

Knut Alfredsen

# Vurdering av effektkøyring i Lærdalselva



IVM Report B1-2016-5



Norwegian University of  
Science and Technology



Knut Alfredsen

# Vurdering av effektkøyring i Lærdalselva.

IVM Report B1-2016-7

Trondheim, Desember 2016

Norwegian University of Science and Technology  
Faculty of Engineering Science and Technology  
Department of Hydraulic and Environmental Engineering

ISBN 978-82-7598-101-9



## FORORD OG SAMANDRAG

Etter ein førespurnad frå Lærdal elveeigarlag er det gjort ei vurdering om ein kan seie at Lærdalselva er effektkøyrt utifrå drifta av kraftverka i vassdraget. Grunnlaget for vurderinga er dei definisjonane for effektkøyring som er gitt i prosjektet ENVIPEAK som var ein del av Centre for Environmental Designed Renewable Energy (CEDREN). Programsystemet COSH-Tool er brukt for å vurdere vassføringa. Data er henta frå Stuvane vassmerke som ligg nedstraums utløpet av det nedste kraftveret i Lærdal. Analysa er gjort på data med ei tidsoppløysing på 30 minutt mellom 1988 og 2015.

Resultata viser at vi ikkje kan seie at Lærdalselva er effektkøyrd slik vi vanlegvis forstår dette omgrepet med regelmessig opp- og nedkøyring av kraftverket innan døgnet. Men data viser ei tydeleg reguleringseffekt, og over analyseperioda ser vi eit aukande tal på justeringar av køyringa av kraftverket som ligg innanfor definisjonen av hurtige endringar brukt i COSH-Tool. Dette er ei auke vi ikkje ser i uregulerte data så dette må tilskrivast drifta av kraftverket. Vi ser også at frekvensen av slike endringar innan døgnet har auka i den perioda som er analysert.

Takk til Lærdal Elveeigarlag og Ola Petter Bøe for oppdraget. Spesiell takk til Rolf Bjørum for informasjon om reguleringa i Lærdal og for mange innspel og nyttige diskusjonar om data, resultat og Lærdalselva generelt. Takk og til Tor Haakon Bakken for kommentarar til rapporten.



## INNHOLD

FORORD OG SAMANDRAG .....	3
INNHOLD.....	5
FIGURLISTE .....	6
1. Bakgrunn .....	7
2. Data og metode.....	7
3. Resultat .....	10
3.1 Vassføring og identifikasjon av brå endringar.....	10
3.2 Forhold mellom auke og senking .....	13
3.3 Talet på endringar og fordeling i tid.....	16
4. Oppsummering og diskusjon.....	18
REFERANSER.....	19

VEDLEGG 1    Oppsummering av årlege endringar frå COSH Tool

VEDLEGG 2    Årshydrogram for Stuvane vassmerke

VEDLEGG 3    Årshydrogram for Stuvane kraftverk

## FIGURLISTE

Figur 1 Reguleringa i Lærdalselva og målestasjonar for vannstand/vassføring (Kart frå NVE-Atlas). ....	7
Figur 2 Faktorar for vurdering av effektkøyring (basert på Bakken et al. 2016) .....	8
Figur 3 Den øvre figuren (A) viser maksimum og minimumspunkt for raske vannstandsendringar. Desse er funne i høve til grensebetingelsen for rask opp og nedkøyring. Den nedre figuren (B) viser endringsrater for hydrogrammet, raud farge viser endringsrater som overskrid grensebetingelsen. Maksimal rate er den største av dei raude verdiane for kvar episode. Den blå firkanten viser middelverdi av alle endringsrater for kvar episode. ....	9
Figur 4 Data frå Stuvane vassmerke oppsummert. Den horisontale linja viser medianvassføringa over året. Boksa viser området mellom 25 og 75% percentilen, dvs intervallet som inneholder 50% av alle data. Utstikkarane er 1.5*boksverdien og dei små kryssa viser verdiar som er utanfor dette området.....	10
Figur 5 Tidsserien frå Stuvane vassmerke med identifiserte startpunkt for hurtige auke og senkingar. ....	10
Figur 6 Eit eksempel på eit enkeltår, 2009, som har mange identifiserte hurtige endringar i vassføring. ....	11
Figure 7 Fordeling av start og sluttspunkt for auke og senkingar i vannstand ved Stuvane..	12
Figur 8 Middelverdiar for forholdstal mellom maksimum ( $Q_{max}$ ) og minimum ( $Q_{min}$ ) for auke i vassføring (øvst) og senking av vassføring (nedst). Sjå figur 3 b) for forklaring på utrekninga av desse. Boksa viser området mellom 25 og 75% percentilen, dvs intervallet som inneholder 50% av alle data. Utstikkarane er 1.5*boksverdien og dei små kryssa viser verdiar som er utanfor dette området.....	13
Figur 9 Maksimumsverdi for forholdstal mellom maksimum ( $Q_{max}$ ) og minimum ( $Q_{min}$ ) for auke i vassføring (øvst) og senking av vassføring (nedst).....	14
Figure 10 Kurver som viser nedkøyringa av Stuvane kraftverk til 0. Stopp skjer i time 7 og figuren viser så vassføringa bakover i tid frå dette tidspunktet. ....	15
Figure 11 Fullstendig dataset for perioda som er analysert i figur 10.....	15
Figur 12 Oppsumering av talet på hurtige auke (øverst) og senkingar (nederst) over åra som er analyserte.....	16
Figure 13 Talet på dagar med frå 1 til 7 hurtige endringar pr. dag for kvart år i analyseperioda. Auks i figuren øverst og senkingar nederst.....	16
Figure 14 Fordeling av hurtige auke (øverst) og senkingar (nederst) over døgeret. Data er oppsummert for heile perioda. ....	17
Figure 15 Talet på dagar med 1 – 7 hurtige endringar i fiskesesongen frå juni og ut august. Hurtige auke i vassføring i den øvre figuren og hurtige senkingar i den nedre figuren.	17

## 1. Bakgrunn

Denne rapporten er utarbeidd etter ein førespurnad frå Lærdal elveigarlag. Føremålet med arbeidet er å finne ut om det skjer periodar med effektkøyring i Lærdalselva. Effektkøyring er skildra av Bakken *et al.* (2016) som: "Først og fremst refererer «effektkjøring» til variabel drift i et vannkraftverk, dvs. driftsmønstret av en turbin eller gruppe av turbiner.

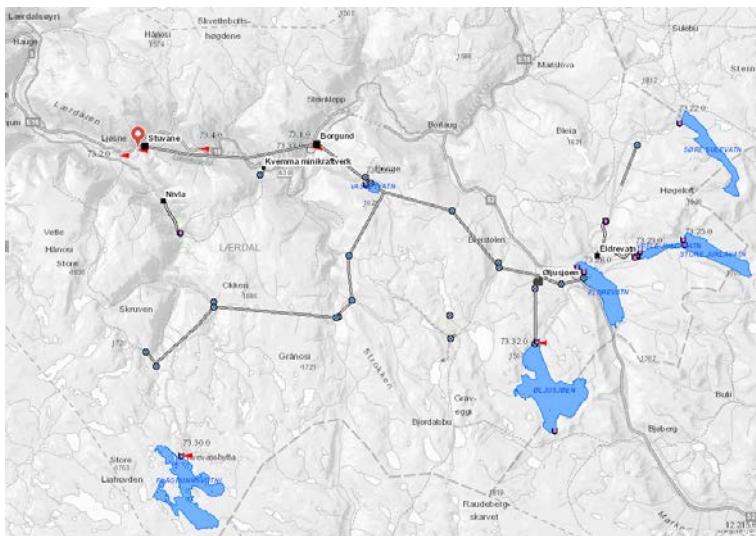
*Effektkjøring innebærer at kraftproduksjonen i et vannkraftverk driftes for å møte kortsiktige variasjoner i etterspørselen i kraftmarkedet eller behov for stabilisering av kraftnettet, med den konsekvens at driftsmønsteret preges av raske, hyppige og kortsiktige operasjonelle endringer. Et typisk mønster for effektkjøring er en eller flere daglige svingninger i produksjonen på hverdager, men hvor svingningene i mindre grad forekommer i helgene."*

Denne definisjonen er og brukt i dette arbeidet, som baserer seg på metodar og verktøy utvikla i prosjektet EnviPeak (Bakken *et al.* 2016).

