



Högfrekventa mätningar av hypoxi i svenska vattendrag

Johanna Korsgren

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
NJ-fakulteten/Institutionen för vatten och miljö
Biologi och miljövetenskap
Uppsala 2026



Högfrekventa mätningar av hypoxi i svenska vattendrag

High-frequency monitoring of hypoxia in Swedish streams

Johanna Korsgren

Handledare:	Jens Fölster, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för vatten och miljö
Bitr. handledare:	Emma Elmi Lannergård, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för vatten och miljö
Examinator:	Marcus Wallin, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för vatten och miljö
Omfattning:	15 hp
Nivå och fördjupning:	Grundnivå, G2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i Miljövetenskap
Kurskod:	EX0896
Program/utbildning:	Biologi och miljövetenskap - kandidatprogram
Kursansvarig inst.:	Institutionen för vatten och miljö
Utgivningsort:	Uppsala
Utgivningsår:	2026
Omslagsbild:	Vy från Flottsundsbron, Uppsala. Foto: Johanna Korsgren
Upphovsrätt:	Med kartdata från OpenStreetMap under öppen licens, övriga bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Nyckelord:	Hypoxi, löst syrgas, vattendrag, högfrekventa mätningar, in situ provtagning

Sveriges lantbruksuniversitet
NJ-fakulteten
Institutionen för vatten och miljö

Sammanfattning

Hypoxi är ett växande problem i både marin miljö och sötvatten. Syrehalten i vattendrag påverkas av biotiska och abiotiska faktorer som fotosyntetisk aktivitet, respiration, temperatur och tryck. Hypoxi i vattendrag tenderar att variera starkt med årstid och tid på dygnet och upptäcks därför sällan utan högfrekventa mätningar. Syftet med denna uppsats var att med hjälp av högfrekventa mätningar från åtta sydsvenska vattendrag undersöka hypoxiska perioders förekomst och omfattning, att diskutera möjliga ekologiska konsekvenser och eventuella orsaker. Mätningarna gjordes var 15:e minut med optiska sensorer på sönerna InSitu AquaTROLL 600 och YSI EXO2 under provtagningstider på cirka fyra månader till åtta år. Även temperaturdata från sönerna noterades. En hypoxisk gräns på DO (löst syrgas) <3 mg/L samt DO <5 mg/L undersöktes. Resultatet visade att hypoxi och DO <5 mg/L förekom i alla undersökta vattendrag men i olika omfattning. Totalt uppmättes DO <3 mg/L i 4,1% av alla mätningar och DO <5 mg/L uppmättes i 10,1% av mätningarna. Låga syrenivåer var främst ett sommarfenomen. Den genomsnittliga tiden som hypoxi varade varierade mellan 0,1–8,7 h och maxvärdet för ett hypoxiskt event varierade mellan 0,5 h–18 dygn. Den genomsnittliga tiden som vattendragen hade en syrenivå under 5 mg/L varierade mellan 0,1–22,6 h och maxvärdet varierade mellan 0,5 h–34 dygn. En större andel av dygnen var delvis hypoxiska än konstant hypoxiska för varje lokal. Spearmans rangkorrelation visade inga signifikanta resultat när andel hypoxisk tid jämfördes med avrinningsområdets storlek, andel jordbruksmark i avrinningsområdet eller lutning vid provtagningsplatsen. Vetenskaplig litteratur visar att syrenivåer under de undersökta riskerar att få negativa konsekvenser för flera olika artgrupper av akvatiska organismer, däribland salmonider och EPT-taxa. Även kortare perioder av hypoxi riskerar att inducera stress eller direkt dödlighet för vissa organismer, varför högfrekventa mätningar är viktiga för att förstå ekologiska konsekvenser.

Nyckelord: Hypoxi, löst syrgas, vattendrag, högfrekventa mätningar, in situ provtagning

Abstract

Hypoxia is a growing problem in both marine and freshwater ecosystems. The amount of oxygen in streams is affected by biotic and abiotic factors such as photosynthetic activity, respiration, temperature and pressure. Hypoxia in streams tends to have strong seasonal and diurnal cycles and is therefore rarely detected without high-frequency monitoring. The aim of this paper was to use high-frequency measurements from eight southern Swedish streams to investigate the occurrence and extent of hypoxic events, to discuss possible ecological consequences and causes. Measurements were made every 15 minutes with optical sensors on the probes InSitu AquaTROLL 600 and YSI EXO2 during sampling periods of approximately four months to eight years. Temperature data from the probes were also recorded. A hypoxic limit of DO (dissolved oxygen) <3 mg/L and DO <5 mg/L were investigated. The results showed that hypoxia and DO <5 mg/L occurred in all surveyed streams but to different extents. In total, DO <3 mg/L was measured in 4.1% of all measurements and DO <5 mg/L was measured in 10.1% of measurements. Low oxygen levels were mainly a summer phenomenon. The average duration of hypoxia ranged from 0.1 to 8.7 h and the maximum value for a hypoxic event ranged from 0.5 h to 18 days. The average duration of oxygen levels below 5 mg/L ranged from 0.1 to 22.6 h and the maximum value ranged from 0.5 h to 34 days. In each site more days were partially hypoxic than constantly hypoxic. Spearman's rank correlation showed no significant results when the percentage of hypoxic time

was compared with the size of the catchment area, the proportion of agricultural land in the catchment area or the slope at the sampling sites. Scientific literature shows that oxygen levels below those investigated in this report risk having negative consequences for several different groups of aquatic organisms, including salmonids and EPT taxa. Even shorter periods of hypoxia risk inducing stress or direct mortality for some organisms, which is why high-frequency measurements are important for understanding ecological consequences.

Keywords: Hypoxia, dissolved oxygen, streams, high-frequency monitoring, in situ monitoring

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	6
Figurförteckning	7
Begrepp & förkortningar	8
1. Inledning	9
1.1 Bakgrund och syfte.....	9
1.2 Syreförhållanden i vatten.....	9
1.3 Akvatiska organismer och hypoxi	11
2. Material och metod	14
2.1 Områdesbeskrivning.....	14
2.2 Provtagning	15
2.3 Dataanalys.....	15
3. Resultat	17
4. Diskussion	21
5. Tack	25
Referenser	26
Bilaga 1	30

Tabellförteckning

Tabell 1. Provtagningslokaler med läges- och provtagningsinformation.	15
Tabell 2. Sammanfattning av hypoxiska event, DO <3 mg/L.....	19
Tabell 3. Sammanfattning av event DO <5 mg/L.....	19
Tabell 4. Klassificering av hypoxiska dagar.....	20
Tabell 5. Total andel hypoxisk tid.	20
Tabell 6. Spearmans rangkorrelation med total andel hypoxisk tid (DO <3 mg/L).	20

Figurförteckning

Figur 1. Karta över provtagningsplatserna.....	14
Figur 2. Tidsserie DO och temperatur Flottsund, Sävjaån, Kilaån och Hågaån.	17
Figur 3. Tidsserie DO och temperatur Lärjeån, Skivarpsån, Fallbäcken och Ullbrobäcken.	18

Begrepp & förkortningar

Anadrom	Fiskar som lever i saltvatten men förökar sig i sötvatten
Anoxisk	Syrefria förhållanden
DO	Löst syrgas, från engelskans <i>dissolved oxygen</i>
Hypoxisk	Syrefattiga förhållanden, ett relativt begrepp med olika absoluta definitioner
In situ	Latin för <i>på plats</i> , i detta sammanhang: mätning direkt i den undersökta miljön
Lotisk	System av rinnande vatten som bäckar, åar och älvar
Oxisk	Adekvata syreförhållanden

1. Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

I Sverige finns det mer än 362 000 kartlagda vattendrag som sammanlagt sträcker sig över 52 600 mil (SMHI u.å.). Ett av riksdagens 16 miljökvalitetsmål, i linje med EU:s ramdirektiv för vatten (Vattendirektivet) (2000/60/EG), är ”Levande sjöar och vattendrag” och går ut på att landets ytvattenförekomster ska ha god ekologisk status, variationsrikedom, biologisk mångfald, kulturmiljö- och rekreationsvärden (Sveriges miljömål 2026). En av preciseringarna för detta mål är att sjöar och vattendrag ska ha minst god ekologisk och kemisk status (Sveriges miljömål 2018). I dagsläget når endast 34% av vattendrag god eller hög ekologisk status och inga kartlagda sjöar eller vattendrag uppnår god kemisk status. En inte alltid beaktad fysikalisk-kemisk kvalitetsfaktor vid bedömning av ett vattendrags status, men en grundläggande förutsättning för de flesta organismers överlevnad, är syrgashalt.

