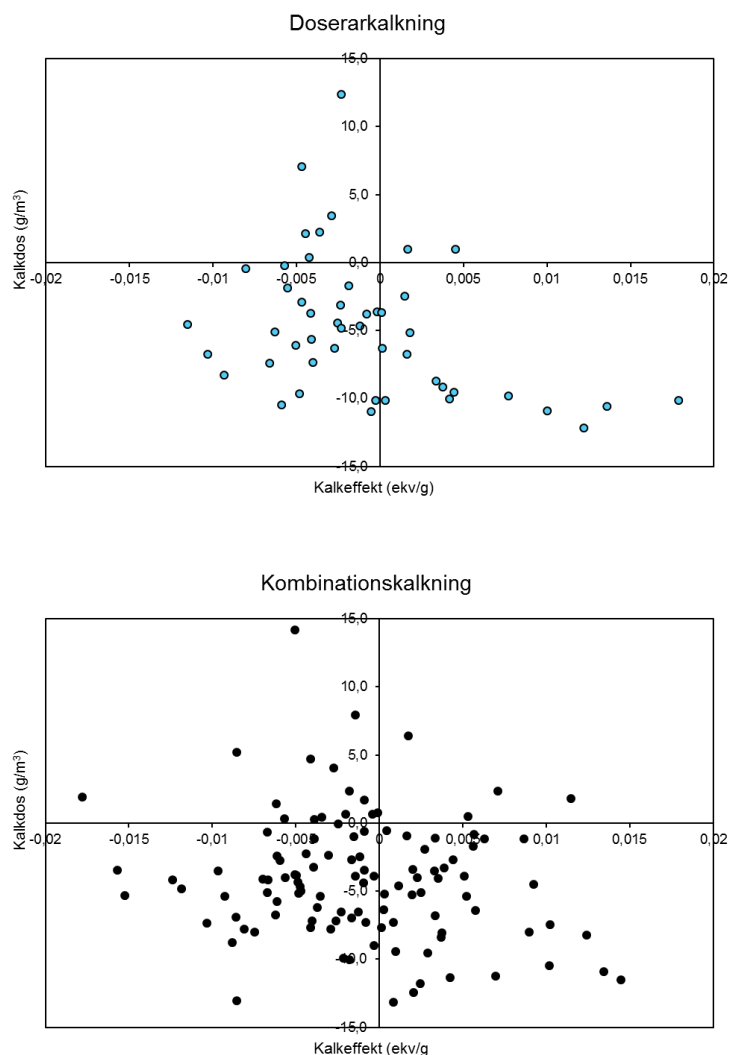
- Låg kalkdos och låg kalkeffekt
- Låg kalkdos och hög kalkeffekt
- Hög kalkdos och låg kalkeffekt
- Hög kalkdos och hög kalkeffekt

Kalkeffekten beräknades vid lägsta pH baserat på data från MVU. Erforderlig kalkdos hämtades från handboken och baserades på angivna pH-mål samt lägsta pHokalk från länsstyrelsernas uppgifter eller från MVU där sådana saknades. Eftersom beräkningen av kalkeffekt blir osäker vid låga kalkdoser uteslöts målpunkter med en kalkdos lägre än 2 g/m³. Måluppfyllelsen baserades på lägsta pH enligt länsstyrelsernas uppgifter och avsåg perioden november 2010 till och med juni 2016.

Drygt hälften (52 %) av målpunkterna med underskridet pH-mål fanns inom kategorin låg kalkdos/låg kalkeffekt (figur 84). Drygt en fjärdedel (27 %) hade låg kalkdos och hög kalkeffekt medan 17 % hade hög kalkdos och låg kalkeffekt. Sammanlagt 17 målpunkter (4 %) missade pH-målet trots hög kalkdos och hög kalkeffekt. Det sistnämnda utfallet är egentligen orimligt men beror på att kalkeffekten baserades på MVU, medan måluppfyllelsen hämtades från KEU. Underskridandet berodde i dessa fall på att kalkeffekten var avsevärt lägre när pH-målet underskreds inom KEU än när lägsta pH noterades i MVU.

Närmare två tredjedelar (61 %) av de sjökalkade målpunkterna återfanns i kategorin låg kalkdos/låg kalkeffekt. Ytterligare 17 % hade låg kalkeffekt, men i dessa var kalkdosen hög i förhållande till riktvärdena. Närmare 80 % av de sjökalkade målpunkterna med underskridet pH-mål uppvisade således låg kalkeffekt, vilket innebär att måluppfyllelse sannolikt bara kan uppnås i ett fåtal av dessa genom att enbart höja kalkdosen. Vid våtmarkskalkning var motsvarande notering 50 % och vid kalkning med doserare var kalkeffekten låg i ungefär 60 % av målpunkterna med underskridet mål.





Figur 84. Använd kalkdos i förhållande till beräknad kalkeffekt enligt MVU i målpunkter med underskridet pH-mål enligt KEU. Noll betyder att kalkdosen följde riktvärdena i handboken och att kalkeffekten uppgick till genomsnittet för samtliga målpunkter.

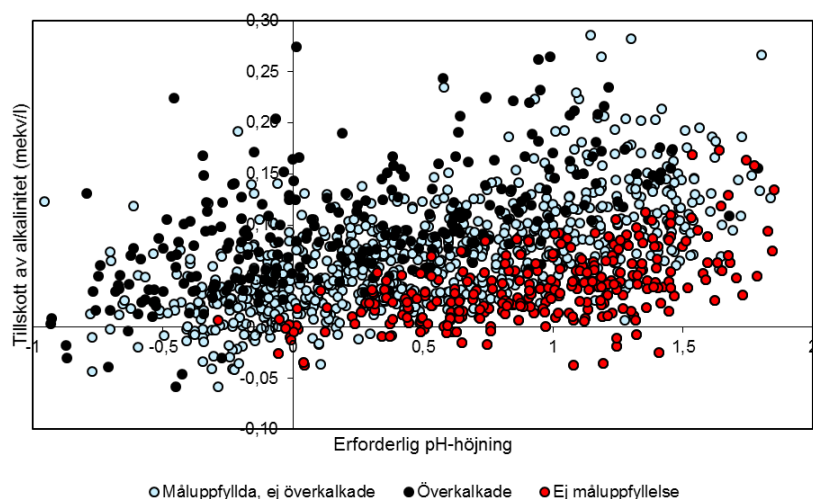
I Blekinge och Örebro hade samtliga målpunkter med underskridet mål låg kalkeffekt (tabell 6). I Västernorrland, Värmland och Dalarna uppgick andelen till närmare 90% av målpunkterna. I Kalmar, Jämtland och Jönköping var enbart låg kalkdos orsak till utebliven måluppfyllelse i mer än hälften av målpunkterna.

Tabell 6. Andel målpunkter med utebliven måluppfyllelse i förhållande till använd kalkdos och beräknad kalkeffekt.

	Låg kalkdos/ låg effekt	Låg kalkdos/ hög effekt	Hög kalkdos/ låg effekt	Hög kalkdos/ hög effekt
Östergötland	33%	33%	33%	0%
Jönköping	20%	54%	17%	9%
Kronoberg	35%	41%	12%	12%
Kalmar	0%	100%	0%	0%
Blekinge	33%	0%	67%	0%
Skåne	45%	45%	9%	0%
Halland	36%	48%	12%	4%
V Götaland	37%	41%	16%	6%
Värmland	65%	8%	24%	3%
Örebro	38%	0%	63%	0%
Västmanland	71%	14%	0%	14%
Dalarna	74%	15%	12%	0%
Gävleborg	68%	21%	11%	0%
Västernorrland	75%	11%	14%	0%
Jämtland	14%	71%	0%	14%
Västerbotten	44%	42%	7%	7%
Samtliga	52%	27%	17%	4%

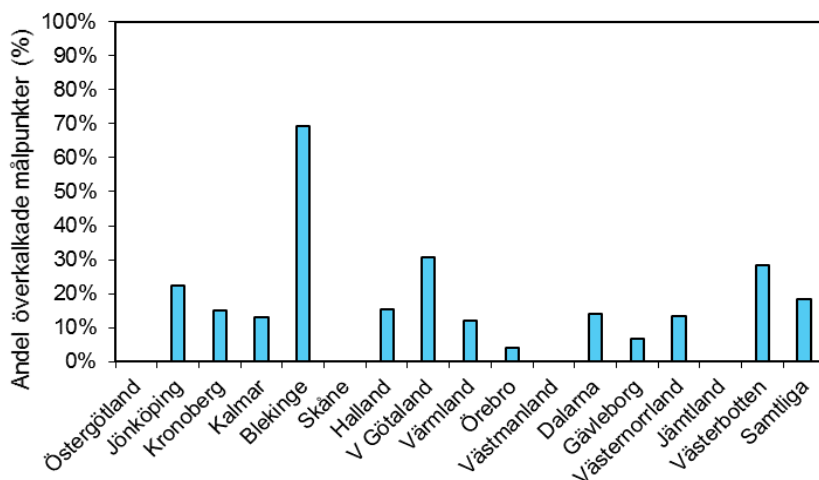
3.11 Överkalkning

Enligt handboken är definitionen för överkalkning att pH överskrider pH-målet med 0,4 enheter i samband med höga flöden. Sambandet mellan erforderlig pH-höjning och tillskott av alkalinitet visade att målpunkter med utebliven måluppfyllelse respektive överkalkade målpunkter gränsade direkt till varandra (figur 85). Utfallet antyder att det är svårt att uppnå hög måluppfyllelse och samtidigt undvika överkalkning. Orsaken är att tillskottet av alkalinitet ger olika stor höjning av pH beroende på bland annat variationen i vattnets kolsyretryck och humuskoncentration.



Figur 85. Tillskott av alkalinitet i förhållande till erforderlig pH-höjning för att uppnå pH-mål. Överkalkning definierades som lägsta pH >0,4 enheter över pH-mål.

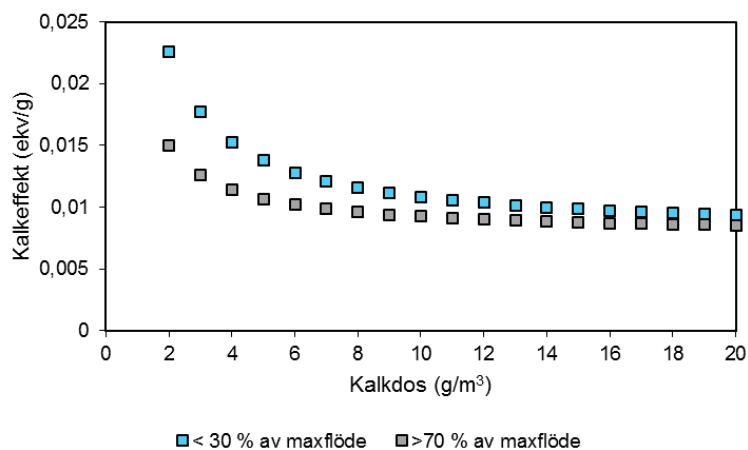
Den länsvisa fördelningen visade också att flertalet län med hög måluppfyllelse även hade hög andel överkalkade målpunkter (figur 86). Tydligast framträdde det i Blekinge, Västra Götaland och Västerbotten. Kalmar avvek genom hög måluppfyllelse och förhållandevis låg andel överkalkade målpunkter.