For å finne ut om effektkøyring skjer i Lærdalselva er det gjort ei analyse av målt vassføring ved vassmerket Stuvane. Analysa er gjort ved hjelp av COSH (Tool for Characterisation of Stream Hydropeaking) som er utvikla av SINTEF Energi (Sauterleute & Charmasson 2014)

## 2. Data og metode

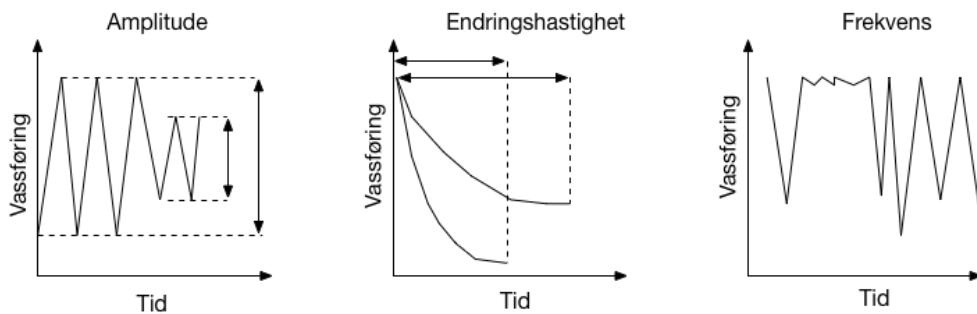
Analysa er gjort for vassmerket Stuvane (73.2.0.1001) som ligg nedstraums alle kraftverk i Lærdal. Data er henta frå databasen HYDRA II hjå Norges Vassdrag og Energidirektorat (NVE). Det første året med komplett dataserie er 1988, så perioda som er analysert går fra 1988 – 2015. Tidsoppløysinga på data er 30 minutt. Data for Stuvane kraftverk (73.26.0.1001) som viser kjøringa av kraftverket er tatt med i vedlegg, men vurderinga av effektkøyringa er gjort i vassdraget nedstraums kraftverket sidan det er i elva ei eventuell effektkøyring vil ha verknad. Området er vist i figur 1.



Figur 1 Reguleringa i Lærdalselva og målestasjonar for vannstand/vassføring (Kart frå NVE-Atlas).

For å vurdere variasjonane i vassføring er programmet COSH (Sauterleute og Charmasson, 2014) brukt. Dette verktyet vart utvikla som ein del av prosjektet "Effekter av raske vannstandsendringer – EnviPeak" som var ein del av Centre for Environmental Design of Renewable Energy (CEDREN). Dette er eit verktøy for å identifisere og analysere hurtige endringar i vassføring gjennom ei analyse av ei vassføringskurve (hydrogram) eller ei

vannstandskurve, og det vart laga i spesifikt for å vurdere grad av effektkøyring og for å rekne ut ulike måltal for endringar. COSH analyserer tre ulike faktorar: amplitude (utslag, storleik), endringshastighet og frekvens av endringar (Figur 2).



Figur 2 Faktorar for vurdering av effektkøyring (basert på Bakken et al. 2016)

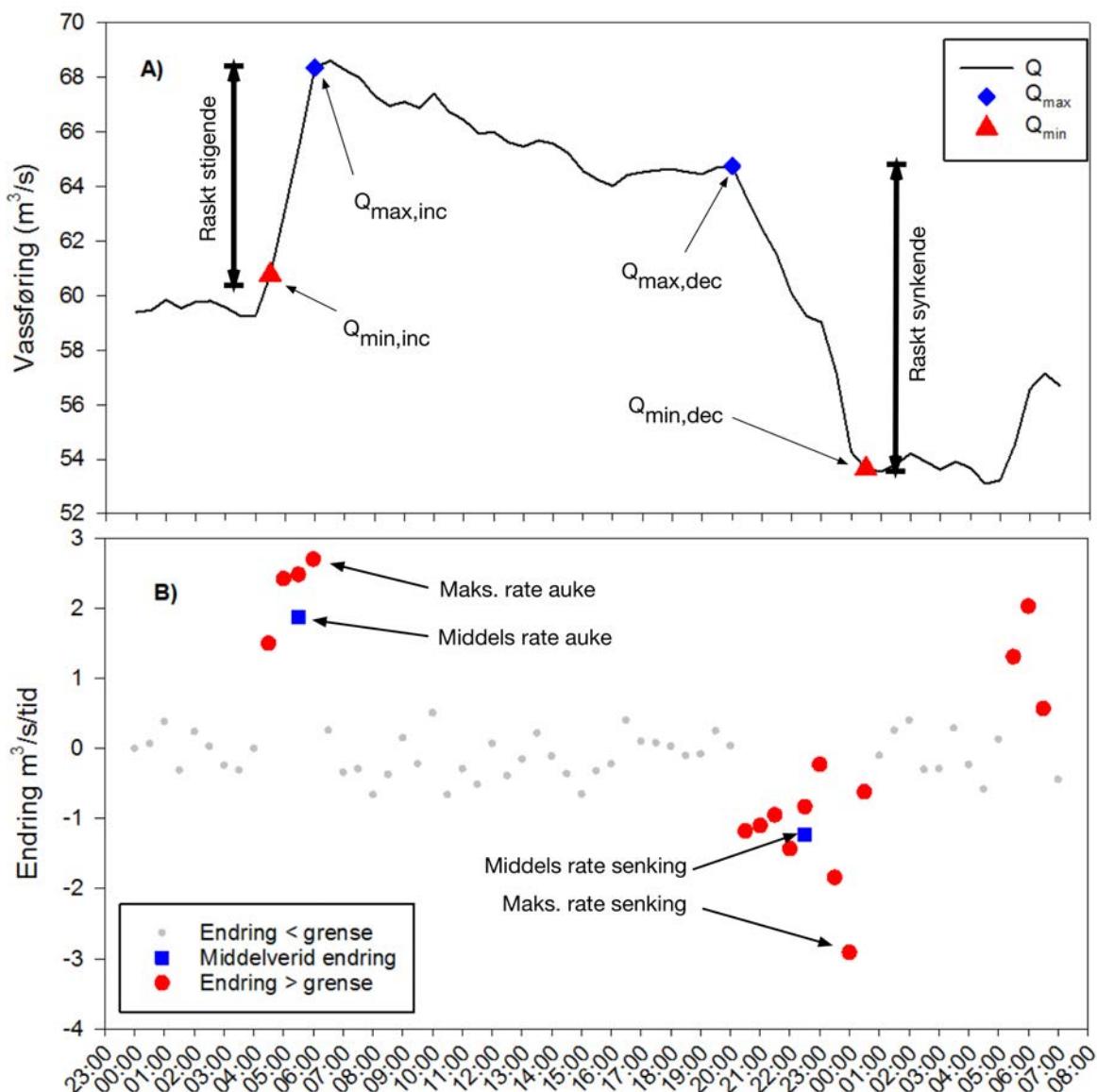
Det er laga ulike måltal for kvar av desse kategoriane som COSH reknar ut. Det vert skilt mellom stigande og fallande vassføring i analysa i COSH, så ein får difor eit sett med resultat frå hurtige auke i vassføring og eit sett for hurtige senkingar av vassføringa. Nokre av dei måltala som kjem ut av COSH er (Q er symbol for vassføring, indeks "inc" markerer auke og "dec" senking):