Syftet med denna uppsats är att undersöka syrefattiga (hypoxiska) perioder i svenska vattendrag: deras förekomst och omfattning, samt att diskutera möjliga ekologiska konsekvenser och eventuella orsaker till detta fenomen. För att åstadkomma detta kommer högfrekventa sensordata användas och jämföras med en hypoxigräns på 3 mg/L samt med en ekologiskt betydelsefull nivå på 5 mg/L.

1.2 Syreförhållanden i vatten

Syrgas i vatten kommer både från gasutbyte med atmosfären och från fotosyntetisk aktivitet av fytoplankton, alger och makrofyter (Best et al. 2007; Sø et al. 2022). Syrets löslighet är direkt beroende av tryck, temperatur och salthalt: lösligheten sjunker när temperatur och salthalt ökar eller trycket minskar. Samtidigt som syre kan produceras i vatten konsumeras det också av naturliga, biologiska processer som respiration och nitrifikation. Samma fotoautotrofer som är en källa till syre på dagen respirerar också för sin egen metabolism och förbrukar således syre på nätterna när de inte har tillgång till ljus. Även när de dör och bryts ned av andra mikroorganismer förbrukas syrgas i vattnet. På samma sätt kan mänskligt orsakade utsläpp av organiskt material och näringsämnen öka efterfrågan på, och förbrukningen av, syre i akvatiska miljöer.

I den vetenskapliga litteraturen benämns löst syrgas som DO (eng. dissolved oxygen) och kan mätas både som en mättnadsgrad relativ till aktuell temperatur eller i absoluta termer som ett partialtryck eller koncentration. Eftersom svensk och europeisk miljöförvaltning oftast använder måttet mg DO/L är det vad som kommer att användas härnäst. Vid 0° C och 1,0 atm är sötvatten mättat på

syrgas vid 14,62 mg/L (Xylem, Inc. 2019a). I vissa fall kan vatten bli övermättat på syre och uppnå högre värden än detta, främst som ett resultat av fotosyntetisk aktivitet eller vid snabba temperaturförändringar (Xylem, Inc. 2019b). Vanligare är dock att löst syrgas inte är mättat. Syrgasnivåerna kan bli så låga att vattenlevande organismer påverkas negativt, vilket kallas hypoxi. Det finns inte en enskild definition av hypoxi och forskare och beslutsfattare har satt olika gränser beroende på vattentyp och ekologiska intressen. Diamond et al. (2023) använde ett gränsvärde på 3 mg/L utifrån uppmätta gränsvärden för mortalitet på indikatorarten *Gammarus fossarum* i europeiska vattendrag, men skadliga effekter kan uppstå även ovanför denna gräns.

Naturliga variationer i temperatur, fotosyntes och respiration gör att syrgashalt ofta har tydliga säsons- och dygnsberoende cykler (Bernhardt et al. 2018; Xu et al. 2022). Men även faktorer som intilliggande vegetation kan medföra betydande beskuggning och därmed minska primärproduktion och syrgas från fotosyntes beroende på vattendragets morfologi och omgivning. Även tidpunkter av höga flöden, torka och utsläpp kan få drastiska effekter på syrgashalten i vattendrag (Diamond et al. 2023). Tidpunkt och frekvens för provtagning av syrenivåer kan därför få stor inverkan på hur man tolkar vattendragets status (Skeffington, Halliday, Wade, Bowes & Loewenthal 2015).

På senare tid har man sett oroväckande trender av sjunkande syrehalter, främst i marina och kustnära miljöer, som en effekt av klimatförändringar och annan mänsklig påverkan (Rabalais et al. 2010; Breitburg et al. 2018; Kim, Jang, Choong & Han 2026). Globalt antas detta främst bero på ökande temperaturer vilket direkt minskar syrgasens löslighet, ökar respirationstakt och minskar inblandningen av nytt atmosfäriskt syre genom att förstärka stratifiering och försvaga cirkulationen av havsvatten. I Sverige är Östersjöns ”döda botten” ett allmänt känt fenomen, där stora algbloomningar orsakade av övergödning är en bidragande faktor till att syrefattiga och syrefria områden ökat i area och volym sedan 1960-talet (Hansson & Viktorsson 2024). Även i sötvatten finns anledningar till oro. En studie av Jenny et al. (2018) undersökte sediment i 365 olika sjöar på sex kontinenter för att se huruvida hypoxi förekom naturligt eller vara orsakat av mänsklig påverkan. Studien visade att 20% av de undersökta sjöarna hade skiftat från oxiska till hypoxiska förhållanden sedan mitten av 1900-talet. Dessa sjöar var mer utsatta för antropogen påverkan än de naturligt syrefattiga sjöarna, med högre mänsklig populationsdensitet och större utsläpp av näringsämnen, främst fosfor.

Vattendrag skiljer sig dock från hav och sjöar i och med att vattnet är i ständig rörelse. Detta gör att vi inte kan anta att det är samma mekanismer och trender som gäller för vattendrag, då de ofta är de stratifierade och stagnanta

egenskaperna hos andra vattentyper som har stor påverkan på syreförhållandena. Det akademiska intresset för syre i vattendrag och mätningen av detta har dock ökat de senaste åren (Rode et al. 2016) och hypoxi i vattendrag har demonstrerats i flertalet studier (de Carvalho Aguiar, Neto & Rangel 2011; Diamond et al. 2023; Xu et al. 2022). Diamond et al. (2023) använde högfrekventa in situ mätningar för att undersöka löst syrgas i franska vattendrag. Under de 20 månader som studien pågick detekterades hypoxi ($DO < 3 \text{ mg/L}$) 4% av tiden i 51 av de 78 testplatserna. Genomsnittligen varade de hypoxiska perioderna i 10 h, men det fanns en mycket stor variation på 1–210 h per event. De såg att hydrologiska extremevent, som torka, stormar och flödesåterkomst efter torka, ofta föregick syrefattiga perioder. I övrigt hade temperatur och flöde starkast prediktiva värden för att förutse halt löst syrgas och mest utsatta för hypoxi var små vattendrag med liten lutning. Författarna föreslår att hypoxi troligtvis är vanligt förekommande i tempererade vattendrag men sällan detekteras. Xu et al. (2022) undersökte syrehalt i vattendrag i Pärlflodens avrinningsområde i Kina med hjälp av högfrekventa mätningar. Stora variationer i halten löst syrgas och tydliga säsongsvariationer observerades i flodnätverket. De identifierade också tre olika övergångstyper för hypoxiska ($DO < 2 \text{ mg/L}$) event: typ I ”swing” vilket innebar att DO fluktuerade mellan olika nivåer i perioder av dagar till månader, typ II ”abrupt” vilket innebar att DO kraftigt höjdes eller sänktes, ibland så mycket som från 5,75 till 1,42 mg/L på en enda dag och typ III ”mixed swing and abrupt” som hade karaktärer av båda de andra övergångsfenomenen.