Figur 86. Andel överkalkade målpunkter. Överkalkning definierades som lägsta pH >0,4 enheter över pH-mål. Lägsta pH avser pH-min av MVU eller KEU.

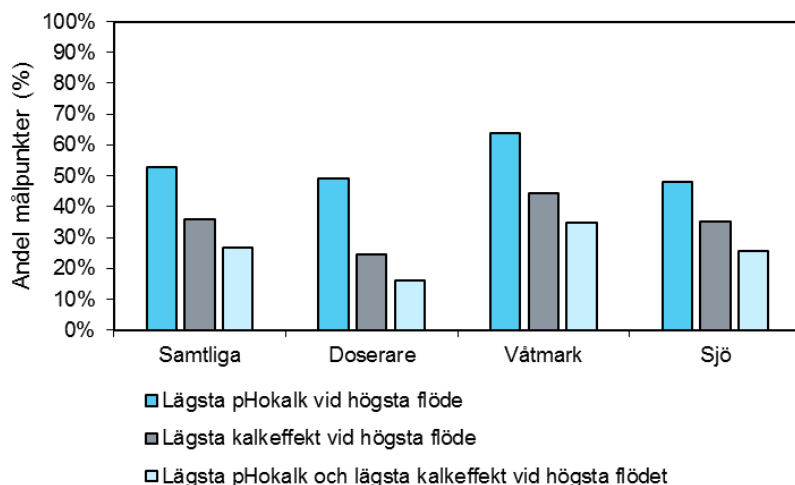
3.12 Betydelsen av provflödet

Avsaknad av prover tagna vid höga flöden medför en överskattning av kalkeffekten. Vid en kalkdos på 2 g/m³ överskattades effekten med i genomsnitt 50 % vid en jämförelse mellan målpunkter provtagna vid mindre än 30 % av maxflödet och sådana där prov fanns tillgängliga vid över 70 % av maxflödet (figur 87). Skillnaden minskade med ökande kalkdos, men vid en dos på 10 g/m³ var skillnaden fortfarande 17 %.



Figur 87. Kalkeffekt för målpunkter provtagna vid mindre än 30 % av maxflödet för undersökningsperioden jämfört med målpunkter provtagna vid mer än 70 % av maxflödet. Avser medelvärde för prov insamlade vid högsta provtagningsflöde för respektive målpunkt. Data från MVU.

Även om det generella sambandet visade att kalkeffekten sjönk vid ökande flöden är det viktigt att påpeka att den lägsta kalkeffekten i 64 % av målpunkterna inte uppträdde vid högsta provflödet (figur 88). Detta var särskilt vanligt i doseringskalkade målpunkter där 75 % inte hade lägsta kalkeffekt vid högsta flödet. För våtmarkskalkning sammanföll den lägsta kalkeffekten med högsta flöde i 44 % av målpunkterna och för sjökalkning i 35 %.

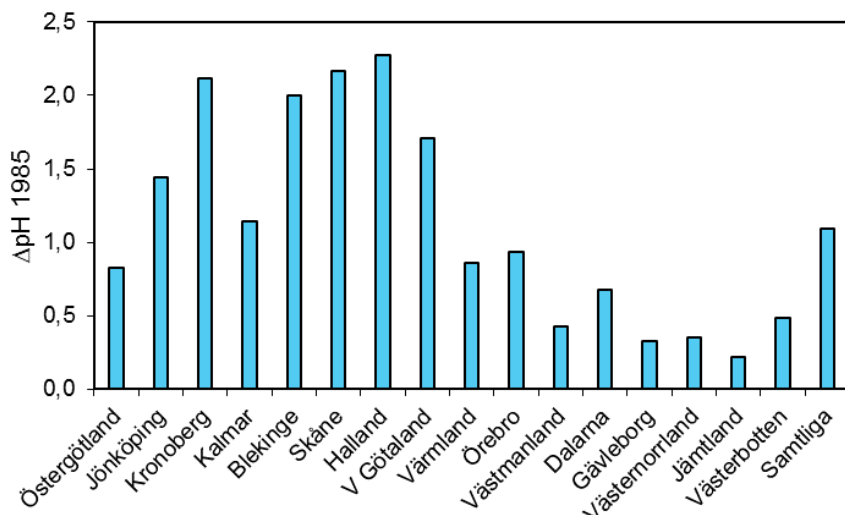


Figur 88. Andel målpunkter där lägsta pHokalk, lägsta kalkeffekt eller båda sammanföll med provtillfället med högsta flöde. Data från MVU.

Tillsammans med varierande kalkeffekt avgör variationerna i pHokalk vilket pH som uppnås. Generellt sjunker pHokalk med stigande flöden. Likväl var det bara vid drygt hälften av målpunkterna som pHokalk var lägst vid det högsta provflödet. De mest kritiska tillfällena för måluppfyllelse är när lägsta pHokalk uppträder samtidigt med lägsta kalkeffekt. I samband med det högsta provflödet sammanföll dessa i 27 % av målpunkterna.

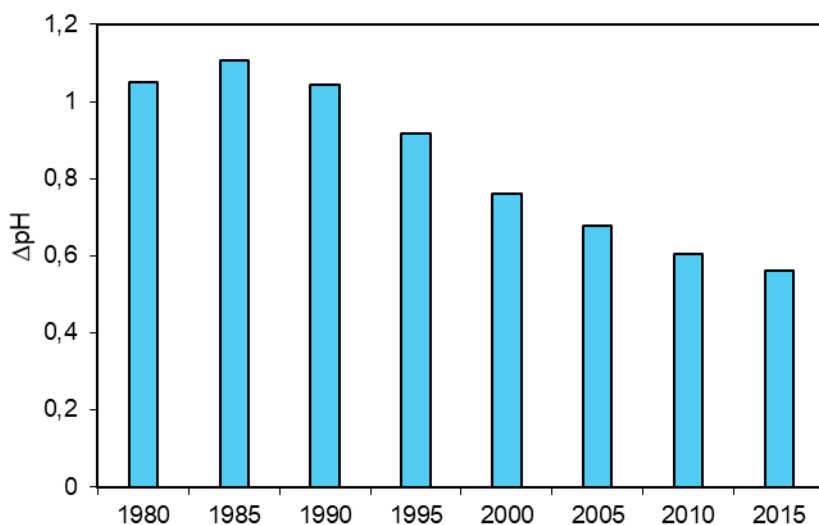
3.13 Hur mycket har kalkbehovet minskat till följd av försurningsåterhämtning?

pH (årsmedelvärde) för de objekt i MAGIC-biblioteket som matchade målpunkternas okalkade kemi uppgick år 1860 till i genomsnitt 6,27. När försurningen var som kraftigast runt 1985 var pH 5,18, dvs. genomsnittligt Δ pH uppgick till 1,1 pH-enheter (figur 89). Skillnaden mellan länen var stor med genomsnittligt Δ pH på 2,27 i Halland, medan Jämtland hade 0,22.



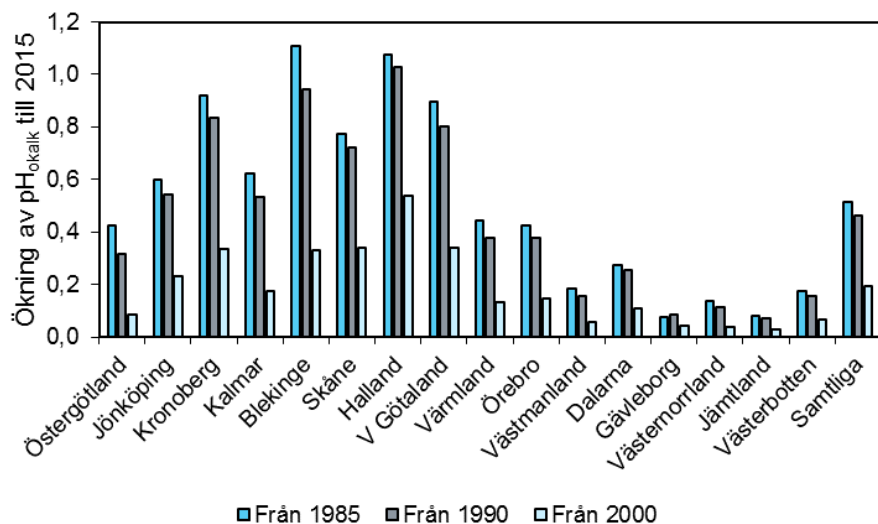
Figur 89. Minskningen av pH år 1985 i förhållande till förindustriellt pH (pH1860). Avser medelvärde av volymvägda årsmedelvärden för objekten i MAGIC-biblioteket som matchade målpunkternas okalkade kemi. Kemiunderlag från MVU.

Från 1985 till och med 2015 minskade Δ pH från i genomsnitt 1,1 till 0,57 pH-enheter (figur 90). Den största återhämtningen skedde mellan 1995 och 2000 då pH i genomsnitt ökade med 0,15 enheter på 5 år. Återhämtningen har avstannat betydligt och uppgick till 0,04 pH-enheter från 2010 till 2015.



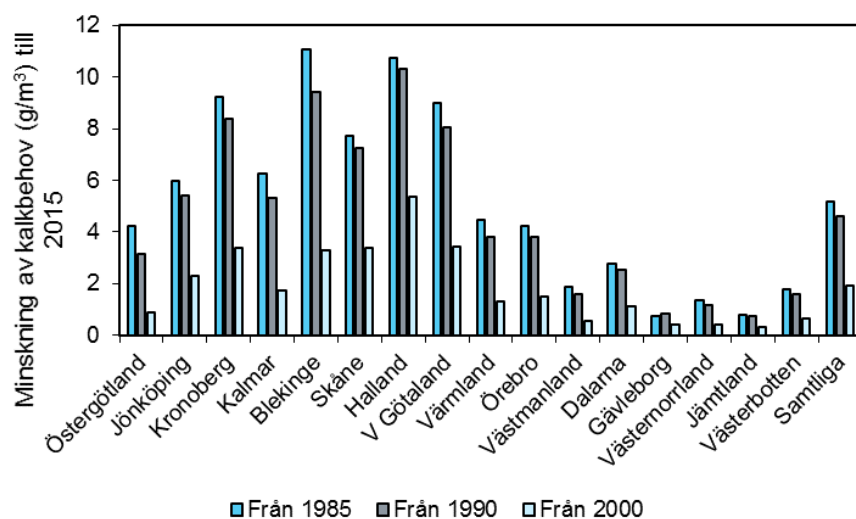
Figur 90. Δ pH, dvs. minskningen i pH i förhållande till förindustriellt pH (pH1860). Avser medelvärde av volymvägda årsmedelvärden för pH för objekten i MAGIC-biblioteket som matchade målpunkternas okalkade kemi. Kemiunderlag från MVU.