- $Q_{\min, \text{inc}}$  – minimumsverdi knytt til ei hurtig auke i vassføring,  $Q_{\max, \text{inc}}$  – maksimumsverdi knytt til ei hurtig auke i vassføring,  $Q_{\max, \text{dec}}$  – maksimumsverdi knytt til hurtig senking av vassføring,  $Q_{\min, \text{dec}}$  – minimumsverdi knytt til ei hurtig senking av vassføring. Desse faktorane vert rekna ut for heile vassføringsserien basert på ein grensebetingelse for kva som ein reknar som ei hurtig endring. Meir om val av grensebetingelse kjem sidan.
- $F_{\text{inc}}$  – Forhold mellom maks og min ved auke i vassføring ( $Q_{\max, \text{inc}} / Q_{\min, \text{inc}}$ ) og  $F_{\text{dec}}$  – tilsvarende ved senking ( $Q_{\max, \text{dec}} / Q_{\min, \text{dec}}$ ). Desse fungerer som ein indikator for storleiken på ei hending.
- Middel og minimumsrate av auker og senkingar av vassføring gir eit mål på endringshastighet og er rekna som  $(Q_{x+1} - Q_x) / (t_{x+1} - t_x)$ , der t er tidspunkt for ein gitt Q verdi. Middelraten gir middelverdi over ei periode med fleire opp og nedkjøyringar etter kvarandre, medan maksimumsraten gir den maksimale endringa i denne perioda. Desse verdiane viser dermed kor hurtig endringane skjer og er ein viktig faktor ved effektkøyring.
- Frekvens av hendingar vert målt som talet på hendingar over tid. Her er det rekna ut hendingar per år og fordeling av hendingar over døgnet samt kor mange dagar der vi har meir enn ei hending.

Ein del av måltala er forklart i figur 3. For ein full oversikt og meir detaljar rundt desse måltala og korleis dei er rekna ut, sjå Sauterleute and Charmasson (2014).

COSH les inn dataserien frå Stuvane og analyseperioda er sett til åra 1988 – 2015. Tidsskrittet for analysa er sett lik 30 minutt som er minste oppløysing i data. Erfaringar viser at dette kan vere eit for langt intervall for å finne dei raskaste endringane ved effektkøyring, men i og med at det ikkje finst data med finare oppløysing må ein bruke det minste tidsintervallet som er tilgjengeleg. For å kunne gjennomføre analysa må vi definere

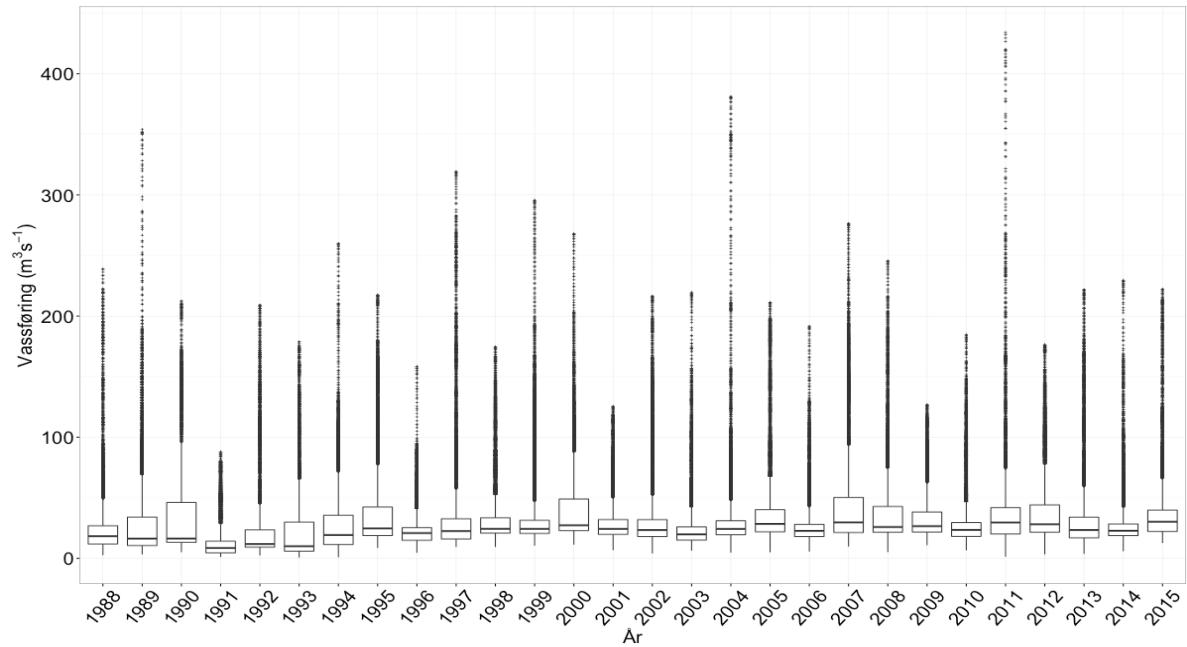
grensene for kva vi reknar som ei hurtig endring. I COSH vert dette gjort ved å gi ein høg (tilrådd over 95%) og ein lav (tilrådd under 5%) percentilverdi for dei observerte aukane og senkingane av vassføringa. 95% percentilen er den verdien som deler datasettet slik at 5% av hendingane er større enn denne verdien og 5% percentilen deler inn i slik at 5% av hendingane er mindre enn denne verdien. Val av percentilverdi vil påverke kor mange episoder som vert registrert og dermed brukt i analysa. Valg av grenseverdi vil variere frå elv til elv, og er her gjort etter forsøk med ulike verdiar og vurdering av resultatet for å få god tilpasning til periodar med hurtige endringar. Etter denne vurderinga vart det valt å bruke 97% og 3% percentilen for analysene. For å unngå å få med verdiar som skuldast auke og senking i samband med flom og andre høge naturlege vassføringar er datasettet avgrensa slik at kun vassføringar under  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  er brukta i analysa.



Figur 3 Den øvre figuren (A) viser maksimum og minimumspunkt for raske vannstandsendringar. Desse er funne i høve til grensebetingelsen for rask opp og nedkøyring. Den nedre figuren (B) viser endringsrater for hydrogrammet, raud farge viser endringsrater som overskrid grensebetingelsen. Maksimal rate er den største av dei raude verdiane for kvar episode. Den blå firkanten viser middelverid av alle endringsrater for kvar episode.