1.3 Akvatiska organismer och hypoxi

Organismer som lever i och använder vatten som medium för sin andning måste hantera mer variabla nivåer av syre än luftlevande organismer och en rad olika andningsorgan och biologiska anpassningar för detta har utvecklats (Burggen & Roberts 1991). Exempelvis kan vattenlevande varelser ta upp syre genom direkt diffusion med omgivningen, via gälar, trakégälar eller hoppresbara- och icke-hoppresbara gasgälar. Även de evertebrater som har andra, mer specialiserade andningsorgan kan göra betydande delar av sitt gasutbyte genom huden, ofta 20–50%. Vid låga halter löst syrgas kan alternativa respirationsstrategier utgöra en större del av gasutbytet, medan direkt diffusion vid mättade förhållanden för vissa arter kan stå för majoriteten av syrgaskonsumtionen. De olika typerna av gälar som akvatiska djur utvecklat bygger på att nytt syre ständigt kommer i kontakt med gälarna och detta möjliggörs genom att djuret rör sig genom vattnet, använder någon form av pumpmekanism eller ventilerar gälorganet med andra kroppsdelar.

Hypoxi får flera fysiologiska och beteendemässiga effekter på vattenlevande organismer (Burggen & Roberts 1991). Vid minskad syrehalt ökar volymen som

ventileras över gälarna och slagvolymen som hjärtat pumpar hos fiskar, vid svår hypoxi kan även pulsen minska. Effektiviteten av syreupptag minskar vid hypoxi och leder ofta, paradoxalt nog, till större syrekonsumtion hos fisken eftersom mer energi behövs för ökad ventilering. Alla studerade fiskarter och livsstadier har visat sig undvika syrefattiga vatten när de har chansen och i stället röra sig mot mer syrerika områden (Burggen & Roberts 1991; U.S Environmental Protection Agency 2003; Dempster, Oppedal, Fosse & Oldham 2017). Hypoxi kan dock påverka fiskars simförmåga negativt och reducera deras topphastigheter, men en viss acklimatisering till lägre syrenivåer har visat sig kunna begränsa dessa negativa effekter (Ali, Anushka & Mishra 2022). Även födointag minskar med minskande syrenivåer, vilket påverkar tillväxt hos fisken negativt. Mest känsliga för låga syrenivåer är fiskar i larvstadiet. Vid syrefria förhållanden överlever nykläckta gäddyngel en timme, medan frisimmande yngel endast överlever ett par minuter. Låga syrenivåer är en av flera stressfaktorer som kan öka känslighet för sjukdomar. Det förändrar också fiskars fysiologiska förutsättningar för reproduktion, endokrina system och parningsbeteenden, med försämrad reproduktionsframgång som resultat (Wu, Zhou, Randall, Woo & Lam 2003; Ali, Anushka & Mishra 2022).

Vilken syrenivå som är optimal beror på art, livsstadium, individuella förutsättningar och miljöfaktorer. Nivåer under 3 mg/L anses generellt vara för låga för sötvattensfisk medan DO på 3–5 mg/L ofta är tolererbara men innebär stress (Ali, Anushka & Mishra 2022). En metaanalys av Saari, Wang och Brooks (2018) om hypoxiska effekter på sötvattensarter visade att evertebrater generellt hade högre tröskelvärden för mortalitet än fisk – evertebraterna var känsligare för låga syrenivåer. Känsligast var grupperna *Ephemeroptera*, *Plecoptera* och *Trichoptera* (EPT-taxa). Dock påverkades fiskars tillväxt vid högre nivåer: varmvattenfiskar var negativt påverkade vid 5,2 mg DO/L och kallvattenfiskar vid 5,0 mg DO/L. De fann att LC50, koncentrationen där 50% av individerna i en population dör, för alla evertebrater och fiskar hade ett medianvärde på DO = 1,82 mg/L. Ökad exponeringstid till låga syrenivåer ökade också organismernas känslighet. Enligt svenska riktlinjer uppnås god ekologisk status för varmvattenfiskar vid DO \geq 5 mg/L och för vatten med huvudsakligen salmonider vid DO \geq 7 mg/L (HVMFS 2019:25). Även U.S Environmental Protection Agency (USEPA) (2003) rekommenderade ett månatligt genomsnitt på minst 5 mg/L i den övre vattenkolumnen för restaurering av habitat i Chesapeake Bay, ett stort estuarium i USA som mynnar ut i Atlanten. Denna gräns ansågs försäkra tillräckligt god tillväxt för larver och juvenila fiskar.

Exempel på artgrupper som lever i svenska jordbruksvattendrag (Goedkoop & Kahlert 2009) som skulle kunna påverkas av låga syrgasnivåer är *Ephemeroptera* (dagsländor), *Plecoptera* (bäcksländor), *Trichoptera* (nattsländor) (Chang,

Lawrence, Rios-Touma & Resh 2014) samt *Gammarus pulex* (sötvattenmärsla) (Spicer, Dando & Maltby 2002). En inventering gjord i 8 sydsvenska vattendrag i jordbrukslandskap visade att sötvattenmärslan dominerade bottenfaunan på flertalet platsen då den utgjorde 41% av individantalet (Goedkoop & Kahlert 2009). I inventeringen identifierades 23–35 olika taxa av bottenfauna och artrikedomen var högre än väntat (samtliga identifierade taxa i Bilaga 1).

Goedkoop och Kahlert (2009) identifierade också syrekrävande fiskar i de undersökta jordbruksvattendragen: salmoniderna *Salmo trutta* (öring) och *Salmo salar* (lax) (HVMFS 2019:25). De fann att den ekologiska statusen med avseende på fiskpopulationen enbart var god i en av de undersökta lokalerna och att majoriteten hade dålig ekologisk status. Enligt Lektidsportalen (Havs- och vattenmyndigheten 2024) är perioden april-juli den känsligaste för fiskar levande i vattendrag i Uppsala-, Södermanlands-, Västra Götalands- och Skåne län, med det högsta känslighetsindexet i maj-juni. Känslighetsindexet tar bland annat lekperiod, lekvandring, larvperiod och artspecifik hotstatus i beaktande.

Vid kroniskt och artspecifikt låga syrenivåer dör till slut en organism. Men hur periodvis hypoxi påverkar olika arter är inte lika enkelt att generalisera eller lika väldokumenterat. USEPA (2003) hade som kriterium för Chesapeake Bay att syre aldrig skulle understiga 1 mg/L samt att nivåer mellan 1–3 mg/L ej borde förekomma mer än tolv timmar i sträck med mer än 48 timmars intervall mellan episoder för att försäkra överlevnad, tillväxt och reproduktion av anadroma-, brackvatten-, och marina arter av fisk och evertebrater. Diamond et al. (2023) tittade på effekterna av olika syrenivåer på modellorganismen *Gammarus fossarum*, en typ av märkräffa mycket vanlig i europeiska vattendrag, i laboratorium. Den valdes som indikatorart för lotiska ekosystem då den både är en viktig nedbrytare och födokälla för sekundära konsumenter. Mortaliteten för *G. fossarum* hade en tydlig gräns vid DO <3 mg/L och varierade för vilken typ av hypoxiskt event de modellerade. När syrenivån snabbt sjönk under 3 mg/L och var ihållande dog 95% av populationen inom två dagar i deras försök. När syrenivåerna i stället fluktuerade runt 3 mg/L över dygnet påverkade det också populationen, fastän det tog längre tid. För individantalet att minska lika mycket som vid ett ihållande hypoxiskt event vid fluktuerande förhållanden tog det som minst tre dagar men upp till nära tio dagar för vissa modellerade event. Både syrenivå och tidsram spelar alltså roll för akvatiskt liv och det är tydligt att mer än enstaka stickprov krävs för att fånga ekologiskt relevanta episoder. Målet med denna studie är således att med högfrekventa mätningar ta reda hur syrenivåerna varierar i svenska vattendrag.