Höjningen av pH var störst i de mest försurningspåverkade länen. I Blekinge ökade pH från 1985 till 2015 med i genomsnitt 1,11 pH-enheter och i Halland med 1,07 (figur 91). Den minsta återhämtningen skedde i Jämtland och Gävleborg med 0,08 pH-enheter.



Figur 91. Ökningen av pH_{okalk} till år 2015 räknat från 1985, 1990 och 2000. Ökningen avser medelvärde av årsmedelvärden för objekten i MAGIC-biblioteket som matchade målpunkternas okalkade kemi. Kemiunderlag från MVU.

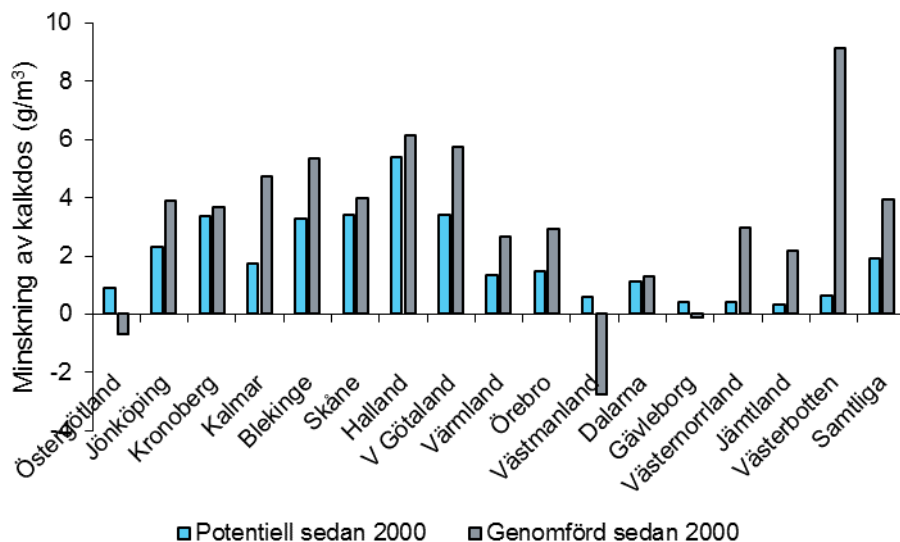
Återhämtningen av pH påverkar kalkbehovet. Förutsatt att lägsta pH ökat i samma omfattning som årsmedelvärdet för pH innebar återhämtningen sedan 1985 att kalkbehovet minskat med i genomsnitt 5,2 g/m³ (figur 92). Återhämtningen sedan år 2000 innebar att kalkbehovet minskat med i genomsnitt 1,9 g/m³. Beräkningen baseras på handbokens rekommenderade kalkdoser och förutsätter att pH-målen inte förändrats under tidsperioden. Skillnaderna mellan länen var betydande. Räknat från år 2000 fram till 2015 skulle kalkdosen i Halland ha kunnat reduceras med i genomsnitt 5,4 g/m³, medan motsvarande notering för Jämtland var 0,3 g/m³.



Figur 92. Genomsnittlig minskning av kalkbehov till följd av försurningsåterhämtning fram till år 2015 räknat från 1985, 1990 och 2000. Minskningen av kalkbehovet baserades på återhämtningen av pH för objekten i MAGIC-biblioteket som matchade målpunkternas okalkade kemi. Kemiunderlag från MVU.

En jämförelse av den faktiska minskningen av kalkdos med den som potentiellt kunde gjorts till följd av minskad försurning är mest relevant för perioden från 2000 till 2015. Varken 1985 eller 1990 var kalkningsverksamheten fullt utbyggd och i många fall förekom höga kalkgivor till följd av grundkalkning. I genomsnitt minskade kalkdosen dubbelt så mycket som motiverades av effekten

av minskad försurning (4 g/m^3 i stället för 2 g/m^3) från 2000 till 2015 (figur 93). I Kronoberg, Skåne, Halland och Dalarna motsvarade neddragningen i kalkdos ungefär försurningsåterhämtningen. I Östergötland, Västmanland och Gävleborg ökade kalkdosen efter 2000. I Jönköping, Kalmar, Blekinge, Västra Götaland, Värmland, Örebro, Västernorrland, Jämtland och Västerbotten minskade kalkdosen betydligt mer än vad som motiverades av minskad försurning.



Figur 93. Minskning av kalkbehovet till följd av försurningsåterhämtning från 2000 till 2015 jämfört med faktisk minskning av kalkdosen. Minskningen av potentiellt kalkbehov baserades på återhämtningen i pH för objekten i MAGIC-biblioteket som matchade målpunkternas okalkade kemi. Kemiunderlag från MVU.

Att kalkdosen minskat mest i norra Sverige i förhållande till återhämtningen framstår som logiskt. I Norrland var försurningen mest påtaglig i form av surstötter under vårfloden. I takt med minskad svaveldeposition har digniteten på dessa avtagit avsevärt, betydligt mer än de volymvägda medelvärden som genereras via MAGIC. Det är också relevant att poängtera att den återhämtning som MAGIC beräknar bygger på antagandet att koncentrationen av humus inte förändrats. I praktiken har halterna ökat i nästan alla vatten, både kalkade och okalkade. Eftersom humus tillför en betydande mängd syra har detta motverkat återhämtningen och således även möjligheten att sänka kalkdosen.

4 Diskussion

4.1 Vattenprovtagning

Tillgången på vattenprover insamlade vid kritiska tillfällen utgjorde en betydande begränsning vid utvärderingen. Länsstyrelsernas förmåga att följa riktlinjerna enligt handboken varierade betänkligt. I handboken från 2002 anges att målpunkter i vattendrag bör provtas vid samtliga betydande flödestoppar, vilket anges motsvara minst 6 provtillfällen per år vid höga flöden. Undermålig högflödesprovtagning har därefter varit en återkommande anmärkning vid de granskningar som först Naturvårdsverket och därefter HaV genomfört av länsstyrelsernas verksamhet. Efter granskningen som genomfördes 2012–2013 konstaterade HaV att endast Halland, Gävleborg, Jämtland och Västerbotten hade en högflödesprovtagning som genomgående fungerade bra (Havs- och vattenmyndigheten 2013). I Östergötland, Blekinge, Skåne, Värmland, Örebro och Västmanland var provtagningen särskilt svag.

Genomgången av länsstyrelsernas ordinarie uppföljning visade att det var fullt möjligt att upprätthålla en hög träffbild avseende såväl högflöden som tillfällen med kraftigt uppgående flöden. Att de nordliga länen klarade det bäst skulle kunna avfärdas som en klimateffekt till följd av att det är lättare att förutse flödestoppar orsakade av snösmältning än av regn. En fördjupad analys av provtagningen i Jämtland visade emellertid att provtagarna var lika framgångsrika med att träffa högflöden till följd av regn som vid snösmältning.

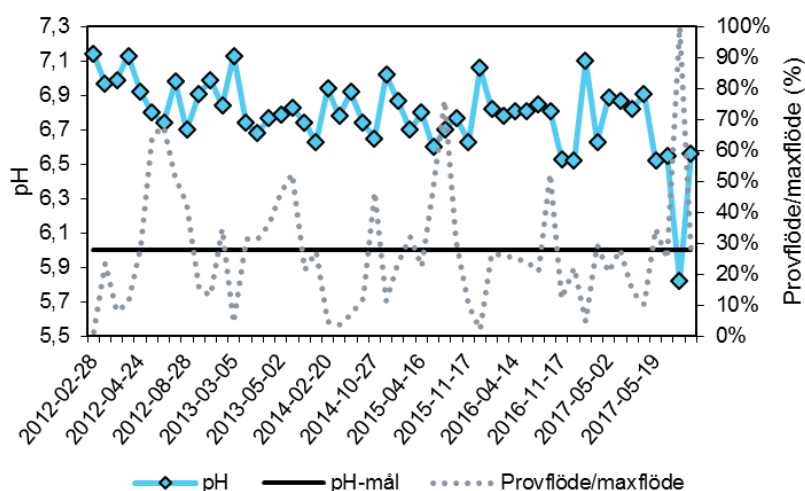
Även utfallet inom MVU varierade betänkligt. Strategin med 6 skilda provomgångar innebar en betydande slumpfaktor beroende på flödessituationen under den 12-månadersperiod då målpunkterna provtogs. Det förklarade emellertid bara delvis det varierade utfallet. I vilken grad det svaga utfallet i framför allt Östergötland, Västmanland och Örebro ska skyllas på anlitade provtagare eller otydliga instruktioner lämnas därhän. Detsamma gäller i vilken grad felaktigheter avseende modellerade flöden påverkat bedömningarna. Att flöden modellerade med S-HYPE kan avvika avsevärt från de faktiska har konstaterats tidigare (Ahlström 2015).

Vikten av provtagning vid höga flöden var uppenbar. Måluppfyllelsen sjönk avsevärt när lägsta pH registrerades vid höga flöden jämfört med låga. För sjökalkade målpunkter var måluppfyllelsen 70 % vid låga provflöden och bara 30 % om lägsta pH noterades vid flöden över 80 % av maxflödet. Även vid våtmarkskalkning sjönk måluppfyllelsen med ökande provflöden. Vid kalkning med doserare fanns däremot inget sådant samband, tvärtom var måluppfyllelsen som sämst när lägsta pH noterades vid låga flöden. Det förhållandet antyder att ingen kalkdosering då pågick på grund av att den vattennivå som fick doseraren att starta var satt för högt i relation till vattnets pH-värde.

Trots att risken för bristande måluppfyllelse ökade vid högre flöden var det, även vid sjökalkning, förhållandevis vanligt med låga pH-värden vid låga flöden. Vid sjökalkning sammanföll lägsta kalkeffekt med högsta provflöde i bara 35 % av målpunkterna. Att provtillfället med lägsta kalkeffekt inte sammanföll med högsta flöde betyder att även andra faktorer än flödet är viktiga för tillskottet av alkalinitet och därmed måluppfyllelsen.

Det nuvarande kriteriet på 50 % av maxflödet för att rapportera måluppfyllelse är inte tillräckligt för att säkerställa en trovärdig bedömning. Dels behöver nivån på provflödet öka till minst 70 %, dels behövs kompletterande kriterier som säkerställer provtagning vid kemiskt kritiska tillfällen.