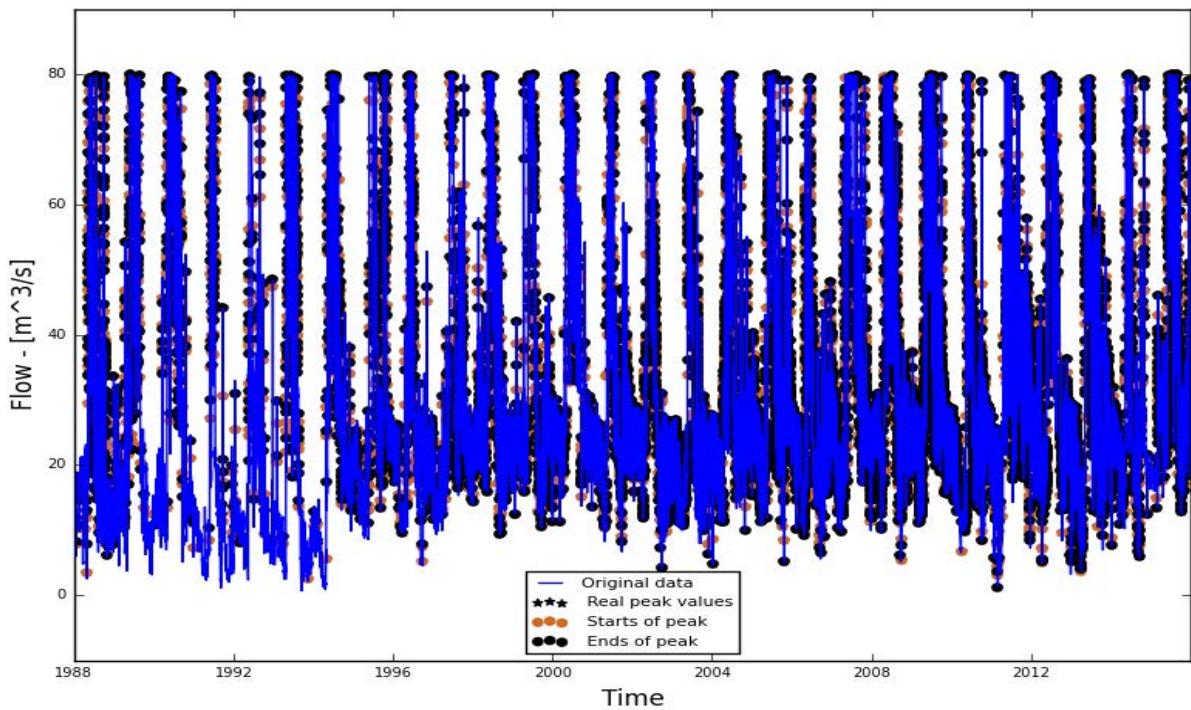
### 3. Resultat

#### 3.1 Vassføring og identifikasjon av brå endringar.



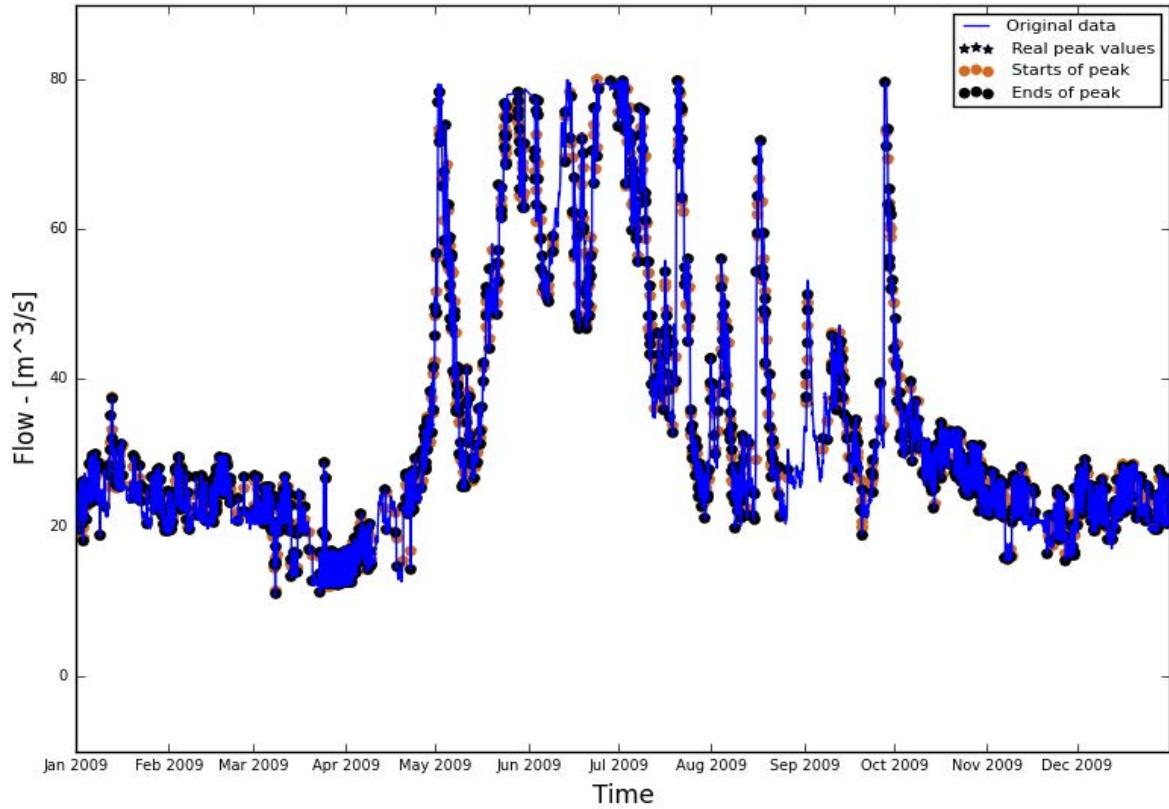
Figur 4 Data frå Stuvane vassmerke oppsummert. Den horisontale linja viser medianvassføringa over året. Boksa viser området mellom 25 og 75% percentilen, dvs intervallet som inneholder 50% av alle data. Utstikkarane er 1.5\*boksverdien og dei små kryssa viser verdiar som er utanfor dette området.

Figur 4 oppsummerer data frå Stuvane mellom 1988 og 2015. Tidsoppløysinga av vassføringane i figuren er som i resten av analysa 30 minutt. Det er ingen klare teikn på at vi ser noko systematiske endringar i vassføringa over denne perioda. Årsplott av vassføringa er tatt med i vedlegg 1.



Figur 5 Tidsserien frå Stuvane vassmerke med identifiserte startpunkt for hurtige auker og senkingar.

Figur 5 er ei oversikt frå COSH-Tool som markerer identifiserte start- og sluttidspunkt for hurtige endringar i vassføring for vassføringsintervallet mellom 0 og 80 m<sup>3</sup>/s som er brukt i analysa. I figur 6 er det plotta eit enkelt år (2009) som eksempel som viser dette i meir detalj. For dei neste analysene vert no alle intervall som er identifisert (markert med orange startpunkt og svart endepunkt på figuren) plukka ut og brukt i den vidare analysa.



Figur 6 Et eksempel på eit enkeltår, 2009, som har mange identifiserte hurtige endringar i vassføring.

Tabell 1 oppsummerer dataserien som er brukt i analysa, her avgrensa til vassføringer mellom 0 og 80 m<sup>3</sup>/s. Tabellen oppsummerer verdiane på start- og slutt punkta for auke og senking av vassføring (punkta som er markert med svarte og oransje sirklar i figure 5 og 6).

*Tabell 1 Statistikk for observasjonsdata fra Stuvane vassmerke i perioda er vist i kolonna "Verdi" med grå bakgrunn. Dei andre kolonnene i tabellen viser ei statistisk oppsummering av verdiar for start og slutt punkt for auker og senkingar (markert med svarte og gule sirklar på figur 5 og figur 6).*

Parameter	Verdi (m <sup>3</sup> /s)	Auke start (m <sup>3</sup> /s)	Auke slutt (m <sup>3</sup> /s)	Senk start (m <sup>3</sup> /s)	Senk slutt (m <sup>3</sup> /s)
Minimum	0.65	2.56	4.74	5.05	1.27
10% percentilen	10.22	16.63	19.58	18.70	15.93
25% percentilen	15.86	21.06	24.05	23.13	20.45
Median	22.44	25.36	28.26	27.40	24.62
75% percentilen	30.36	37.63	42.04	40.04	36.60
90% percentilen	47.88	54.54	60.51	58.60	54.66
Maksimum	80.00	79.98	80.00	80.0	79.20

Data i tabellen lesast slik at medianen er den verdien som delar datasettet i to der 50% er større og 50% er mindre. Så for obervasjonane i Stuvane er medianverdien 22.44 m<sup>3</sup>/s, som

gir oss "midten" av datasettet. For 10% percentilen er 10% av verdiane mindre og 90% større, for 25% percentilen er 25% mindre og 75% større, og så vidare. Så desse verdiane seier noko om fordelinga av vassføringane som er observert. Det er og verdt å ta med at maksimumsvassføringane som er gitt for alle kategoriane i tabell 2 er styrt av at vassføringar over  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  er kutta ut i analysa.