2. Material och metod

2.1 Områdesbeskrivning

Studien är baserad på data som samlats in av institutionen för vatten och miljö vid SLU inom ramen för olika projekt. Data inkluderar från fyra månader till dryga åtta år långa tidsserier av mätningar från åtta svenska vattendrag, se Figur 1 och Tabell 1. Fem av de åtta provtagningsplatserna är lokaliserade i Uppland med Hågaån, Sävjaån och Flottsund (Fyrisåns utlopp) i närheten av Uppsala, samt med Ullbrobäcken utanför Enköping och Fallbäcken i Heby kommun. Utöver dessa platser är Kilaån i Nyköping, Lärjeån utanför Göteborg och Skivarpsån i Skurups kommun med i undersökningen. Flera av provtagningsplatser har varit del av projekt som undersökt påverkan på vattendrag i jordbrukslandskap och andelen jordbruksmark i respektive vattendrags avrinningsområde finns angivet i Tabell 1. Lutningen är beräknad utifrån punkter 50 m uppströms och nedströms från sonden.



Figur 1. Karta över provtagningsplatserna.
Kartdata: ©OpenStreetMap

Tabell 1. Provtagningslokaler med läges- och provtagningsinformation.

Provtagningslokal	Mätperiod	Sond	Avrinningsområde (km ²)	Åkermark (%)	Lutning (°)
Flottsund	17-12-20– 26-01-25	YSI EXO2	1969	23	2,5
Sävjaån	21-12-17– 26-01-26	In-Situ Aqua TROLL 600	736	22	3,1
Kilaån	18-06-12– 26-01-26	In-Situ Aqua TROLL 600	417	14	4,3
Hågaån	17-11-03– 26-01-26	In-Situ Aqua TROLL 600	119	22	3,3
Lärjeån	21-11-02– 26-01-26	In-Situ Aqua TROLL 600	104	13	6,7
Skivarpsån	18-05-04– 24-08-11/ 24-09-16– 26-01-26	YSI EXO2/ In- Situ Aqua TROLL 600	98	73	3,4
Fallbäcken	25-09-13– 26-01-26	In-Situ Aqua TROLL 600	56	9	3,0
Ullbrobäcken	24-12-20– 26-01-26	In-Situ Aqua TROLL 600	69	51	1,8

2.2 Provtagning

Mätningarna har gjorts med hjälp av sonderna In-Situ Aqua TROLL 600 och YSI EXO2. I Skivarpsån placerades ursprungligen en YSI EXO2 som sedan byttes till en In-Situ Aqua TROLL 600 efter en del av mätperioden enligt Tabell 1.

Sonderna består av sensorer som mäter olika parametrar av vattenkvalitet, någon form av energiförsörjning samt en telemetrienheter som skickar data via telenätet till en server (Fölster, Lannergård, Valley & Olshammar 2019). För löst syrgas används optiska sensorer som genom luminiscens mäter halten syre. Ett särskilt färgämne används och avklingningshastigheten för lumincensen beror på mängden syrgas i vattnet, vilket mäts av sensorn. Även temperaturmätningar från sonderna har inkluderats som stödparameter i denna undersökning. Mätningar har gjorts var 15:e minut, förutom när sonderna tagits upp ur vattnet för kalibrering, rengöring eller annan service.

2.3 Dataanalys

Data rensades på värden som flaggats som osannolika för att de avvek mer än tre standardavvikelser från dygnsmedelvärdet, låg utanför ett rimligt intervall på 0–15 mg/L eller hade uppmätts när sonden var ur funktion innan vidare analyser. Därefter har analyser och beräkningar gjorts i R Studio med programmeringshjälp av Claude AI. Ett hypoxiskt event definierades som DO <3 mg/L (Diamond et al. 2023), men även en högre nivå på DO <5 mg/L undersöktes utifrån vetenskapligt

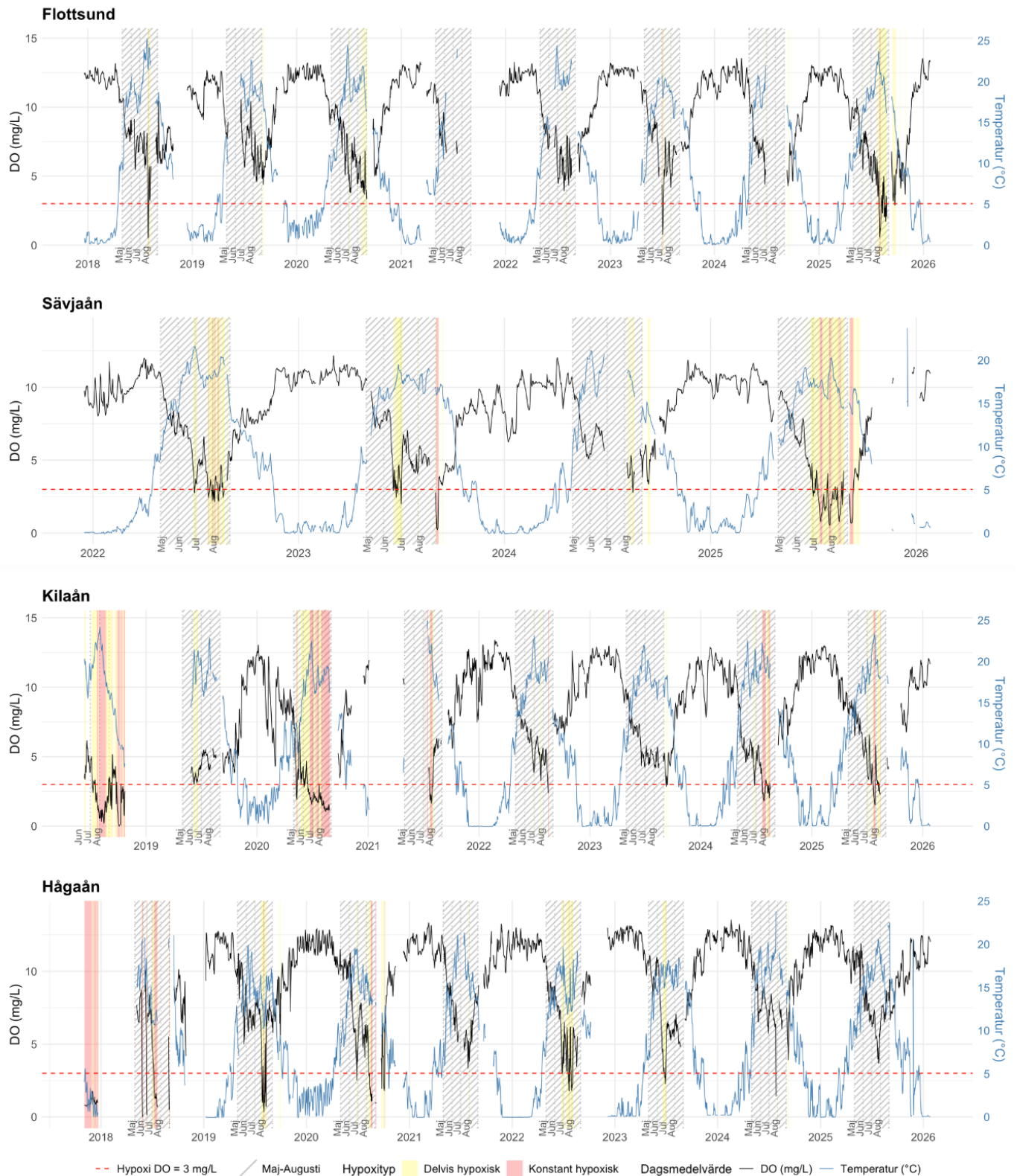
belagda skadliga effekter på akvatiskt liv (HVMFS 2019:25; U.S Environmental Protection Agency 2003; Ali, Anushka & Mishra 2022).