Dessa inträffar normalt i samband med höglöden eller vid kraftigt ökande flöden efter perioder med torka. I sjökalkade vattensystem behöver provtagningen även innefatta perioder med måttligare flöden i samband med att sjöarna är islagda.



En kalkning som fungerar förhållandevis bra ställer höga krav på vattenprovtagningen för att upptäcka eventuella surstötter. Exemplet visar Rundbäcken i Västerbotten där endast ett prov under 2012–2017, taget vid maxflödet 4 oktober 2017, avslöjade ett pH-värde lägre än målet. Vid övriga provtillfällen bedömdes vattendraget som överkalkat (pH >0,4 över pH-målet).

4.2 pH-mål

Efter att de differentierade pH-målen tillkom 2002 ökade tillämpningen av pH-mål 5,6 successivt. pH-målet 6,2 för flodpärlmussla tillkom 2010 och har använts i ungefär oförändrad omfattning sedan det infördes. Enligt underlaget i utvärderingen hade pH-mål 5,6 funnits i 8–14 år, vilket torde vara tillräckligt för att anpassa kalkningen till sänkningen av målnivån från 6,0 till 5,6.

Skillnaden i kalkdos mellan målpunkter med pH-mål 5,6 respektive 6,0 vittnade inte om någon betydande anpassning. Vid låga värden på okalkat pH användes visserligen en högre kalkdos vid pH-mål 6,0 men skillnaderna var betydligt mindre än de 30–40 % som riktvärdena i kalkningshandboken anger. Det berodde emellertid inte på att målpunkter med pH-mål 5,6 överkalkades vid låga pH_{okalk} utan på att kalkdosen generellt var för låg vid pH-mål 6,0. Därför uppgick måluppfyllelsen till bara 50 % i målpunkter med pH_{okalk} 4,0–5,0 och pH-mål 6,0. Vid pH_{okalk} 5,5–6,0 kalkades däremot målpunkter med pH-mål 5,6 med en högre kalkdos än de med pH-mål 6,0, vilket resulterade i att drygt 60 % av målpunkterna med pH-mål 5,6 klassades som överkalkade inom det intervallet av pH_{okalk} . En jämförelse av kalkdosens utveckling över tid gav ingen antydning om en pågående anpassning, snarare tvärtom. Både avseende antal målpunkter med minskad kalkdos och storleken på neddragningen skedde den största reduktionen vid pH-mål 6,0. Skillnaderna i kalkdos mellan pH-målen minskade således med tiden.

pH-målet 6,2 hade funnits i 0–6 år enligt underlaget i utvärderingen, vilket kan vara en delförklaring till att målet inte beaktats i det praktiska kalkningsarbetet. En närmare analys visade dessutom att kalkdosen vid pH-mål 6,2 hade reducerats under den senaste sexårsperioden i närmare 70 % av målpunkterna, vilket var likvärdigt med övriga målpunkter. Även i merparten av målpunkterna med underskridet pH-mål hade kalkdosen reducerats. Vid tre av fem nivåer på pH_{okalk} användes den lägsta kalkdosen vid pH-mål 6,2 jämfört med övriga målnivåer, när den teoretiskt borde vara den högsta. Lägsta uppmätta pH var därför inte högre vid pH-mål 6,2 än vid

6,0. Det var således inte överraskande att måluppfyllelsen vid pH-mål 6,2 bara var 48 %, jämfört med 72 % för pH-mål 5,6 och 64 % för pH-mål 6,0.

Resultaten antyder att de differentierade pH-målen endast i liten omfattning beaktats vid kalkningens utförande. Det fanns heller inga indikationer på en pågående anpassning, snarare tvärtom. pH-målens största betydelse torde därför ligga i att motivera fortsatt kalkning. Tydligast var detta vid nyttjande av pH-mål 6,0 trots avsaknad av giltiga skäl. I 20–40 % av dessa målpunkter saknades kalkbehov vid pH-mål 5,6, vilket betyder att kalkningen borde ha avslutats.

4.3 Använd kalkdos

En väl fungerande kalkning förutsätter att kalkdosen anpassas efter den höjning av pH som behövs för att uppnå pH-målet. I handboken anges erfarenhetsbaserade riktvärden som är avsevärt högre än den kalkdos som teoretiskt åtgår. Exempelvis anges för sjökalkning en kalkdos på 18 g/m³ vid pH_{okalk} på 4,4 och pH-mål 6,0. Teoretiskt åtgår ungefär 7 g/m³ för motsvarande höjning. Dessutom avser riktvärdena hela årsavrinningen, men lägsta pH_{okalk} uppträder bara vid en mindre del av denna. Ett lägsta pH på 4,4 motsvarar "normalt" ett ungefärligt årsmedelvärde på 4,6–4,7, vilket ger ett teoretiskt kalkbehov på drygt 5 g/m³. Skillnaden mellan det faktiska och det teoretiska kalkbehovet bestäms av vilken kalkeffekt som kan uppnås. Riktvärdena i handboken förutsätter att kalkeffekten är medelhög. Naturligtvis är det möjligt att nå måluppfyllelse även med en lägre kalkdos, men det förutsätter att kalkeffekten är högre än genomsnittet.

Vid våtmarkskalkning tillämpades kalkdoser som överensstämde väl med riktvärdena. Kalkdosen vid sjökalkning var i genomsnitt betydligt lägre än handbokens riktvärden, särskilt vid låga pH_{okalk}. Vid kalkning med doserare baseras riktvärdena på momentan dos vid olika pH_{okalk}. Dessa är betydligt lägre än de som anges för sjö- och våtmarkskalkning. Även om jämförelsen inte är helt adekvat överensstämde använda doser tämligen väl med riktvärdena.

I Västra Götaland och Västerbotten var kalkdosen väl anpassad efter behovet att höja pH. Övriga län nyttjade för låg kalkdos vid låga pH_{okalk}. Flera län hade en obefintlig anpassning av kalkdosen till behovet, vilket innebar att samma kalkdos nyttjades oavsett pH_{okalk}. Ett sådant förfarande leder till låg måluppfyllelse där behovet är stort, men kan också leda till överkalkning där behovet är litet. Till denna kategori hörde bland annat Östergötland och Kalmar. I Västmanland och Örebro fanns ett tydligt samband mellan kalkdos och pH, men kalkdoserna var genomgående för låga.

4.4 Tillskott av alkalinitet

Behovet att tillföra alkalinitet bestäms av skillnaden mellan okalkat pH och angivet pH-mål. Med ett pH-mål på 6,0 och ett okalkat pH på 4,5 behöver exempelvis alkaliniteten höjas med ungefär 0,12 mekv/l. Om pH_{okalk} är 5,5 behövs ett tillskott på cirka 0,05 mekv/l. Om tillskottet av alkalinitet är mindre underskrids pH-målet och om tillskottet är avsevärt högre blir kalkförbrukningen onödigt hög. Tillskottet varierar under året och kan tidvis vara mycket högt, ofta i samband med låga flöden eller direkt efter kalkspridning. De mest kritiska tillfällena inträffar när tillskottet är lågt samtidigt som nivån på okalkat pH är låg, dvs. vid lägsta uppmätta pH.

Generellt tillfördes tillräckligt mycket alkalinitet vid låga behov, men för lite där behovet var högt. Mot bakgrunden av förhållandet mellan använd kalkdos och pH_{okalk} var detta det väntade resultatet. Problemet med för låga tillskott vid ett högt behov var mest uttalat i sjökalkade vattendrag. Skillnaden var betydande mellan länen där flertalet hade bristfällig anpassning mellan

tillskott och behov, medan Jönköping, Kalmar, Västra Götaland, Jämtland och Västerbotten uppvisade rimlig överensstämmelse.

Förutom låg kalkdos kan även låg kalkeffekt leda till att tillskottet av alkalinitet blir för litet. Låg kalkeffekt kan teoretiskt kompenseras via en högre kalkdos. Vid kalkning på sjöar är emellertid tillgången på lämpliga åtgärdsobjekt ofta en begränsande faktor. Mindre lämpliga åtgärdssjöar utgörs av sådana med snabb vattenomsättning som saknar nedströms belägna sjöar som kan utjämna effekten. Om sådana sjöar kalkas blir effekten låg eftersom den är betydligt lägre under perioder med hög tillrinning. Kalkdosen kan även höjas i befintliga åtgärdssjöar. I praktiken är det emellertid inte möjligt att upprätthålla en alkalinitet över 0,40 mekv/l, även om kalkdosen är mycket hög. Därför rekommenderas en kalkdos på maximalt 20 g/m³ vid kalkning av åtgärdssjöar.

Vid sjökalkning i södra delen av landet visade sambandet mellan sjöprocent och tillskott av alkalinitet att en ökad kalkdos från 5–10 g/m³ till >10 g/m³ inte medförde någon ökning av alkalinitet vid en sjöprocent lägre än 5 %, vilket antyder att tillgängliga åtgärdssjöar överutnyttjades vid den högre kalkdosen. Vid en sjöprocent över 5 % medförde högre kalkdos även ett högre tillskott av alkalinitet. Generellt fanns således en begränsning av storleken på tillskottet av alkalinitet beroende på sjöprocent. Redan vid en kalkdos på 5–10 g/m³ var kalkeffekten betydligt lägre (50 %) vid en sjöandel på mindre än 5 % jämfört med en sjöandel över 5 %.

I norra delen av landet gav sjökalkning generellt betydligt lägre tillskott av alkalinitet. Vid en sjöprocent på <10 % tillfördes i genomsnitt 0,04 mekv/l alkalinitet oavsett om kalkdosen var låg (<5 g/m³) eller hög (10–15 g/m³). Vid en sjöprocent över 10 % tillfördes i genomsnitt 0,055 mekv/l vid en kalkdos på 5–10 g/m³. Underlag saknades för att beräkna om en högre kalkdos (>10 g/m³) skulle öka tillskottet i sjörika vattendrag (sjöprocent >10%).

4.5 Kalkeffekt

Kalkeffekt är ett mått på hur mycket tillskott av alkalinitet som uppnås i förhållande till använd kalkdos. Kalkeffekten varierar under året på samma sätt som alkalinitetstillskottet.