Vi ser at den observerte vassføringa ved vassmerket Stuvane (kolonne med grå bakgrunn) har ein minimumsverdi på  $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ , og at 10% av verdiane er mindre enn  $10.22 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vi ser vidare at hurtige senkingar etter den definisjonen vi har brukt stoppar på  $1.27 \text{ m}^3/\text{s}$ . Det betyr at den minste vassføringa ikkje er relatert til ei hurtig nedtapping. Gitt at det finst restriksjonar på vassføring ved Sælthun vassmerke som er oppstraums frå Stuvane:  
*"Prinsipalt skal vannføringer ikke være under 4 m<sup>3</sup>/sek ved Sælthun V.M., men det kan fravikes fra dette etter samråd med en sakkyndig, valgt av partene"* (Anonym 1979), så viser dei lave verdiane ved Stuvane at det har vore episoder med svært låg vassføring i elva som må ha kome etter avvik frå den generelle bestemmelsen. Frå hydrogrammet kan ein og sjå enkelte episoder med svært hurtige men kortvarige dropp i vassføringa som kan sjå ut som utfall i kraftverket.

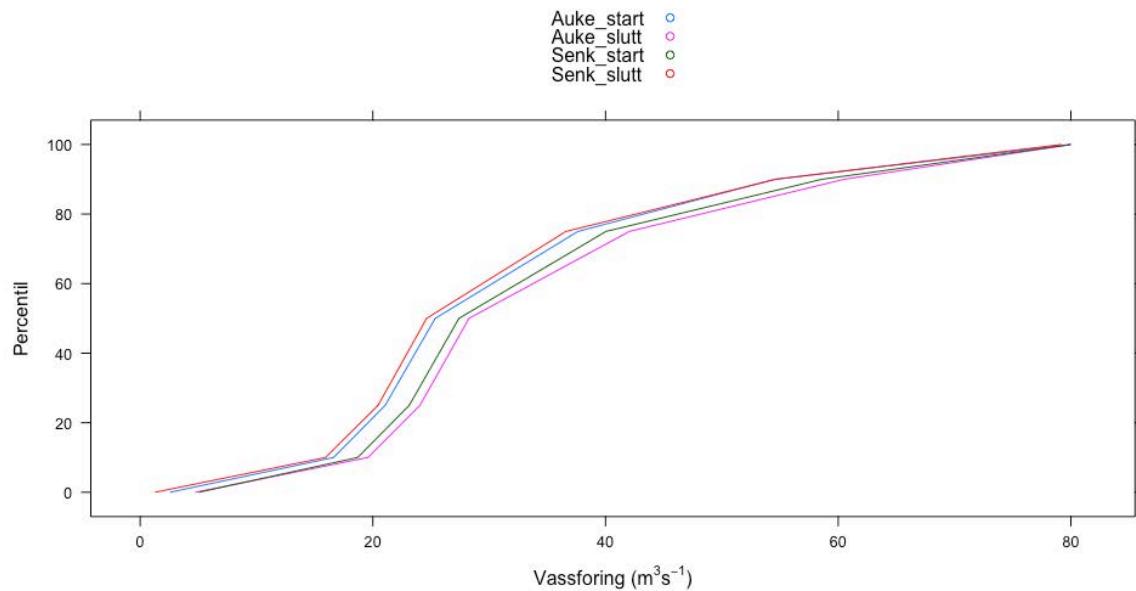
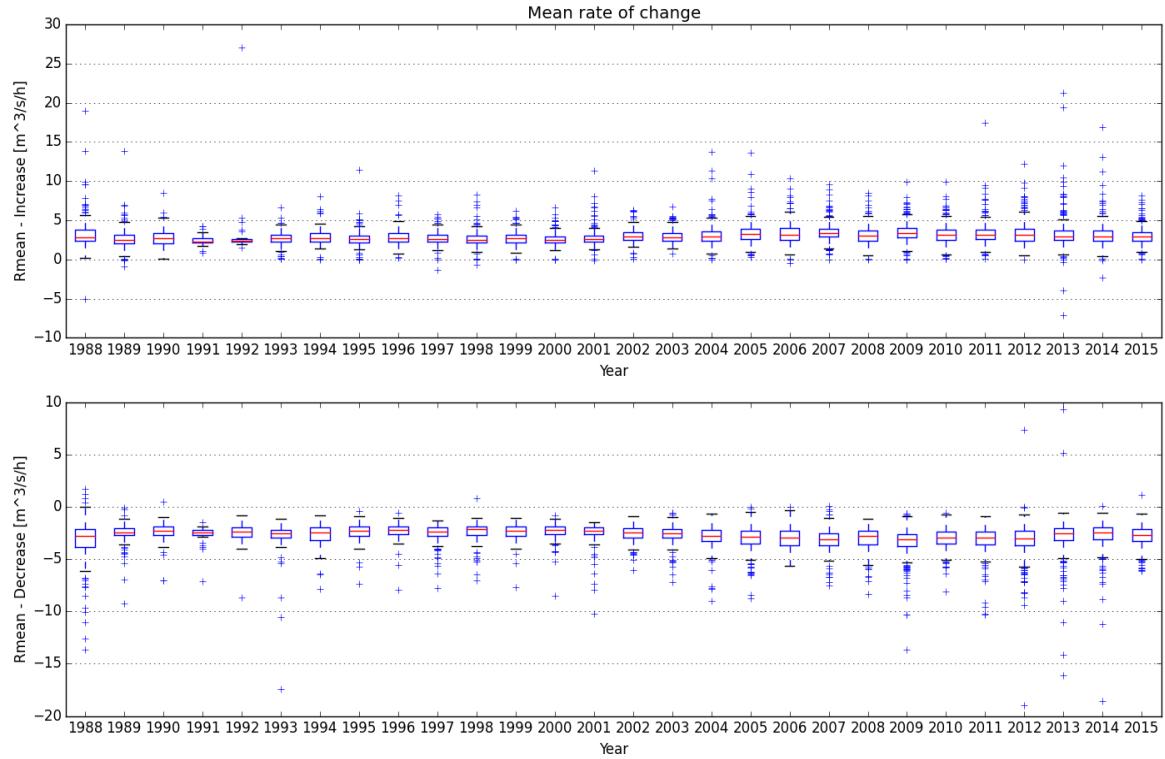


Figure 7 Fordeling av start og sluttspunkt for auker og senkingar i vannstand ved Stuvane.

Figur 7 viser fordelingane av start og sluttspunkt for auker og senkingar i tabell 2 grafisk. Vi ser her at fordelinga er relativt jamm over heile vassføringsområdet sjølv om hovudtyngda ligg mellom ca 20 og  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dette viser at der ikkje er noko utprega start og stopp punkt for endringar i vassføring, men at dette skjer frå mange ulike utgangspunkt. Dette tyder på ein større variasjon i justeringar i kraftverket enn eit typisk start og stoppnivå som ein ser i enkelte effektregulerte vassdrag.