Deskriptiv statistik för antal event under 3 respektive 5 mg/L, genomsnittlig- och maximal varaktighet beräknades utifrån hela dataunderlaget. Om det var mer än en timmes uppehåll mellan datapunkter räknades dessa som separata event. Total hypoxisk tid som andel av alla mätningar beräknades för varje lokal samt som summa för alla lokaler. Medel-, max- och minimumvärden på DO för varje dag beräknades och varje mätdag klassificerades därefter som ”konstant hypoxisk” om max DO <3 mg/L, ”delvis hypoxisk” om min DO <3 mg/L och max DO \geq 3 mg/L eller ”oxisk” om min DO >3 mg/L. Den procentuella andelen av de olika klasserna beräknades utifrån totalt antal dagar för varje lokal. Delvis- och konstant hypoxiska dagar summerades därefter för att ge ett mått på totalt antal dagar då den hypoxiska gränsen understigits under någon del av dygnet.

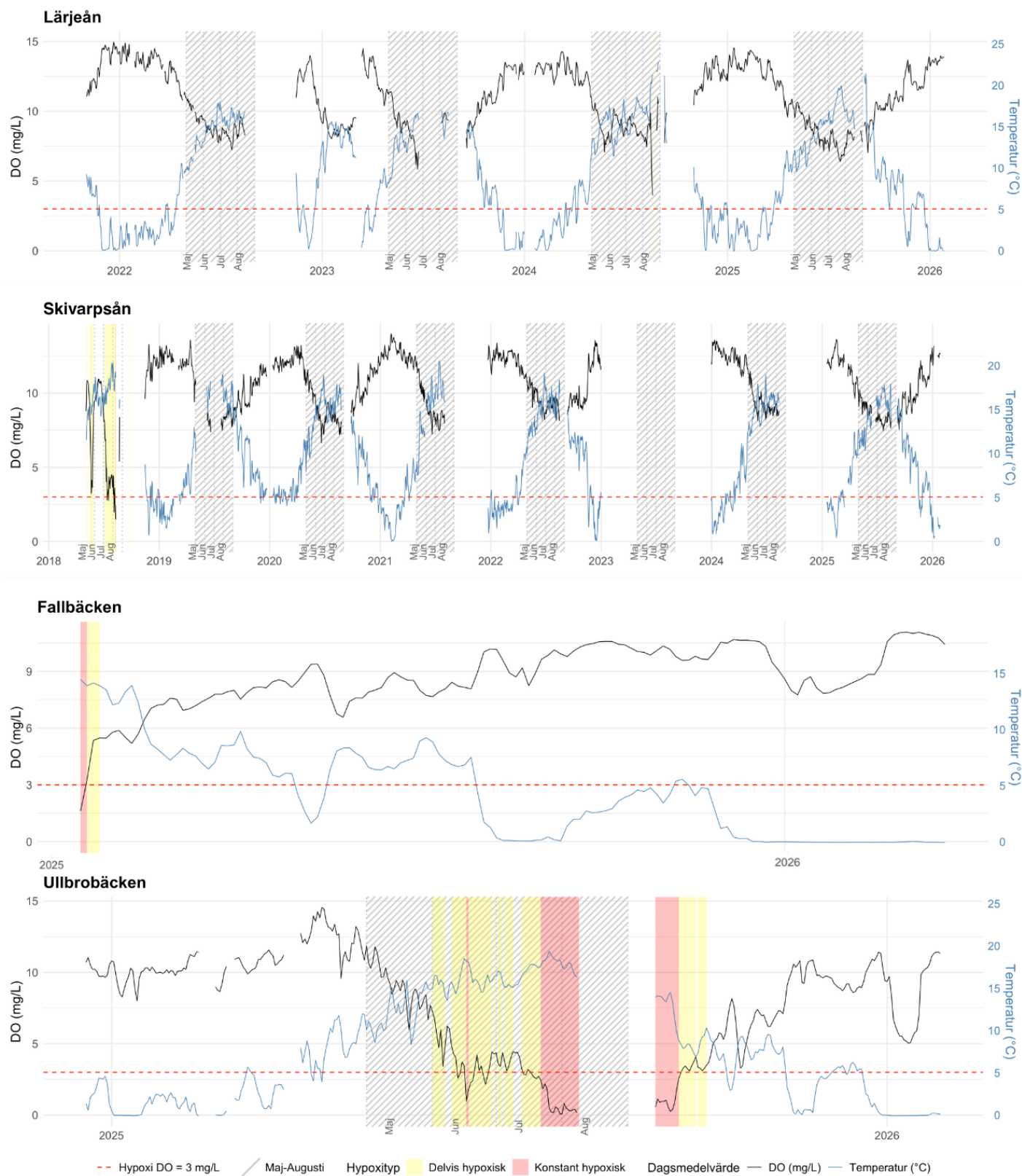
Spearman's rangkorrelation testades för att undersöka eventuella samband mellan variablerna avrinningsområdets storlek, andel åkermark och lutningen jämfört med total andel hypoxisk tid (DO <3 mg/L). Detta statistiska test valdes på grund av det lilla antalet datapunkter (n=8) och då det inte gick att anta normalfördelning.

3. Resultat

Syrehaltens variation över tid för respektive vattendrag syns i Figur 2 och Figur 3 (observera att det är olika långa tidsskalor för varje lokal). Majoriteten av både delvis- och konstant hypoxiska perioder faller inom månaderna maj–augusti, med enskilda undantag.



Figur 2. Tidsserie av DO och vattentemperatur Flottsund, Sävjaån, Kilaån och Hågaån.



Figur 3. Tidserie av DO och vattentemperatur Lärjeån, Skivarpsån, Fallbäcken och Ullbrobäcken.

Hypoxiska mätvärden uppmättes i alla vattendrag, dock med stor skillnad i omfattning och frekvens, se **Fel! Hittar inte referenskälla..** Den genomsnittliga tiden som hypoxi varade varierade mellan 0,1–8,7 h och maxvärdet för ett hypoxiskt event varierade mellan 0,5–424,5 h. Vattendraget med längsta, kontinuerligt hypoxiska period var Ullbrobäcken där hypoxi varade mer än 17 dygn i sträck.

Tabell 2. Sammanfattning av hypoxiska event, DO <3 mg/L.

Plats	Antal hypoxiska event, DO <3 mg/L	Medelvärde (h)	Maxvärde (h)	Maxvärde (dygn)	Datum första och sista event (årsberoende)	
Flottsund	263	2,3	63,8	2,7	03-Jun	29-Okt
Sävjaån	389	4,4	165,8	6,9	18-Jun	21-Sep
Kilaån	629	7,7	257	10,7	09-Maj	23-Okt
Hågaån	401	6,7	319,8	13,3	26-Maj	21-Dec
Lärjeån	2	0,4	0,8	0	19-Aug	19-Aug
Skivarpsån	487	0,1	0,5	0	04-Maj	27-Sep
Fallbäcken	4	5,9	17,5	0,7	13-Sep	15-Sep
Ullbrobäcken	128	8,7	424,5	17,7	01-Jun	07-Okt

Det var fler och längre perioder i alla vattendrag som understeg 5 mg/L, se Tabell 3. Den genomsnittliga tiden som vattendragen hade en syrenivå under 5 mg/L varierade mellan 0,1–22,6 h. Maxvärdet låg mellan 0,5–811,8 h. Vattendraget med längst kontinuerlig tid under 5 mg/L var Kilaån med över 35 dygn i sträck.

Tabell 3. Sammanfattning av event DO <5 mg/L.