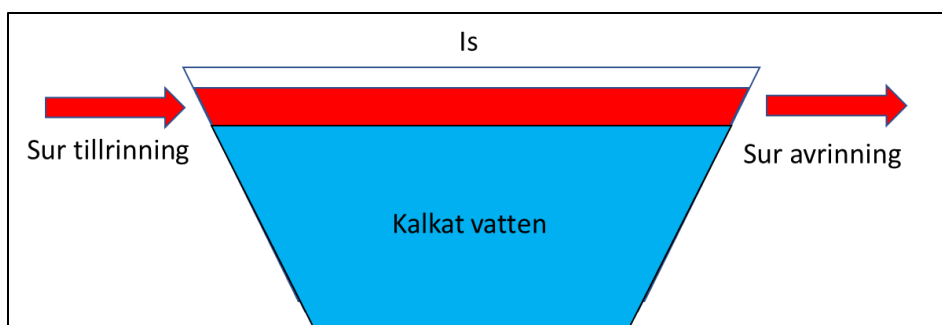
En hög kalkeffekt förutsätter att åtgärdsobjekten eller kalkdoseraren tillför upplöst kalk i proportion till flödet. I ett mindre vattendrag kan flödet tiofaldigas inom loppet av ett dygn. För att upprätthålla en jämn kalkeffekt i ett avrinningsområde på 1 000 ha kan tillskottet av upplöst kalk behöva variera från 0 till 2 ton från ett dygn till nästa.

I södra delen av landet var kalkeffekten generellt lägst i januari, februari och mars och i landets norra del i mars, april och maj. Perioder som präglas av snösmältning, islagda sjöar och ofta kraftig nederbörd var således kritiska för att upprätthålla hög kalkeffekt. Tillfällen med kraftigt ökande flöden är emellertid kritiska även under andra delar av året, särskilt efter längre perioder med liten nederbörd. Dessa flödesökningar sker inom loppet av några dygn i samband med kraftiga regn och missas ofta i vattenprovtagningen. Det är främst sjökalkade vattendrag som påverkas. Anledningen är att sjöarnas vattenvolym ökar med ökande flöden. Därmed dämpas flödet i sjöutloppet, vilket resulterar i att tillrinnande vatten nedströms sjön ökar snabbare. När flödena sjunker blir situationen det omvända, vilket ställer stora krav på valet av provtagningstidpunkt.

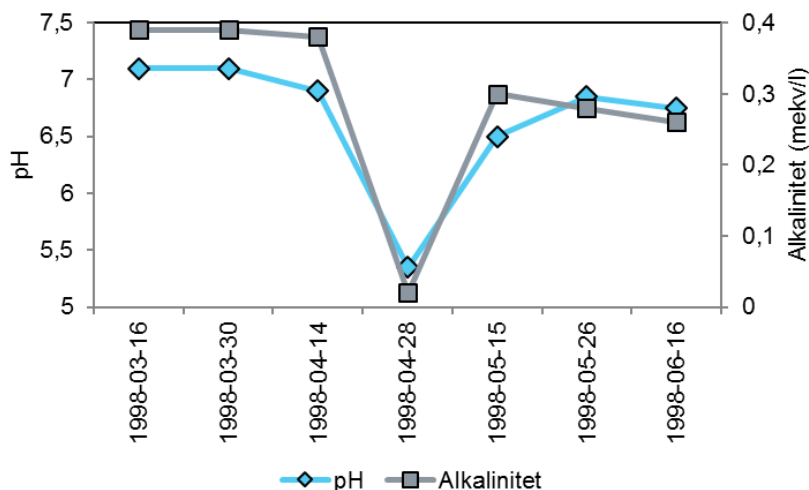
Kalkeffekten var högst vid våtmarkskalkning, medan sjökalkning och kalkning via doserare uppvisade likvärdiga nivåer. Vid våtmarkskalkning fanns ingen betydande regional skillnad,

medan doserarkalkningen var något effektivare i norra Sverige. Kalkeffekten vid sjökalkning uppvisade stor geografisk skillnad. Vid en kalkdos på 5–10 g/m³ uppgick kalkeffekten i södra Sverige till 0,01 ekv/g men endast till 0,006 ekv/g i norr. I norr ökade inte tillskottet av alkalinitet vid en högre kalkdos, vilket innebar att skillnaden i kalkeffekt vid en kalkdos på 10–15 g/m³ var ännu större. Den geografiska skillnaden antyder att effekten är klimatrelaterad. Denna slutsats förstärks av att det inte förelåg någon skillnad mellan norr och syd avseende sjöprocenten i sjökalkade vattendrag. Att den lägsta kalkeffekten huvudsakligen inföll under mars och april indikerar att skillnader i isförhållanden utgör förklaringen till den svagare kalkeffekten vid sjökalkning i norr.

Problemet med s.k. isepisoder har varit känt sedan tidigt 1980-tal (Hasselrot 1984, Hasselrot m.fl. 1987, Abrahamsson 1993). Trots det nyttjas sjökalkning frekvent för att uppnå effekter nedströms. Isepisoder skapas i islagda sjöar när tillrinnande vatten är kallare än sjövattnet. Därmed sker en begränsad inblandning innan det kalla vattnet når utloppet. Sker ingen kalkning i tillrinnande vatten kan utloppsvattnet från den kalkade sjön vara närmast opåverkat av kalkning. Risken för isepisoder minskar om flera sjöar kalkas uppströms, men även i sjösystem med 30–40 kalkade sjöar har isepisoder registrerats. För att undvika isepisoder behöver kalkning ske uppströms på våtmarker eller via doserare. Isepisoder kan uppträda även i södra Sverige, men problemet ökar med isläggningsperiodens längd. Även isens tjocklek torde vara av betydelse eftersom den förlänger avsmältningsförloppet efter det att flödena börjat öka. När isen försvunnit sker ofta en snabb omblandning, varvid kalkeffekten i utloppet stiger.



Isepisoder bildas när isen hindrar vattnet att cirkulera, vilket medför att sur och kall tillrinning inte blandas med det något varmare och kalkade sjövattnet.



Oavsett nivå på pH och alkalinitet i den kalkade sjön kan isepisoder medföra att målområdet nedströms sjön tidvis saknar kalkpåverkan. Exemplet visar pH och alkalinitet i utloppet från Torrsjön i Västerbottens län.

Isepisoder utgör inte det enda problemet vid sjökalkning, men de är den enda faktor som kan förklara skillnaden mellan norr och syd. Sammantaget visade resultaten att sjökalkning bör användas restriktivt i områden med betydande isläggning, vilket i denna utvärdering motsvarar ungefär området norr om Vänern. Det är också viktigt att påpeka att provtagningen i MVU inte fokuserade på tillfällen när problemet med isepisoder förväntas vara mest uttalat, dvs. vid vårflodens inledningsskede. I norra Sverige insamlades bara ett prov under vårfloden och det vid högsta flödet. I Norrland infaller vanligen maxflödet något efter det att isarna försvunnit, vilket medför att såväl kalkeffekt som pH hunnit öka.



Skiktningen av sjövattnet och därmed isepisoden i utloppet kvarstår tills att isen helt försvunnit och sjövolymen hunnit cirkulera och omblandas. Foto: Johan Ahlström.

Med kontinuerlig anpassning av kalkmängden till flödet är kalkning via doserare den metod som teoretiskt kan uppnå högst kalkeffekt. Att utvärderingen gav ett annat intryck visar att det alltså finns utrymme för betydande förbättring. Förutom en förhållandevis låg kalkeffekt var det också oroväckande att låg kalkeffekt och därmed låg måluppfyllelse även noterades vid låga flöden. Det antyder en mera frekvent förekomst av surstötter än vid kalkning på våtmarker där låg måluppfyllelse huvudsakligen förekom vid höga flöden.

Kalkning med doserare ställer höga krav på drift och skötsel. Ett enda tillfälle med bristfällig funktion kan sänka kalkeffekten och äventyra måluppfyllelsen. Förutom att driftstörningar undviks är förutsättningen för att uppnå hög kalkeffekt att utdoseringen av kalk är väl anpassad till flödet, vilket förutsätter en tillförlitlig registrering av flödet. Om tillförsel av kalk behövs under perioder med isläggning blir det betydligt svårare. Vid isläggning är den automatiska flödesmätningen inte tillförlitlig, vilket leder till att mängden utdoserad kalk behöver regleras manuellt.



Vid vårflodens inledning kan stora delar av vattendragen vara islagda. Därmed påverkas förhållandet mellan vattennivån och vattenflödet, vilket innebär att den automatiska registreringen av vattennivån inte kan användas för att styra mängden utdoserad kalk. Kalkmängden behöver därför regleras manuellt. Foto: Ulf Olofsson.

En annan viktig faktor vid doserarkalkning utgörs av den nedströmssträcka som avses att åtgärdas. För att neutralisera nedströms tillrinning behövs en högre kalkdos vid doseraren. Behovet ökar med mängden nedströms tillrinnande vatten. En hög kalkdos leder till ökad sedimentation och därmed lägre effekt. Stora skillnader mellan flödet vid doseraren och målpunkten medför också en ökad risk att flödesvariationerna inte är synkroniserade. Ojämn fördelning av sjöar inom avrinningsområdet samt stora höjdskillnader är ytterligare faktorer som negativt påverkar synkroniseringen. Om flödet i medeltal är 3 gånger högre vid målpunkten, kan en svag synkronisering innebära att flödet tidvis är 6 gånger högre. Motsvarar kalkbehovet vid målpunkten en dos på 6 g/m³ behöver vid sådana tillfällen 36 g/m³ doseras vid kalkdoseren. Det är långt över vad som är rimligt. I normalfallet torde maximalt 10–15 g/m³ vara en rimlig dos. Vattnets turbulens nedströms doseraren, pH-värdet uppströms doseraren samt kalkmedlets löslighet avgör hur mycket kalk som kan lösas, medan den resterande mängden sedimenterar. I vattendragssträckor med strömmande vatten torde stora delar av den sedimenterade kalken lösas vid senare tillfällen, men denna okontrollerade tillförsel av kalk inbegriper även perioder när ingen tillförsel är nödvändig. Om kalken sedimenterar i nedströms belägna sjöar eller sel kan omfattande kalkdepåer ackumuleras där kalken inaktiveras.



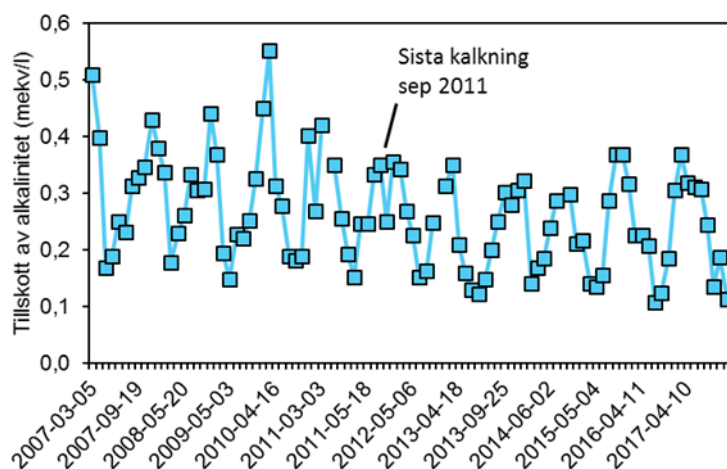
Hög kalkdos vid doserarkalkning leder till att kalk sedimenterar. Sedimentationen sänker kalkeffekten och kan också försämra syresättningen i lekområden för öring och lax. Samtidigt kan dock den sedimenterade kalken bidra till att bottendjur överlever i samband med surstötter i den fria vattenmassan. Foto: Johan Ahlström.