### 3.2 Forhold mellom auke og senking

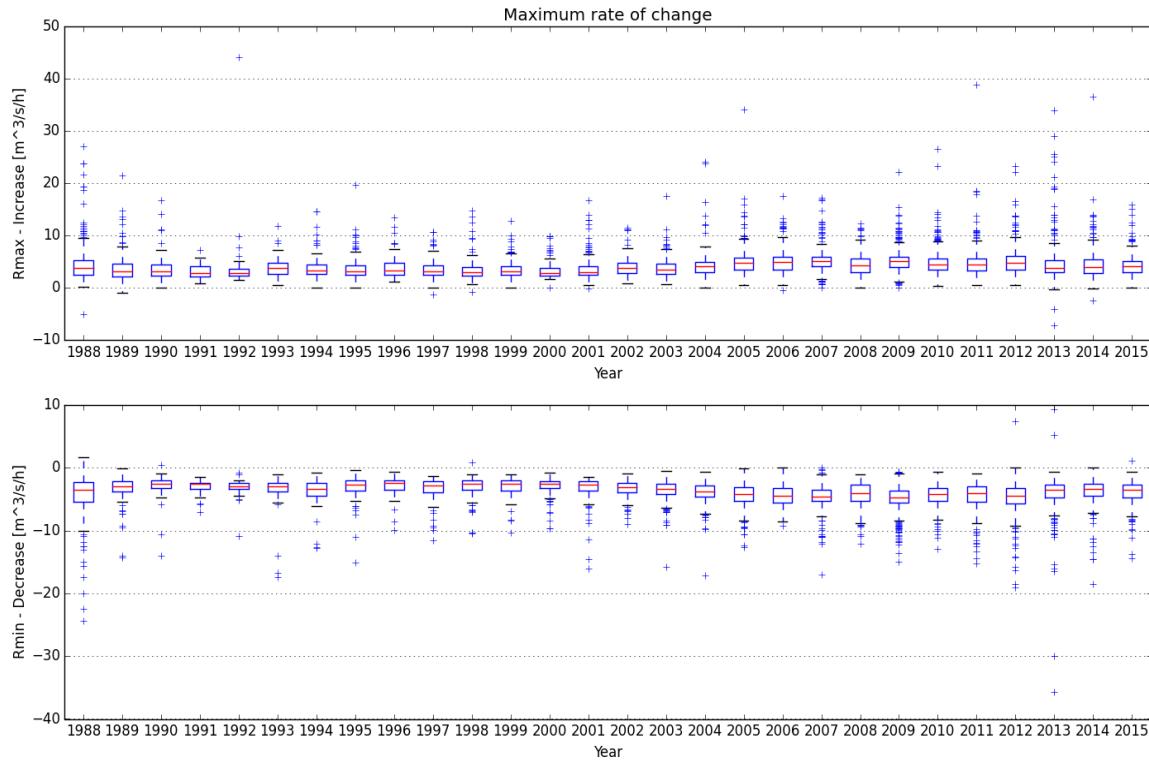


Figur 8 Middelverdiar for forholdstal mellom maksimum ( $Q_{max}$ ) og minimum ( $Q_{min}$ ) for auke i vassføring (øvst) og senking av vassføring (nedst). Sjå figur 3 b) for forklaring på utrekninga av desse. Boksa viser området mellom 25 og 75% percentilen, dvs intervallet som inneheldt 50% av alle data. Utstikkarane er 1.5\*boksverdien og dei små kryssa viser verdiar som er utanfor dette området.

Figur 7 viser middelverdi for endring for alle periodar i kvart enkelt år med hurtige endringar i vassføring. Medianverdien ligg omrent på same nivå for alle åra. Median for heile perioda for auke er  $2.95 \text{ m}^3/\text{s}/\text{h}$ , og for senking er denne  $-2.66 \text{ m}^3/\text{s}/\text{h}$ . Det er elles relativt liten spreying av hovudmengda av verdiane, men det kan sjå ut som om talet på verdiar utanfor dette området ("outliers") aukar med tida, noko som vi kjem tilbake til i neste kapittel. Tabell 2 oppsummerer verdiane i figur 8 og 9. Samanlikna med elver evaluert for effektkøyring (sjå t.d. eksempel i Bakken et al 2016) er hovudtyngda av verdiane observert ved Stuvane relativt små.

Tabell 2 Statistikk for midlare og maksimal endringsrate ved auke og senking av vassføring.

Parameter	Middel auke $\text{m}^3/\text{s}/\text{h}$	Middel senk $\text{m}^3/\text{s}/\text{h}$	Max auke $\text{m}^3/\text{s}/\text{h}$	Max senk $\text{m}^3/\text{s}/\text{h}$
10% percentilen	2.04	1.82	2.14	1.88
25% percentilen	2.38	2.12	2.88	2.60
Median	2.95	2.66	4.10	3.64
75% percentilen	3.66	3.33	5.41	4.94
90% percentilen	4.47	4.04	6.94	8.08
Maksimum	27.02	19.00	44.04	35.76



Figur 9 Maksimumsverdi for forholdstal mellom maksimum ( $Q_{max}$ ) og minimum ( $Q_{min}$ ) for auke i vassføring (øvst) og senking av vassføring (nedst).

Figur 8 oppsummerer den maksimale endringa ved auke og senking av vassføringa. Ein ser her og at medianverdien er ganske lik over åra, for heile perioda er medianverdi for auke er  $4.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{h}$  og for senking  $-3.64 \text{ m}^3/\text{s}/\text{h}$ . Effekta av desse endringane i elva vil variere med elveprofila, og desse data vil vere grunnlaget for å seie noko om verknaden i elva av endringane. Ettersom dette ikkje var ein del av arbeidet er det ikkje gått vidare med dette. Ei slik analyse vil krevje meir detaljerte data om elvegeometrien. Når på året dei maksimale endringane oppstår er heller ikkje gjort i dette prosjektet, men dette er ein ting som bør vurderast i ei framtidig analyse sidan dette kan ha ulik effekt på t.d. fisk etter kva tid på året dei skjer.

I reglane for regulering av Stuvane er det sagt at stopp av turbin skal skje skånsamt og at nedkøyring frå produksjon til stopp skal skje over seks timer. For å sjå nærmere på dette er det gjort ei analyse av hydrogrammet frå Stuvane kraftverk. Sidan det ikkje har vore mogleg å finne timesdata frå før desember 2005 så er analysa gjort på data frå og med 2006. Det er og sett på dei periodane der kraftverket går til full stopp, dvs at dei periodane der kraftverket går frå høg til låg vassføring ikkje er tatt med. Dette er ei avgrensing som er gjort i samsvar med reglane for regulering, men i ei meir omfattande framtidig analyse bør dette utvidast til å ta med og andre periodar der ein går frå høg til låg vassføring.

Figur 10 viser delar av hydrogrammet frå Stuvane kraftverk frå time 7 når kraftverket har stoppa og tilbake 7 timer tilbake i tid slik at heile perioda er med. Dei aller fleste stoppende kjem etter ei gradvis nedkøyring over denne tidsperioda, men ein kan sjå at der er nokre få episodar der kraftverket går frå høg produksjonsvassføring til full stopp på mindre enn 6 timer. For å få oversikt over effekt av stopp i elva må ein og sjå stopp av kraftverket i samband med vassføringa forbi kraftverket sidan verknaden av slike stopp vil vere mindre

dersom det er høg vassføring elles i elva. Det er heller ikkje kjent kva årsaken til desse stoppane av kraftverket er. Ei meir detaljert analyse av dette er ikkje handsama i denne rapporten.

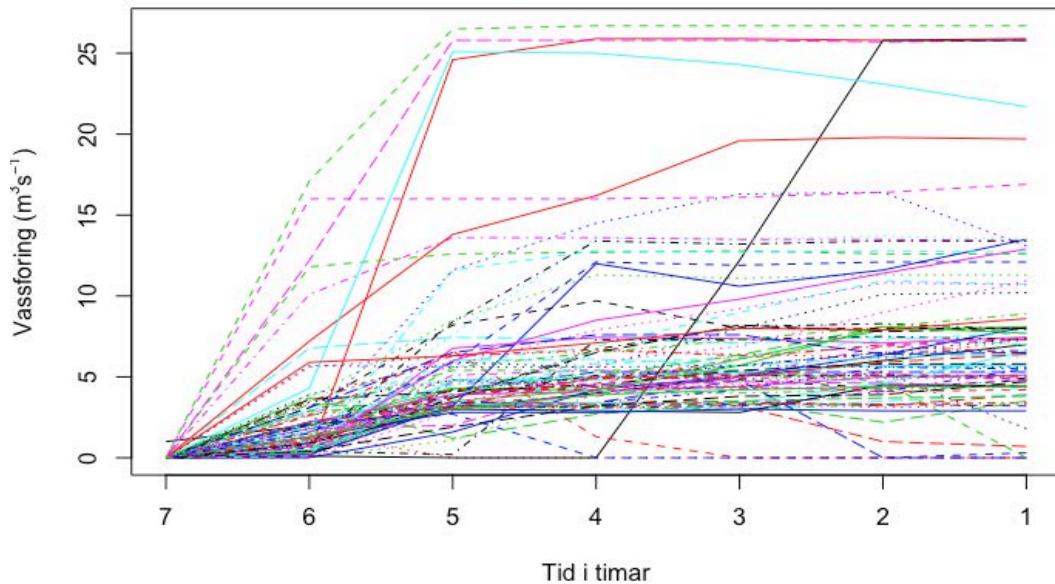


Figure 10 Kurver som viser nedkjøringa av Stuvane kraftverk til 0. Stopp skjer i time 7 og figuren viser så vassføringa bakover i tid frå dette tidspunktet.