Plats	Antal event, DO <5 mg/L	Medelvärde (h)	Maxvärde (h)	Maxvärde (dygn)	Datum första och sista event (årsberoende)	
Flottsund	1297	2,5	210,5	8,8	25-Maj	31-Okt
Sävjaån	498	10,7	811,8	33,8	26-Maj	05-Okt
Kilaån	701	17,1	860	35,8	28-Feb	02-Nov
Hågaån	524	9	319,8	13,3	13-Maj	21-Dec
Lärjeån	2	22,6	41,8	1,7	22-Jun	19-Aug
Skivarpsån	763	0,1	0,5	0	04-Maj	27-Sep
Fallbäcken	8	6,5	29	1,2	13-Sep	22-Sep
Ullbrobäcken	125	17,4	644	26,8	11-Maj	28-Okt

Ullbrobäcken är det vattendrag som har störst andel hypoxiska dagar över respektive mätperiod, 23,4% av dagarna var antingen konstant hypoxiska eller hypoxiska någon del av dygnet (Tabell 4). För samtliga vattendrag gäller att det var fler dagar som var delvis hypoxiska än som var hypoxiska över hela dygnet.

Tabell 4. Klassificering av hypoxiska dagar.

Plats	Totalt antal dagar	Konstant hypoxiska dagar (%)	Delvis hypoxiska dagar (%)
Flottsund	2427	0,2	3,3
Sävjaån	1333	2	8,7
Kilaån	2141	6	8,1
Hågaån	2511	2,9	4,3
Lärjeån	1268	0	0,1
Skivarpsån	1855	0,1	2,7
Fallbäcken	136	0,7	1,5
Ullbrobäcken	350	8,6	14,9

Ullbrobäcken har haft den procentuellt största andelen hypoxisk tid på 14,3% av de 350 mätdagarna samt störst andel tid under 5 mg/L, 27,6% (Tabell 5). Kilaån hade den näst högsta andelen dagar under 3 mg/L och 5 mg/L, 9,8% respektive 23,8%, men med mer än sex gånger så många mätdagar, 2141. Totalt var 4,1% av alla mätningar på alla lokaler hypoxiska och 10,1% av alla mätningar visade på syrenivåer under 5 mg/L.

Tabell 5. Total andel hypoxisk tid.

Plats	DO <3 mg/L (%)	DO <5 mg/L (%)
Flottsund	1,2	6,5
Sävjaån	5,7	16,9
Kilaån	9,8	23,8
Hågaån	4,8	8,4
Lärjeån	0	0,2
Skivarpsån	0,4	0,7
Fallbäcken	0,8	1,7
Ullbrobäcken	14,3	27,6
Totalt	4,1	10,1

Inga statistiska signifikanta samband mellan total andel hypoxisk tid och variablerna avrinningsområdes storlek, andelen åkermark eller lutning i vattendraget kunde fastställas, se Tabell 6.

Tabell 6. Spearmans rangkorrelation med total andel hypoxisk tid (DO <3 mg/L).

Variabel	Rho	P-värde	Signifikant (p <0,050)
Avrinningsområde (km ²)	0,19	0,665	Nej
Åkermark (%)	0,238	0,582	Nej
Lutning (°)	-0,452	0,268	Nej

4. Diskussion

Analysen av högfrekventa data från åtta svenska vattendrag visade att förekomst och omfattning av hypoxi varierade stort. Dock inträffade nästan alla detekterade perioder av hypoxi under sommaren när vattentemperaturer var relativt höga. En del hypoxi uppmättes även utanför sommarmånaderna men varade då i regel under kortare tid. Detta tyder på att temperatur, låga vattenstånd och biologisk aktivitet under sommaren är det som starkast påverkar syrenivåerna i vattendrag men att tillfälliga dippar kan ske av även vid andra tillfällen och av andra orsaker. Undersökningen visade också tydligt att det är mer vanligt förekommande med dygn då syrenivån är delvist hypoxiskt men återhämtar sig någon del av dagen, än dagar som är konstant hypoxiska.

Det gick inte att fastställa någon statistiskt signifikant korrelation mellan vare sig avrinningsområdets storlek, andelen jordbruksmark i avrinningsområdet eller lutning vid mätpunkten och andel hypoxisk tid. Detta var ett förväntat resultat med tanke på det lilla dataunderlaget om åtta vattendrag, ett signifikant samband skulle eventuellt upptäckas med ett större stickprov. Lutning var den variabel som trots detta hade störst korrelationskoefficient på $-0,452$, vilket tyder på att det kan finnas ett negativt samband. Det beror då troligen på att en större lutning leder till högre flöde och mer omblandning av vattnet vilket kan föra in mer syre. Även Diamond et al (2023) fann att vattendrag med mindre lutning var mer utsatta för hypoxi.

Fallbäcken, Lärjeån och Skivarpsån står ut som nästan helt oxiska vattendrag. En hypotes var att vattendrag i avrinningsområden med stor andel jordbruksmark skulle uppleva mer hypoxi på grund av näringsläckage som stimulerar biologisk aktivitet och syrebehov. Men de tre mest oxiska lokalerna inkluderar både lokalen med minst andel jordbruksmark (Fallbäcken 9%) och mest andel jordbruksmark (Skivarpsån 73%), vilket också avsaknaden av signifikanta samband vid korrelationstest tydde på. Det är alltså fortsatt okänt vad som skiljer dessa vattendrag från de som är mer drabbade av hypoxi.

Ullbrobäcken var den lokal som hade störst andel hypoxiska dagar, men mätningarna därifrån har knappt pågått ett år i jämförelse med Kilaån som haft mätningar i över sju år och var lokalen med näst störst andel hypoxisk tid. Fler år av mätningar hade behövts för att klargöra hur dessa vattendrag skiljer sig åt i generella syreförhållanden och mer information krävs för att svara på varför det var lokalerna med mest hypoxisk tid.

Den i alla vattendrag totalt uppmätta andelen hypoxi var 4,1%, vilket är direkt jämförbart med vad Diamond et al. (2023) kom fram till i sin studie där andelen

hypoxisk tid var 4,4%. Deras studie var också gjord i ett tempererat klimat på jordbrukspåverkade vattendrag. Detta stödjer att en viss nivå av hypoxi verkar vanligt förekommande i denna typ av system och visar eventuellt på en större trend i tempererade vattendrag påverkade av mänsklig markanvändning. Det hade varit intressant att jämföra dessa resultat med ett större underlag av opåverkade vattendrag för att se hur mycket mänsklig aktivitet påverkar syrenivåerna.

Att syrenivåerna understiger 3 mg/L och 5 mg/L får sannolikt negativa konsekvenser för det akvatiska ekosystemet eftersom de är nivåer som riskerar att inducera stress eller direkt dödlighet. Troligt är att fiskars tillväxt och reproduktion påverkas negativt vid denna nivå. En skyddande faktor kan dock vara att de längsta kontinuerligt hypoxiska perioderna, enligt visuell granskning av Figur 2 och Figur 3, verkar infalla något senare än den allra känsligaste perioden för fiskar som enligt Lektidsportalen (Havs- och vattenmyndigheten 2024) infaller i maj-juni i de undersökta områdena. Det är konstaterat att hypoxi även sker inom den känsliga perioden för vissa av vattendragen enligt resultatet, men inte i lika hög grad som senare under sommaren. Höjer man tröskeln och tittar på när syrehalten är under 5 mg/L sker detta både tidigare och senare på säsongen vilket också riskerar att störa de kritiska perioderna och framför allt påverka det mest känsliga individerna och arterna av fisk. Även andra organismgrupper riskeras vid dessa syrenivåer, exempelvis EPT-taxa, vilka är indikatorarter för vattenkemi på grund av sin höga känslighet, och konstaterat förekommande i liknande jordbruksvattendrag. De hypoxiska perioderna sammanfaller också med relativt höga vattentemperaturer vilket ökar de negativa effekterna på majoriteten av akvatiska organismer eftersom metabolism och syrekonsumtion ökar med ökande temperatur (Burggen & Roberts 1991). Att andelen delvis hypoxiska dagar är större än konstant hypoxiska perioder möjliggör troligtvis att vissa organismer kan återhämta sig under mer syrerika delar av dygnet. Dock kan även dessa event utgöra en stress som på sikt påverkar dödlighet och populationsnivåer (Diamond et al. 2023; USEPA 2003). Exempelvis visade Diamond et al. (2023) att märkräftan *g. fossarum* minskade i population även vid fluktuerande syrenivåer. Det vore intressant att göra liknande studier på svenska arter, som exempelvis den i Goedkoop och Kahlerts (2009) inventering dominerande *g. pulex*. Om den påverkas på liknande sätt även av kortvarig hypoxi lär detta få stora konsekvenser i vattendrag där den är vanligt förekommande då det är en viktig födokälla för andra arter (SLU Artdatabanken 2026). Troligt är att både dygnsförekommande och mer ihållande hypoxi påverkar ekosystemet i vattendrag till nackdel för mer känsliga arter som EPT-taxa och salmonider. Det kan eventuellt leda till konkurrensfördelar för mindre känsliga arter och individer, men är något som måste undersökas med mer forskning och inventeringar. Exempelvis är kiselalger en viktig del av akvatiska ekosystem som