I norra Sverige var kalkning med doserare effektivare än i söder och därmed lika effektiv som kalkning på våtmarker. En delförklaring torde vara att pH_{okalk} var högre i norra Sverige och särskilt i Jämtland. Höga pH_{okalk} innebär att utdoseringen av kalk begränsas till perioder med höga flöden, vilket ger liten driftstid under året. Under sådana förhållanden är kalkning med doserare särskilt gynnsam jämfört med övriga metoder där det är oundvikligt att kalk även förbrukas under perioder när pH_{okalk} är högre än pH-målet. Eftersom kalkeffekten beräknas utifrån tillskottet av alkalinitet vid lägsta pH förutsätter en hög kalkeffekt även att låga pH-värden inte uppträder till följd av driftstörningar. Utfallet påverkades därför även av doserarnas drift och skötsel.

Kalkeffekten minskade med ökande kalkdos. Utfallet antyder att äldre kalklager bidrar med alkalinitet, vilket framför allt påverkar beräkningen av kalkeffekt vid låga kalkdoser. Våtmarkskalkning var den metod som gav störst ökning av kalkeffekt vid låga kalkdoser. En jämförelse mellan de sex närmaste åren innan provtagningen med ytterligare sex år bakåt i tiden visade också att kalkdosen minskat med i genomsnitt 30 % i våtmarkskalkade målpunkter. Motsvarande notering vid sjökalkning var 20 %. Våtmarkskalkning var således den metod som borde ha mest nytta av tidigare kalkningar. Sannolikt kan även äldre kalklager på våtmarker i större utsträckning lösas upp och bidra med alkalinitet än den kalk som sedimenterar på sjöbottnar. Uppföljning efter avslutad kalkning visar att tillskottet av alkalinitet från kalkade våtmarker fortfarande kan vara stort mer än 6 år efter sista kalkspridningen.



På kalkade våtmarker ses inte sällan stora mängder ouplöst kalk. Denna kan bidra med tillskott av alkalinitet under många år efter att kalkningen upphört eller kalkdosen reducerats. Foto: Johan Ahlström.



Äldre kalkningar påverkar vattenkemin under många år, särskilt vid kalkning av våtmarker. Närmare sex år efter avslutad våtmarkskalkning hösten 2011 uppgick lägsta tillskottet av alkalinitet till 0,11 mekv/l i Rensjöbäcken i Västerbottens län.

Att kalkeffekten fortsatte att sjunka vid en högre kalkdos är förväntat, men minskningen från 10 till 20 g/m³ var blygsam (figur 49). Höga kalkdoser innebär inte sällan att åtgärdsobjekten överutnyttjas eller att mindre lämpliga objekt kalkas. Det förstnämnda leder till ouplösta kalklager på våtmarker och sedimenterad kalk i sjöar. Olämpliga åtgärdsobjekt utgörs exempelvis av sjöar med snabb vattenomsättning och översvämningssområden vid sjöar och vattendrag (mader). I dessa fall blir kalkomsättningen för snabb, vilket leder till ett ojämnt tillskott av alkalinitet.

4.6 Måluppfyllelse

Måluppfyllelse förutsätter att tillskottet av alkalinitet från kalkningen är tillräckligt för att höja okalkad alkalinitet till en nivå där pH-målet inte underskrids. Därmed varierar behovet av att tillföra alkalinitet med variationen i pH_{okalk} . I kalkade vattendrag kan låga pH-värden uppträda som en konsekvens av låg kalkdos, låg kalkeffekt eller lågt pH_{okalk} . Inte sällan sammanfaller de två sistnämnda faktorerna och ofta uppträder de mest kritiska tillfällena i samband med höga flöden eller vid kraftiga flödesökningar.

Bedömningen av vattenkemisk måluppfyllelse förutsätter en trovärdig skattning av lägsta pH. När flödena växer i samband med regn eller snösmältning ökar även vattentransporten i ytliga marklager, vilket medför surare tillrinning och lägre pH. Flertalet kalkade vattendrag skulle även utan kalkning ha pH-värden över 6,0 vid låga flöden. Därför kan prover som insamlas vid sådana tillfällen inte användas för att bedöma måluppfyllelse. Från och med 2014 införde HaV ett specificerat krav för uppfyllt vattenkemiskt mål i riktlinjerna för länsstyrelsernas årliga redovisning av nyckeltal. Kravet stipulerade att måluppfyllelse endast får anges om minst ett högflödesprov finns registrerat under året. Gräns för högflöde definierades som minst 50 % av årets maxflöde. En konsekvens var att andelen målvattendrag med okänd måluppfyllelse ökade från 3 till 12 procent. Samtidigt förbättrades också högflödesprovtagningen i flera län, exempelvis Östergötland, Blekinge och Skåne som bara redovisade ett fåtal vattendrag med okänd måluppfyllelse för 2016.

Att den rapporterade måluppfyllelsen påverkas av kvaliteten på underlagsmaterialet är oundvikligt. Därmed är det också givet att den rapporterade måluppfyllelsen försämrats till följd av en bättre högflödesprovtagning. Den svagt negativa trend som ses sedan 2002 kan vara en effekt av en stegvis bättre provtagning. Hur den faktiska måluppfyllelsen utvecklats är omöjligt att veta. Neddragningen av kalkdosen var betydande från 2000 till 2015 med en särskild intensitet mellan 2003 och 2009. Till viss del var neddragningen motiverad av minskad försurning, men i flera län var den betydligt större. Västerbotten, med den största reduktionen, var också det län där måluppfyllelsen försämrades mest till följd av minskad kalkdos. Även i Jämtland, Västra Götaland och Jönköping var neddragningarna stora i förhållande till graden av återhämtning, vilket resulterade i försämrad måluppfyllelse. Sammantaget torde pH-målet ha underskridits i ett 70-tal målpunkter till följd av alltför omfattande neddragningar. Effekterna av genomförda neddragningar manifesteras förhållandevis långsamt i avrinnande vattenkemi. Sannolikt riskerar ytterligare ett hundratal målpunkter att underskrida pH-målet till följd av redan genomförda minskningar av kalkdosen.

Måluppfyllelsen skattades både med utgångspunkt i KEU och via det underlag som insamlades inom MVU. För KEU avsåg måluppfyllelsen hela undersökningsperioden och för MVU den 12-månadersperiod då målpunkten provtogs. Hela undersökningsperioden omfattade nästan 6 år, vilket borde ge en förhållandevis rättvis bild av den faktiska måluppfyllelsen. För enskilda år kan måluppfyllelse uppnås till följd av avsaknad av kritiska perioder eller på grund av bristfällig provtagning. Över en längre tidsperiod uppträder flera kritiska tillfällen och därmed också fler möjligheter att pricka in dessa med provtagning. Trots detta, och det faktum att flertalet län med tidigare undermålig högflödesprovtagning förbättrat sin insats, var det uppenbart att provtagningsfrekvensen fortfarande skiljde sig väsentligt mellan länen och var allt för låg i flera län. Det antyder att den faktiska måluppfyllelsen på årsbasis mycket väl kan vara lägre än de 64 % av målpunkterna som noterades för hela undersökningsperioden.

Att ta sex vattenprov enligt det schema som användes i MVU ger inte en rättvis bild av den faktiska måluppfyllelsen och det var inte heller syftet med undersökningen. Förutsättningarna att pricka in tillfällena med lågt pH begränsades dels av att provtagningen bara pågick under 12 månader, dels av det angivna provtagningsschemat. I norra Sverige insamlades exempelvis endast ett prov under vårfloden, vilket utgör en närmast ohanterlig begränsning. Generellt kan sägas att KEU ger en mer rättvis bild av den faktiska måluppfyllelsen, medan MVU bättre beskriver skillnaderna mellan länen.

Skillnaden mellan MVU och KEU i fråga om lägsta registrerade pH uppgick till i medeltal 0,16 pH-enheter. Detta var fallet trots att analysen av pH inom MVU gjordes i ett slutet system, medan KEU nyttjade ett öppet. Det öppna systemet ger större avgång av kolsyra och därmed högre pH-värde. Skillnaden på 0,16 pH-enheter kan uppfattas som ringa, men den innebar likväl att skillnaden i måluppfyllelse var 15 procentenheter (79 % för MVU respektive 64 % för KEU). De län som uppvisade störst skillnad avseende lägsta pH var Jämtland, Gävleborg och Östergötland. Generellt var skillnaden större i de nordliga länen än i de sydliga. I Örebro var lägsta pH i medeltal högre i KEU. I Kalmar, Blekinge och Västmanland var skillnaden marginell.

Stora skillnader i lägsta pH visar att provtagningen inom KEU i större utsträckning genomförts vid mer kritiska tillfällen än inom MVU. Förhållandet är förväntat med tanke på att KEU omfattade nästan 6 år och, vid flertalet målpunkter, betydligt fler provtagningstillfällen. En liten skillnad mellan MVU och KEU skulle antyda att den senare varit bristfällig. Analogt antyder en stor skillnad att KEU fungerat bra. Detta gäller emellertid inte Östergötland, där skillnaden snarare berodde på att provtagningen inom MVU var undermålig.

Svårigheten med att uppnå måluppfyllelse ökar med skillnaden mellan okalkat pH och pH-mål. Detta beror dels på att det behövs ett större tillskott av alkalinitet, dels på att alkalinitetstillskott behövs över en längre period i ett surare vattendrag. I ett vattendrag där okalkat pH är strax under pH-målet kan behovet av alkalinitetstillskott vara begränsat till några dagar per år, medan det föreligger ett behov under hela året i vattendrag med lågt pH_{okalk}. Därmed är det också svårare att upptäcka ett eventuellt pH-värde lägre än pH-målet i ett vattendrag med högt pH_{okalk} jämfört med ett med lågt.

Baserat på skillnaden mellan pH-mål och okalkat pH förelåg de sämsta förutsättningarna för måluppfyllelse i Skåne, Halland och Kronoberg. De bästa förutsättningarna fanns i Blekinge, Kalmar och Örebro. I Blekinge och Kalmar skulle sannolikt många målpunkter uppnå målet även om kalkningen upphörde. För Blekinge förutsätter denna slutsats att länsstyrelsens uppgifter om pH_{okalk} är rimliga, vilket framstår som mindre troligt eftersom de beräknade värdena baserat på MVU i flera fall var lägre. För Kalmar lämnades inga uppgifter från länsstyrelsen, vilket innebär att pH_{okalk} enbart baserades på MVU. Därmed är det givet att pH_{okalk} i Kalmar överskattades.