Data for den fulle perioda i Stuvane kraftverk er vist i figur 11. Data er vist i meir detalj i vedlegg 3.

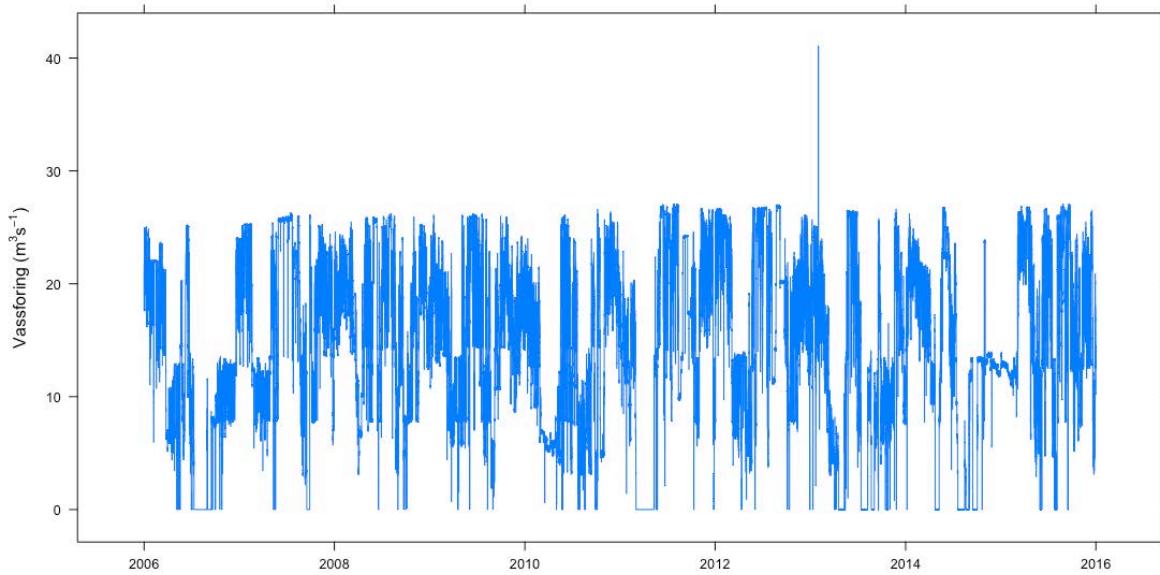
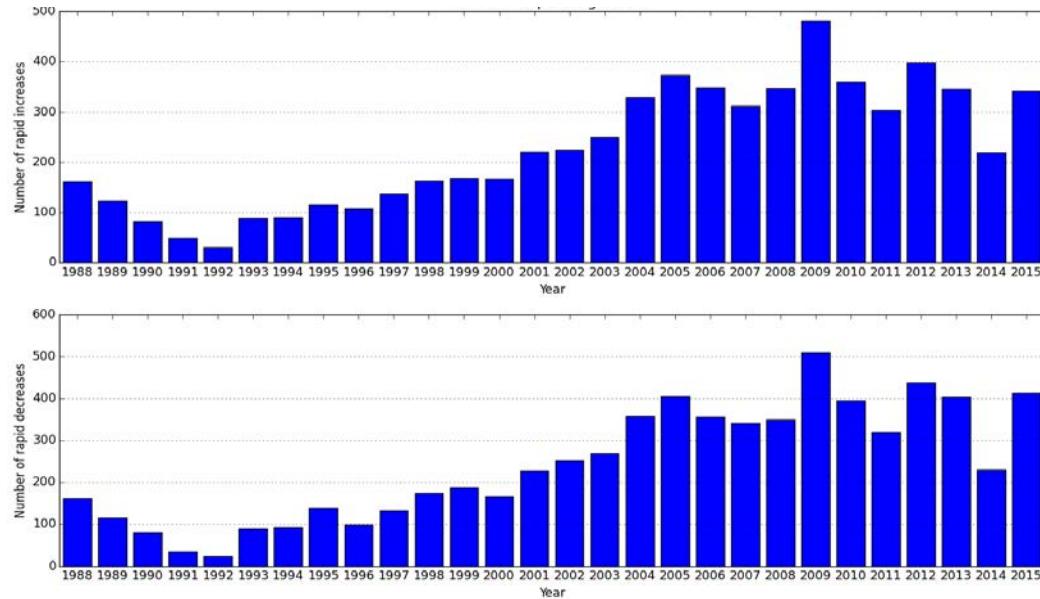


Figure 11 Fullstendig dataset for perioda som er analysert i figur 10.

### 3.3 Talet på endringar og fordeling i tid



Figur 12 Oppsummering av talet på hurtige auker (øverst) og senkingar (nederst) over åra som er analyserte.

Figur 12 viser talet på auker og senkingar over året. Vi ser her at det er ei auke begge katergoriar frå starten og fram mot midten av 2000-talet. Etter det har det variert rundt nokonlunde same nivå. Vidare ser vi frå figur 13 at talet på dagar med to eller fleire hurtige auker eller nedkøyringar har auka, spesielt utover på 2000-talet, og dette gjeld spesielt dei dagene vi har tre eller fleire slike endringar. Meir detaljerte informasjon om talet på endringar på års- og månadsbasis er viste i vedlegg 1.

Figur 14 viser fordelinga av endringar over døgnet. Frå den øvre figuren ser vi at flest auker skjer i morgontimane mellom klokka 0600 og 1000, medan senkinga skjer for det meste på nattestid, med flest endringar frå 2400 til 0100.

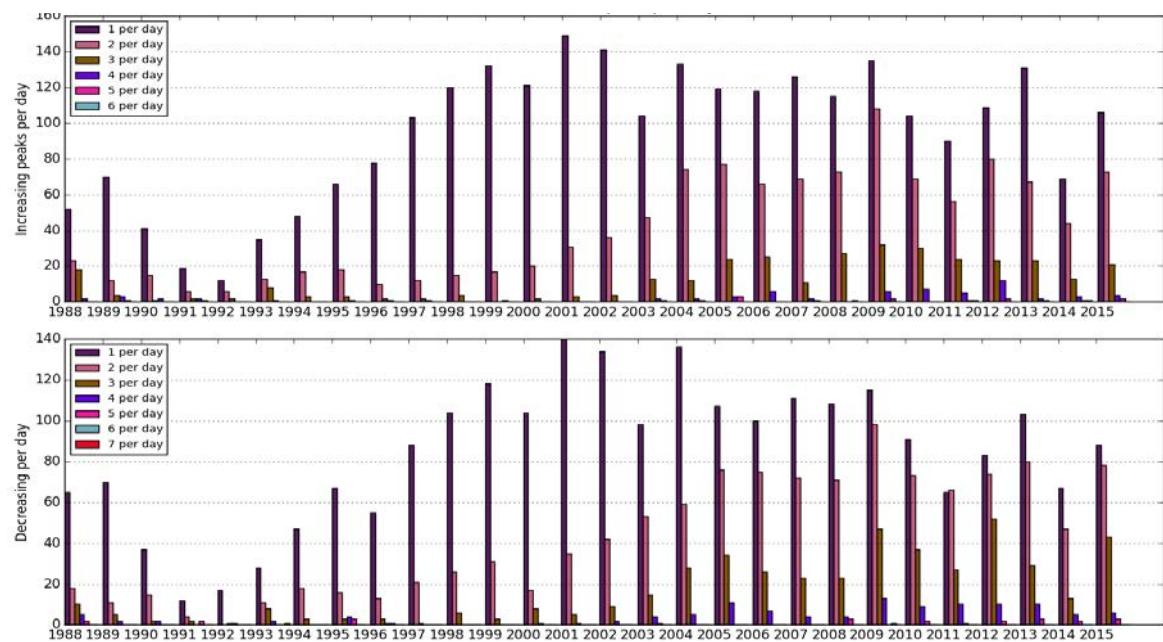


Figure 13 Talet på dagar med frå 1 til 7 hurtige endringar pr. dag for kvart år i analyseperioda. Auker i figuren øverst og senkingar nederst.