inte har uppmärksammats i denna rapport, men som i viss forskning visat öka sin primärproduktion vid låga syrgasnivåer (Sun et al. 2022).

Resultatet i denna undersökning kan ha underskattat hur långa perioder av hypoxi som förekommit i vattendragen eftersom vissa perioder avbrutits av kalibrering eller andra upptag av sonda. En visuell granskning av Figur 3 visar exempelvis att data saknas mellan två konstanta perioder hypoxi i Ullbrobäcken. Det är möjligt att vattnet varit fortsatt hypoxiskt under denna period och att det om data funnits resulterat i en längre maximal hypoxisk period. Även valet att skilja på event som saknade en timmes data eller mer mellan mätpunkter kan ha påverkat antalet och längden på event. Helst skulle flera års mätningar göras för att det ska gå att uttala sig om hur syreförhållandena ter sig i ett vattendrag, eftersom det i majoriteten av fallen är under de varma sommarmånaderna som eventuell hypoxi uppkommer och att det kan påverkas av årliga variationer i väder. Fallbäcken är det vattendrag som haft högfrekventa mätningar under kortast tid, dryga fyra månader. Mätningarna där startade dessutom i september när vattentemperaturen aldrig översteg 15° C. Den enda hypoxin detekterad i Fallbäcken skedde under de tre första mätningarna.

Syreförhållanden är i dagsläget inte en obligatorisk kemisk-fysikalisk kvalitetsfaktor för klassificering av svenska vattendrag, trots att det är en grundläggande förutsättning för de akvatiska organismer som avgör ekologisk status. Goedkoop och Kahlert (2009) visade att statusen för fiskpopulationer generellt var dålig i vattendrag liknande dem i denna undersökning. De påpekade att de inventerade bäckarna var ganska små och med dålig kemisk status. Men syre kan också vara en förbisedd faktor som hindrar god ekologisk status genom att begränsa fisk och evertebrater. Denna undersökning visar också på vikten av högfrekventa mätningar för att få en rättvisande bild av syrehållandena i vattendrag. Med månads- eller årsvisa provtagningar missas lätt viktiga perioder av låg syrgashalt och att mätningarna riskerar att inte reflektera verkliga förhållanden. Särskilt med tanke på att stickprov vanligtvis tas under dagtid och det främst är på natten när fotosyntes upphör som hypoxi uppstår. Fler studier på hur akvatiska organismer reagerar på olika nivåer och omfattning av hypoxi skulle behövas: vilka effekter får delvis hypoxiska dygn, hur långa perioder av pendlande syrgashalt klarar olika organismer och vilka perioder under året är känsliga för olika artgrupper? Vidare behövs även fler studier på vilka faktorer som påverkar graden av hypoxi och vad som gör vissa vattendrag mer sårbara för detta fenomen: är det hydromorfologi och flöde, beskuggning, näringshalt eller något annat? Hur skiljer sig vattendrag med olika grader och typer av mänsklig påverkan? Hur kommer klimatförändringar, högre temperaturer och mer oförutsägbara väderfenomen att förändra syrgashalterna i vattendrag?

Denna undersökning har visat att hypoxi förekommer i olika omfattning i alla åtta granskade sydsvenska vattendrag och att det är ett fenomen under den varma säsongen. Resultatet ligger i linje med liknande tidigare studier. I alla vattendrag var det vanligare med delvis hypoxiska dygn än konstant hypoxi i 24 timmar. Det gick ej att fastställa några signifikanta samband med variablerna avrinningsområdets storlek, andel jordbruksmark eller lutning och vidare studier behövs för att utreda orsaker till hypoxi i denna typ av vattendrag. Att det förekommer perioder där DO <3 mg/L och DO <5 mg/L får troligtvis negativa konsekvenser för både fisk och känsliga evertetrater.

5. Tack

Jag vill tacka mina handledare Jens och Emma för att de introducerade mig till det här intressanta ämnet och arbetet med högfrekventa sensordata. De har kommit med idéer, värdefull återkoppling och utan dem skulle detta arbete inte existera. Stort tack till Emil Back på avdelningen för geokemi och hydrologi som tagit fram och rensat data om de olika vattendragen till uppsatsen. Slutligen vill jag tacka kursare och andra kamrater som funnits där och kämpat jämsides med mig under skrivandet – tack för ovärderligt stöd och lunchsällskap!

Referenser

- Ali, B., Anushka & Mishra, A. (2022). Effects of dissolved oxygen concentration on freshwater fish: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 10. 113-127. <https://doi.org/10.22271/fish.2022.v10.i4b.2693>
- Bernhardt, E.S., Heffernan, J.B., Grimm, N.B., Stanley, E.H., Harvey, J.W., Arroita, M., Appling, A.P., Cohen, M.J., McDowell, W.H., Hall, R.O., Read, J.S., Roberts, B.J., Stets, E.G. & Yackulic, C.B. (2018). The metabolic regimes of flowing waters. *Limnology and oceanography*, 63 (S1), S99–S118. <https://doi.org/10.1002/lno.10726>
- Best, M.A., Wither, A.W. & Coates, S. (2007). Dissolved oxygen as a physico-chemical supporting element in the Water Framework Directive. *Marine pollution bulletin*, 55 (1), 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.037>
- Breitburg, D., Levin, L.A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F.P., Conley, D.J., Garçon, V., Gilbert, D., Gutiérrez, D., Isensee, K., Jacinto, G.S., Limburg, K.E., Montes, I., Naqvi, S.W.A., Pitcher, G.C., Rabalais, N.N., Roman, M.R., Rose, K.A., Seibel, B.A., Telszewski, M., Yasuhara, M. & Zhang, J. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science (American Association for the Advancement of Science)*, 359 (6371). <https://doi.org/10.1126/science.aam7240>
- Burggen, W. & Roberts, J. (1991). Respiration and Metabolism. I Ladd Prosser, C. (red.) *Environmental and metabolic animal physiology*. Wiley-Liss, Inc., s. 353–435.
- Chang, F.-H., Lawrence, J.E., Rios-Touma, B. & Resh, V.H. (2014). Tolerance values of benthic macroinvertebrates for stream biomonitoring: assessment of assumptions underlying scoring systems worldwide. *Environmental monitoring and assessment*, 186 (4), 2135–2149. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3523-6>
- de Carvalho Aguiar, V.M., Neto, J.A.B. & Rangel, C.M. (2011). Eutrophication and hypoxia in four streams discharging in Guanabara Bay, RJ, Brazil, a case study. *Marine pollution bulletin*, 62 (8), 1915–1919. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.04.035>
- Dempster, T., Oppedal, F., Fosse, J.O. & Oldham, T. (2017). Oxygen gradients affect behaviour of caged Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions*, 9 (1), 145–153. <https://doi.org/10.3354/aei00219>
- Diamond, J.S., Moatar, F., Recoura-Massaquant, R., Chaumot, A., Zarnetske, J., Valette, L. & Pinay, G. (2023). Hypoxia is common in temperate headwaters and driven by hydrological extremes. *Ecological indicators*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109987>
- Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG av den 23 oktober 2000 om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område (EGT L 327, 22.12.2000, s. 1–73). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX%3A32000L0060>