Måluppfyllelsen uppvisade stora skillnader mellan länen. Baserat på KEU underskreds pH-målet i Skåne och Gävleborg vid ungefär 75 % av målpunkterna och i Västmanland vid 60 %.

Motsvarande notering för Kalmar och Blekinge var ungefär 10%. Utfallet där måluppfyllelse baserades på MVU, men inte inkluderade målpunkter utan höglödesprover och målpunkter med lågt eller inget kalkbehov, ger sannolikt en mer rättvis jämförelse mellan länen. Kalmar, Västerbotten och Västra Götaland låg i topp efter dessa justeringar. I Örebro uppfylldes inte pH-målet på någon målpunkt enligt dessa kriterier. Även Blekinge, Skåne och Västmanland uppvisade låg måluppfyllelse.

Ur ett nationellt perspektiv återfinns det största förbättringsbehovet i Värmland. Ungefär 30 % av målpunkterna med bristande måluppfyllelse fanns i Värmland. Enligt KEU uppgick antalet till 110, men mot bakgrunden av den bristfälliga uppföljningen torde den faktiska nivån vara väsentligt högre.

Sjökalkning är den mest tillämpade metoden, särskilt i vattendrag där behovet av pH-höjning är litet eller obefintligt. En jämförelse mellan måluppfyllelsen för respektive metod gav intrycket att sjökalkning medförde en förhållandevis hög måluppfyllelse. Fördelningen i förhållande till erforderlig pH-höjning gav ett annat intryck. När behovet var 0,5 pH-enheter eller mera sjönk måluppfyllelsen betydligt och när det överskred en pH-enhet var måluppfyllelsen ungefär 30 %. I de fall lägsta pH noterades vid höga flöden (>80 % av maxflödet) uppvisade i princip inga sjökalkade målpunkter måluppfyllelse om behovet att höja pH översteg 0,5 pH-enheter. Mot bakgrunden av det begränsade tillskottet av alkalinitet, som orsakades av såväl låg kalkdos som låg kalkeffekt, var utfallet inte oväntat. Sammantaget antyder resultaten att det endast i undantagsfall går att upprätthålla stabil måluppfyllelse i sjökalkade vattendrag där behovet att höja pH överstiger 0,4–0,5 pH-enheter. Undantagsfallen utgörs främst av sjörika system (sjöandel >5 %) i södra Sverige där måluppfyllelse i vissa fall kan uppnås även vid en erforderlig pH-höjning på 0,5–1,0 pH-enheter.

Målpunkter som kalkas med doserare hade likaledes låg måluppfyllelse. Skillnaden i måluppfyllelse mellan KEU och MVU var större vid kalkning med doserare än via sjöar. En orsak är att risken för driftstörningar ökar ju längre period som uppföljningen avser. En annan förklaring är att provfrekvensen i KEU är intensivare i målpunkter som kalkas via doserare än i de som kalkas med andra metoder. Det antyder att skillnaden mellan rapporterad och faktisk måluppfyllelse kan vara större vid kalkning på sjöar och våtmarker än vid doserarkalkning.

Vid doserarkalkning var måluppfyllelsen mycket låg om behovet att höja pH översteg 1,0 pH-enheter. Förklaringen är att en låg nivå på pH_{okalk} medför att kalktillförsel behövs under större del av året och dessutom att pH_{okalk} -nivån varierar. Förutom en flödesberoende reglering behöver därför utdoserad kalkmängd anpassas till variationerna i pH_{okalk} . Teoretiskt kan det ske genom kontinuerlig registrering av pH, men i praktiken finns betydande svårigheter med ett sådant system. I stället nyttjas en relation mellan flöde och pH_{okalk} . Ofta varierar relationen beroende på årstid och om flödena ökar eller minskar. Därmed är det svårt att identifiera en relation mellan kalkdos och flöde som är optimal i alla situationer och såväl kalkdos som start- och stoppnivåer skulle behöva varieras för olika årstider och hydrologiska situationer.

Drygt 80 % av målpunkterna med utebliven måluppfyllelse kalkades med lägre kalkdos än riktvärdena i handboken. Ungefär en tredjedel av dessa uppvisade hög kalkeffekt, vilket antyder att måluppfyllelse sannolikt kan uppnås genom att kalkdosen höjs. I de resterande fallen behöver även valet av åtgärdsobjekt förändras. Detta gäller även för de 13 % där kalkdosen redan är hög, men kalkeffekten alltför låg. Dilemmat med dessa målpunkter är att huvuddelen kalkas via sjöar. Endast i ett fåtal torde måluppfyllelse därmed kunna uppnås genom att kalka ytterligare sjöar eller genom en omfördelning av kalk. De alternativ som kvarstår är nykalkning på våtmarker eller installation av kalkdosere.



För att inte pH-målet ska underskidas vid höga flöden behöver den utdoserade kalkmängden ta hänsyn till både flödesökningen och den sänkning av pH_{okalk} som flödesökningen nästan alltid orsakar. Foto: Ulf Olofsson.

Vid kalkning med doserare medför de nya internetbaserade systemen för styrning och övervakning avsevärt bättre förutsättningar. Det 20-tal anläggningar som fortfarande inte är anslutna bör åtgärdas skyndsamt. Den största utmaningen ligger emellertid i skötsel och felavhjälpning. Oavsett teknisk nivå är det omöjligt att undvika driftstörningar. Det behövs även manuella insatser för att anpassa kalkutmatningen vid tillfällen när flödesmätningen inte är tillförlitlig, exempelvis i samband med isbildning eller vid bäverdämmen. Sammantaget behövs en organisation där vattenprovtagning samt kemisk och teknisk kompetens samverkar. Den tekniska kompetensen med larmmottagning och felavhjälpning behöver även innefatta kvällar och helger.

4.7 Slutsatser

Sammantaget framstod **våtmarkskalkning** som den absolut bästa metoden. Att måluppfyllelsen minskade vid större behov av pH-höjning berodde på att ett antal län nyttjade för låg kalkdos vid låga pH_{okalk} . Kalkeffekten var förhållandevis likartad oavsett län eller geografiskt läge. Det ger intrycket att kvaliteten på spridningsplanerna är jämn och hög. De kalkdoser som anges i handboken framstår som relevanta.

Sjökalkningen utgör ett betydande problem. Sannolikt har många sjökalkade målvattendrag utpekats i efterhand i projekt som ursprungligen avsåg målsjöar, varför kalkningen primärt inte utgick från vattendragens behov. I flera län har sjökalkningen inte kompletterats med andra metoder trots att förekomsten av sjöar är otillräcklig för att nå måluppfyllelse. Inte sällan noterades låga pH-värden och låg kalkeffekt även vid förhållandevis låga flöden. Därmed kommer måluppfyllelsen att sjunka ytterligare vid en intensifierad provtagning som i större utsträckning innefattar kritiska tillfällen vid isläggning och ökande flöden. I vattendrag där behovet att höja pH överstiger 0,5 pH-enheter bör sjökalkning kombineras med kalkning på våtmarker eller via

doserare. Om behovet uppgår till en pH-enhet ger sjökalkning endast i undantagsfall stabil måluppfyllelse. De kalkdoser som anges i handboken är sannolikt relevanta. Begränsningar utgörs främst av att det inte finns tillräckligt med lämpliga åtgärdssjöar för att uppnå nödvändig kalkdos samt av de svackor i kalkeffekten som uppträder vid isläggning och ökande flöden.

Doserarkalkning är den metod som används minst och nyttjandet uppvisar en ojämn geografisk spridning. Över tid var måluppfyllelsen låg, särskilt i vattendrag med lågt pH_{okalk} . Kalkeffekten var låg och ojämn, vilket vittnar om problem med driftsäkerhet och svårigheter att optimera doseringen. Sannolikt finns också felplacerade doserare där flödet vid doseraren är för litet i förhållande till flödet vid målpunkten. Om kalkning med doserare ska vara ett fullgott alternativ till våtmarkskalkning behövs ytterligare förbättring av drift, tillsyn och felavhjälpning. Förmodligen behöver en del doserare flyttas, men sådana bedömningar kan inte göras utifrån underlaget.

Verksamheten i **Västerbotten** framstår som den kvalitetsmässigt bästa. Kalkning på våtmarker dominerar och uppvisade hög måluppfyllelse. De senaste årens neddragning av kalkdosen har i vissa fall varit för stor, vilket sänkt måluppfyllelsen. Den vattenkemiska uppföljningen tillhör de bästa. Kvaliteten i **Västra Götaland** framstår som lika hög, men det behövs en bättre vattenkemisk uppföljning för att verifiera den bedömningen. Såväl våtmarkskalkning som sjökalkning uppvisade hög måluppfyllelse.

Halland bedriver en verksamhet med godkänd kvalitet, men tillskottet av alkalinitet i förhållande till behovet behöver ses över. Dessutom behöver den vattenkemiska uppföljningen förbättras. Doserarkalkningen förefaller vara väl fungerande, medan kalkningen på våtmarker gav lägre måluppfyllelse. I **Jönköping, Kronoberg, Kalmar** och **Jämtland** är kvaliteten också godkänd. Jönköping, Kronoberg och Jämtland behöver dock förbättra måluppfyllelsen. Kalkeffekten är förhållandevis hög, vilket antyder att måluppfyllelsen bör kunna förbättras enbart genom att kalkdosen höjs. Jönköping hade relativt hög måluppfyllelse vid våtmarkskalkning och medelgod nivå vid sjökalkning. Med nuvarande pH-mål hade Kalmar många målpunkter där pH_{okalk} översteg pH-målet och vid en justering av pH-målen enligt kriterierna i handboken skulle ytterligare målpunkter sakna kalkbehov. I Kalmar behöver intensiteten på vattenprovtagningen förbättras, särskilt i samband med ökande flöden. Det skulle även ge ett bättre underlag för att uppskatta pH_{okalk} . Valet av pH-mål 6,0 i stället för 5,6 kan ifrågasättas även i Jämtland. Jämtland hade en mycket bra vattenkemisk uppföljning, hög kalkeffekt och likaledes hög måluppfyllelse vid kalkning med doserare.

Blekinge uppvisade hög måluppfyllelse, men uppgav samtidigt att pH_{okalk} översteg pH-målet i 75 % av målpunkterna. Denna skattning behöver ses över, även om det är möjligt att kalkbehov saknas i ett antal målområden som därför bör avslutas eller läggas vilande. Även anpassningen av alkalinitetstillskott till behov behöver ses över. Tillskottet var för stort vid låga behov, vilket innebar att många målpunkter klassades som överkalkade.

Östergötland, Värmland, Dalarna och **Västernorrland** behöver förbättra måluppfyllelsen avsevärt. Kalkeffekten framstår som förhållandevis låg, vilket antyder ett ganska stort behov av att revidera spridningsplanerna. I många sjökalkade vattendrag behöver kompletterande kalkning på våtmarker eller via doserare övervägas. I Östergötland torde förutsättningarna för våtmarkskalkning vara begränsade till följd av låg våtmarksareal. Däremot nyttjades förhållandevis låg andel sjöyta, vilket antyder att ytterligare sjöar kan kalkas. I Östergötland innebar den svaga provtagningen inom MVU att måluppfyllelse och kalkeffekt överskattades. I

Värmland framstod både kalkning på våtmarker och via doserare som mindre bra. Orsaken till bristande samband mellan alkalinitetstillskott och behov behöver utredas och uppföljningen behöver förbättras. Även i Dalarna saknades samband mellan alkalinitetstillskott och behov, varför samtliga kalkningsmetoder uppvisade förhållandevis svag måluppfyllelse. I Västernorrland var måluppfyllelsen medelgod vid sjökalkning och bra vid kalkning med doserare. Dominansen av sjökalkning innebär att den sammanvägda måluppfyllelsen var måttlig. Utfallet för Västernorrland skulle sannolikt varit bättre om inte en betydande andel av vattendragen hade kalkats med dolomit under 2012 och 2013. Den vattenkemiska uppföljningen tillhörde de bättre.

Skåne, Örebro, Västmanland och Gävleborg bedriver en verksamhet med låg måluppfyllelse. I Skåne, Örebro och Västmanland saknades dessutom högflödesprover från MVU, vilket gör utfallet än mer anmärkningsvärt. I Skåne baseras kalkningen till stor del på kalkdosere där okalkat pH är lågt. Sådana förutsättningar ställer höga krav på placering, teknik, skötsel och felavhjälpning. I Örebro, Västmanland och Gävleborg dominerar sjökalkning med låg effekt. De nyttjade kalkdoserna var alltför låga, men måluppfyllelsen torde endast i begränsad omfattning kunna förbättras genom att höja dosen i befintliga åtgärdsobjekt. En väsentlig förbättring av måluppfyllelsen förutsätter kalkning på våtmarker eller via nya doserare. Skåne, Örebro och Västmanland behöver även öka intensiteten i vattenprovtagningen.

5 Felkällor

Ett antal felkällor påverkar beräkningarna och kan medföra att slutsatserna blir felaktiga och orättvisa. Den viktigaste är den ojämna ambitionsnivån på den regionala uppföljningen. Alla väsentliga parametrar som måluppfyllelse, alkalinitetstillskott och kalkeffekt påverkas av tillgången på mätdata. I princip sjunker nivån med antalet vattenprov från kritiska tillfällen. En viss kompensation uppnås genom att man utesluter målpunkter som saknar prover över en viss flödesnivå, men det är inte tillräckligt. MVU baserades på en gemensam provtagningsstrategi, vilket ger en rättvisare jämförelse mellan länen än KEU. Tre höglödesprover och ingen inriktning mot kritiska tillfällen ger emellertid ett bristfälligt underlag för att exempelvis skatta måluppfyllelse. Dessutom visade utvärderingen att även provtagningen inom MVU varierade betänkligt mellan länen.

Vid beräkningen av alkalinitetstillskott och kalkeffekt finns två felkällor av särskild betydelse. Den ena utgörs av Ca_{ref}/Mg_{ref} , dvs. skattningen av den okalkade kvoten mellan kalcium och magnesium, och den andra av eventuellt tillskott av alkalinitet från magnesium i kalkningsmedlet. Dessa felkällor påverkar även försurningsbedömningen och belyses därför i den utvärdering som specifikt berör denna (Fölster et al 2020). I denna utvärdering har även målpunkter som kalkades med dolomit 2012 och 2013 medtagits, vilket är av osäkert värde. Upplösningen av dolomitmjölet var betydligt lägre än förväntat, vilket sänkte måluppfyllelsen (Ahlström 2015). Med längre tid efter spridningen är det emellertid sannolikt att andelen upplöst dolomitmjöl ökar, vilket medför en ökad magnesiumhalt. Vid beräkning av alkalinitetstillskott och kalkeffekt har detta inte beaktats, vilket leder till en underskattning av dessa parametrar. Dolomitmjölet användes bara vid sjökalkning, främst i Västernorrland men även i Västerbotten, Jämtland och Västmanland. Detta innebär att alkalinitetstillskott och kalkeffekt underskattas för sjökalkade målpunkter i dessa län och sannolikt även generellt för sjökalkade målpunkter i den nordligaste regionen. Absolut störst betydelse har detta för slutsatserna avseende Västernorrland där merparten av målpunkterna påverkades.

Beräkningen av okalkat pH görs med olika modeller med utgångspunkt från buffringsförmåga (ANC) och organiskt kol (TOC). Modellerna ger delvis olika utfall. Det är också viktigt att poängtera att modellberäknade pH-värden endast med reservation bör jämföras med uppmätta. Framför allt vid provtagning under islagda förhållanden kan modellberäknade värden avvika betydligt. Även om modellerna i viss mån tar hänsyn till ett varierande kolsyretryck har de ingen möjlighet att väga in hur proven hanteras på laboratoriet eller kvaliteten på pH-analysen.

Flödesuppgifterna via S-HYPE är ovärderliga för att skatta provflöden, men kan avvika betydligt från de faktiska. Därmed kan prover som insamlats vid kritiska tillfällen felaktigt bedömas som mindre utslagsgivande. I en mindre omfattande utvärdering är det möjligt att jämföra modellerade flöden med uppmätta och beakta eventuella avvikelser. Bästa sättet att kompensera för eventuella felbedömningar är emellertid att insamla prover vid samtliga höglödestillfällen.

6 Erkännande

Utvärderingen baserades på enorma mängder vattenprover både från KEU och MVU. Det absolut största erkännandet lämnas därför till alla idogt arbetande provtagare runt om i landet vars arbete är ovärderligt både för kalkningen som helhet och för denna utvärdering. Stort tack också till de laboratorier som genomfört analyserna, främst Kalklab i Östersund och SLU i Uppsala.

Tack också till de länsstyrelser som bidrog med kompletterande uppgifter avseende bland annat pH-mål, motiv för pH-mål och lägsta uppmätta pH.

Utvärderingen är en del av HaV:s satsning på MVU. Delvis har därför underlag som tagits fram vid Institutionen för vatten och miljö vid SLU för den parallella utvärderingen av försurningsstatusen kunnat nyttjas. Det gällde bland annat de beräkningar av kalciumtillskott, pH_{okalk} , och $\square pH$ som gjordes av Jens Fölster och Karin Wallman. Även analysen av markanvändning genomfördes av SLU.

Kalkdata hämtades från den nationella kalkdatabasen. Dessa uttag samt omräkningen till kalkdoser gjordes av Tobias Haag vid Länsstyrelsen i Jönköping.

Slutligen ett stort tack till Ingemar Abrahamsson, Tobias Haag och Björn Lundmark som lämnat värdefulla synpunkter på manuskriptet och till Susanne Liinanki som gjort alla kartor.

7 Referenser

- Abrahamsson, I. (1993). Impact of overflows on acid-base chemistry in limed lakes. *Vatten* 49:24–33.
- Ahlström, J. (2015). *Försurning och kalkning av sjöar och vattendrag i Västerbottens län – Årsrapport 2014*. Umeå: Länsstyrelsen i Västerbottens län.
- Fiskeristyrelsen & Naturvårdsverket (1981). *Kalkning av sjöar och vattendrag 1977–1981*. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm, nr 4:1981.
- Fölster, J., Wallman, K. & Moldan, F. (2020). *Målvattendragsundersökningen 2010–2016: Bedömning av surhet och försurning i kalkade vattendrag*. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.
- Hasselrot, B. (1984). *Surt vattenflöde genom en isbelagd kalkad sjö i samband med stor vattenföring*. Stockholm: Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning.
- Hasselrot, B., Andersson, I.B., Alenäs, I. & Hultberg, H. (1987). Response of limed lakes to episodic acid events in southwestern Sweden. *Water Air and Soil Pollution* 32:241–362.
- Havs- och vattenmyndigheten (2013). *Kvalitet och kalkbehov inom kalkningsverksamheten*. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.
- Havs- och vattenmyndigheten (2013b). *Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten*. Göteborg: Havs- och Vattenmyndigheten.
- Hruska, J., S. Kohler, H. Laudon & Bishop, K. (2003). Is a Universal Model of Organic Acidity Possible: Comparison of the Acid/Base Properties of Dissolved Organic Carbon in the Boreal and Temperate Zones. *Environmental Science & Technology* 37(9):1726–1730.
- Naturvårdsverket (1988). *Kalkning av sjöar och vattendrag. Allmänna råd 88:3*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket (2002). *Kalkning av sjöar och vattendrag. Handbok 2002:1*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket (2007). *Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Bilaga A till handbok 2007:3*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket (2010). *Handbok för kalkning av sjöar och vattendrag. Handbok 2010:2*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Sobek, S., Algsten, G., Bergström, A.-K., Jansson, M. & Tranvik, L. J. (2003). The catchment and climate regulation of pCO₂ in boreal lakes. *Global Change Biology* 9(4):630–641.
- Kalkningsutredningen (1996). *Kalkning av sjöar och vattendrag: Betänkande av Kalkningsutredningen*. (SOU 1996:53). Stockholm: Miljödepartementet.
- Svahnberg, A. (1996). *Kalkdoserare – en metod att kalka sjöar och vattendrag*. Stockholm: Naturvårdsverket.

Vattenkemiska effekter vid kalkning av rinnande vatten

Baserad på provtagning 2010–2016 inom målvattendragsundersökningen och kalkeffektuppföljningen

I mer än 40 år har kalkning av försurade vattendrag finansierats med statliga medel. Havs- och vattenmyndigheten har ett nationellt ansvar för att verksamheten bedrivs optimalt. I föreliggande utvärdering redovisar HaV hur kalkningen av vattendrag förmår uppfylla uppställda mål för vattenkvalitet samt orsaker till utebliven måloppfyllelse. HaV lämnar även synpunkter på hur kvaliteten i verksamheten kan förbättras.

Vi arbetar för levande hav och vatten

Havs- och vattenmyndigheten, HaV, är en statlig miljömyndighet. Vi arbetar för att lösa viktiga miljöproblem och skapa en hållbar förvaltning av hav, sjöar och vattendrag.

Vi tar ansvar för att hav och sötvatten nyttjas men inte överutnyttjas. Vi utgår från ekosystemens och människans behov nu och i framtiden. Detta gör vi genom att samla kunskap, planera och fatta beslut om insatser för en bättre miljö. För att nå framgång samverkar och förankrar vi vårt arbete med alla berörda, nationellt såväl som internationellt.

**Havs
och Vatten
myndigheten**