- Fölster, J., Lannergård, E., Valley, S. & Olshammar, M. (2019). *Sensorer för vattenkvalitet i miljöövervakning av vattendrag* (SLU, Vatten och miljö: Rapport 2019:10). SLU Institutionen för vatten och miljö.
<https://pub.epsilon.slu.se/27988/1/folster-j-et-al-20220524.pdf>
- Goedkoop, W. & Kahlert, M. (2009). *Biologisk karaktärisering av bäckar i typområden jordbruksmark*. SLU Institutionen för vatten och miljö.
<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:naturvardsverket:diva-478>
- Hansson, M. & Viktorsson, L. (2024). *Oxygen Survey in the Baltic Sea 2023 - Extent of Anoxia and Hypoxia, 1960-2023* (REPORT OCEANOGRAPHY No. 76, 2024). SMHI. <https://www.smhi.se/publikationer-fran-smhi/sok-publikationer/2024-05-23-oxygen-survey-in-the-baltic-sea-2023---extent-of-anoxia-and-hypoxia-1960-2023>
- Havs- och vattenmyndigheten. (2024). *Lektidsportalen* (Version 2.0 2024-11-28).
<https://havbipub.havochvatten.se/analytics/saw.dll?Dashboard>
- HVMFS 2019:25. *Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljökvalitetsnormer avseende ytvatten*.
<https://www.havochvatten.se/download/18.70a2669e19be678c618b27a8/1770104799099/HVMFS%202019-25%20keu%20251101.pdf>
- Jenny, J.P., Francus, P., Normandeau, A., Lapointe, F., Perga, M.E., Ojala, A., Schimmelmann, A. & Zolitschka, B. (2016). Global spread of hypoxia in freshwater ecosystems during the last three centuries is caused by rising local human pressure. *Global change biology*, 22 (4), 1481–1489.
<https://doi.org/10.1111/gcb.13193>
- Kim, M., Jang, M., Choong, C.E. & Han, J. (2026). Historical and future water quality risks driven by climate change: Strategic management and overcoming challenges. *Water research (Oxford)*, 288 (Pt B).
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.124774>
- Rabalais, N.N., Díaz, R.J., Levin, L.A., Turner, R.E., Gilbert, D. & Zhang, J. (2010). Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. *Biogeosciences*, 7 (2), 585–619. <https://doi.org/10.5194/bg-7-585-2010>
- Rode, M., Wade, A.J., Cohen, M.J., Hensley, R.T., Bowes, M.J., Kirchner, J.W., Arhonditsis, G.B., Jordan, P., Kronvang, B., Halliday, S.J., Skeffington, R.A., Rozemeijer, J.C., Aubert, A.H., Rinke, K. & Jomaa, S. (2016). Sensors in the Stream: The High-Frequency Wave of the Present. *Environmental science & technology*, 50 (19), 10297–10307. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02155>
- Saari, G.N., Wang, Z. & Brooks, B.W. (2018). Revisiting inland hypoxia: diverse exceedances of dissolved oxygen thresholds for freshwater aquatic life. *Environmental science and pollution research international*, 25 (4), 3139–3150. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8908-6>
- Skeffington, R.A., Halliday, S.J., Wade, A.J., Bowes, M.J. & Loewenthal, M. (2015). Using high-frequency water quality data to assess sampling strategies for the EU

- Water Framework Directive. *Hydrology and earth system sciences*, 19 (5), 2491–2504. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2491-2015>
- SLU Artdatabanken. (2026). *Artfakta: sydlig sötvattensmärla (Gammarus pulex)*. <https://artfakta.se/taxa/234369> [2026-05-25]
- SMHI. (u.å.). *Beskrivning av Sveriges vattendrag*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/sveriges-vattendrag/beskrivningen-av-sveriges-vattendrag> [2026-04-25]
- Spicer, J.I., Dando, C.L. & Maltby, L. (2002). Anaerobic capacity of a crustacean sensitive to low environmental oxygen tensions, the freshwater amphipod *Gammarus pulex* (L.). *Hydrobiologia*, 477 (1–3), 189–194. <https://doi.org/10.1023/A:1021063225668>
- Sun, J.-Z., Wang, T., Huang, R., Yi, X., Zhang, D., Beardall, J., Hutchins, D.A., Liu, X., Wang, X., Deng, Z., Li, G., Gao, G. & Gao, K. (2022). Enhancement of diatom growth and phytoplankton productivity with reduced O₂ availability is moderated by rising CO₂. *Communications biology*, 5 (1). <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03006-7>
- Sveriges miljömål. (2018). *Preciseringar av Levande sjöar och vattendrag*. <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/levande-sjoar-och-vattendrag/preciseringar-av-levande-sjoar-och-vattendrag/> [2026-04-25]
- Sveriges miljömål. (2026). *Levande sjöar och vattendrag*. <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/levande-sjoar-och-vattendrag/> [2026-04-25]
- Sø, J.S., Kragh, T., Sand-Jensen, K. & Martinsen, K.T. (2022). Environmental drivers and sources of stream oxygen consumption in an agricultural lake catchment. *Ecological engineering*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106516>
- U.S Environmental Protection Agency. (2003). *Ambient Water Quality Criteria for Dissolved Oxygen, Water Clarity and Chlorophyll a for the Chesapeake Bay and Its Tidal Tributaries*. National Service Center for Environmental Publications. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=P100YKPO.txt>
- Wu, R.S.S., Zhou, B.S., Randall, D.J., Woo, N.Y.S. & Lam, P.K.S. (2003). Aquatic Hypoxia Is an Endocrine Disruptor and Impairs Fish Reproduction. *Environmental science & technology*, 37 (6), 1137–1141. <https://doi.org/10.1021/es0258327>
- Xu, C., Luo, P., Wu, P., Song, C. & Chen, X. (2022). Detection of periodicity, aperiodicity, and corresponding driving factors of river dissolved oxygen based on high-frequency measurements. *Journal of hydrology (Amsterdam)*, 609. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127711>
- Xylem, Inc. (2019a). *Dissolved Oxygen Tables* [Technical Instructions]. <https://www.yxi.com/file%20library/documents/technical%20notes/do-oxygen-solubility-table.pdf>

Xylem, Inc. (2019b). *Environmental Dissolved Oxygen* [Technical Instructions].
<https://www.yxi.com/file%20library/documents/technical%20notes/t602-environmental-dissolved-oxygen-values-above-100-percent-air-saturation.pdf>

Bilaga 1

Identifierade taxonomiska grupper i inventeringar från rapporten ”Biologisk karaktärisering av bäckar i typområden jordbruksmark” av Goedkoop och Kahlert (2009).

Bottenfauna:

- *Bivalvia* (musslor).
- *Coleoptera* (skalbaggar)
- *Diptera* (tvåvingar)
- *Ephemeroptera* (dagsländor)
- *Gastropoda* (snäckor)
- *Hirudinea* (iglar)
- *Hydracarina* (vattenkvalster)
- *Malacostraca* (storkräftor)
- *Oligochaeta* (fåborstmaskar)
- *Plecoptera* (bäcksländor)
- *Trichoptera* (nattsländor)
- *Turbellaria* (virvelmaskar)

Fisk:

- *Anguilla anguilla* (ål)
- *Esox lucius* (gädda)
- *Pungitius pungitius* (småspigg)
- *Salmo salar* (lax)
- *Salmo trutta* (öring)

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

JA, jag, Johanna Korsgren har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse till att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.