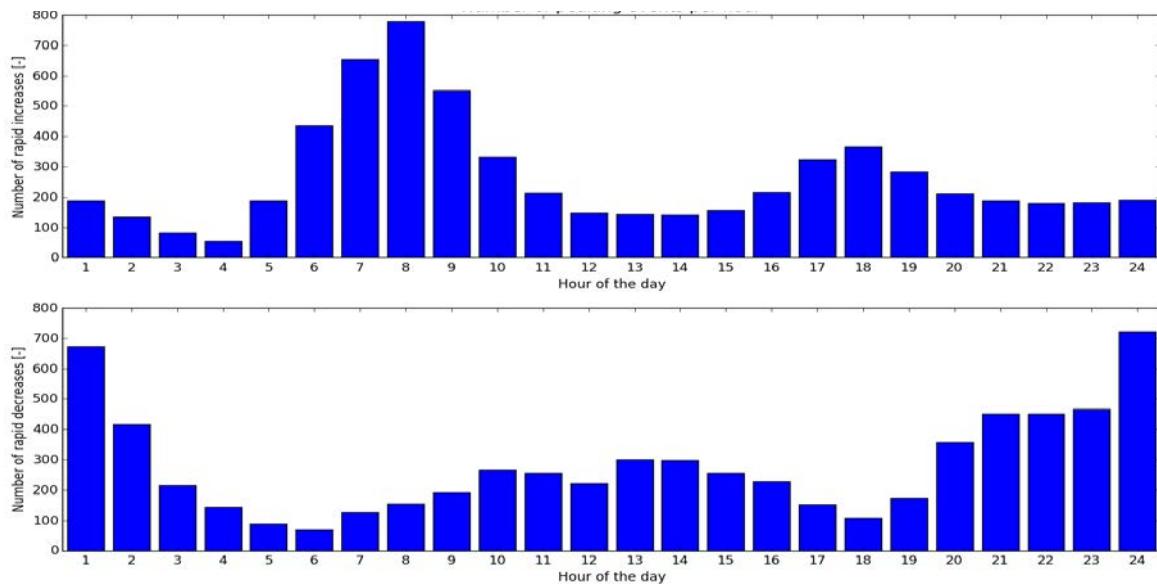


Figure 14 Fordeling av hurtige auker (øverst) og senkingar (nederst) over døgeret. Data er oppsummert for heile perioda.

Lærdalselva er ei viktig elv for laksefiske, og brå endringar i løpet av fiskesesongen kan påverke utøving av fiske. Det er difor gjort ei tilsvarende analyse som for månadane juni til august for å sjå på fordelinga av auke og senkingar i fiskesesongen.

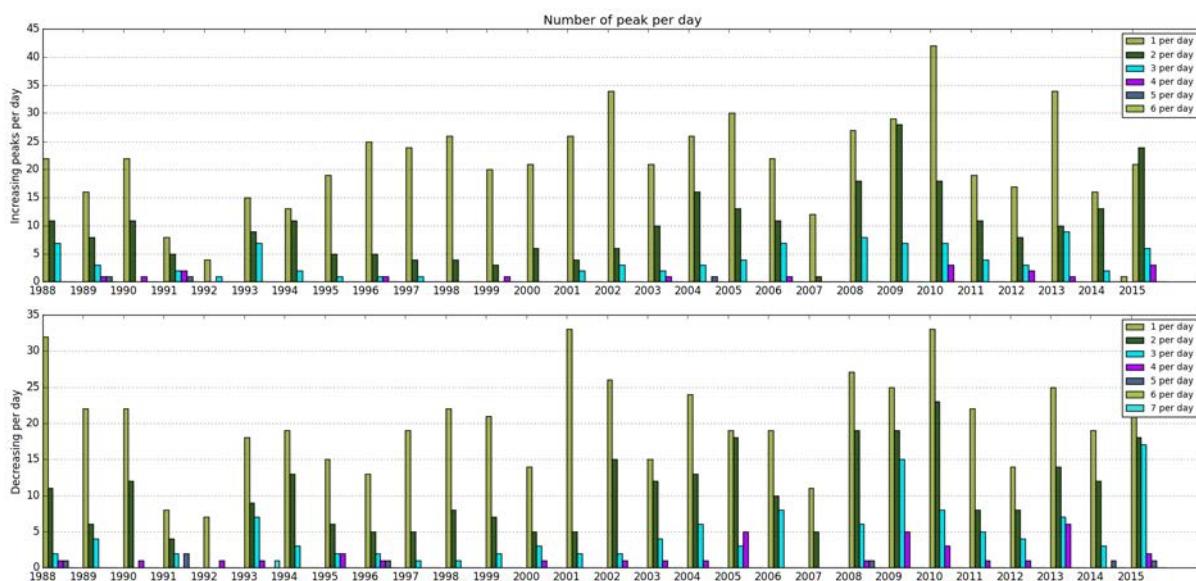


Figure 15 Talet på dagar med 1 – 7 hurtige endringar i fiskesesongen frå juni og ut august. Hurtige auker i vassføring i den øvre figuren og hurtige senkingar i den nedre figuren.

Figur 15 viser talet på endringar pr dag i sommarsesesongen frå 1988 og fram til 2015. Det er eit mindre tydeleg mønster i denne perioda enn i tilsvarende data for heile året som er vist i figur 13. Men frå figur 15 ser vi at talet på dagar med fleire enn 1 endring har auka frå starten og fram til dei seinare åra i sommarsesesongen. For å finne ut kor vidt dette påverkar fisket må det gjerast ei meir omfattande analyse for å finne ut om desse endringane skjer på stor elv eller om dei skjer på lita elv sidan endringar på lita elv har større effekt på utøving av fiske (R.Bjørum pers. med.). Det vil og her vere ulik effekt i ulike delar av elva utifrå elveprofilet og lokale elvetypar.

#### 4. Oppsummering og diskusjon

Frå analysa kan ein sjå at der er ein tydeleg regulert effekt på vassføringsregimet i Stuvane og at endringar i kraftproduksjonen klart kjem fram i vassføringsserien. Talet på hurtige auke og senking av vassføringa over året har og auka frå starten av dataserien i 1988 og fram til i dag, og det siste tiåret ligg klart over åra før. Vi ser også at talet på dagar med fleire enn ei hurtig endring har auka i dei siste åra i perioda. Storleiken på endringane held seg derimot ganske lik over heile perioda sjølv om der er noko fleire store verdiar i data frå dei siste åra. Det kjem og fram enkelte kortvarige dropp i vassføringa ned mot eit svært lågt nivå sett i høve til normalverdiane i vassføringsserien. Dette kan vere stopp/eller utfall av kraftverket, og slike brå endringar kan vere uheldig og treng kanskje ei særskild vurdering.

Spesielt i auke av vassføring (figur 14, øvre graf) kan vi sjå eit mønster med oppkøyring på morgen og ein svak auke rundt kl. 1800. Men vi ser ikkje ein tilsvarende klar nedtapping på dagsid eller tidleg kveld som er typisk for fleire effektkøyrd vassdrag.

Eit val som er gjort i desse analysane er å kutte ut vassføringar over  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  frå. Eit spørsmål då er om endringar i samband med stigande naturleg vassføring kan maskere ut reguleringseffekt. For å sjekke dette er det gjort ei tilsvarende køyring med COSH-Tool med  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  som øvre grense. Frå dette ser vi at mønsteret i endringar tilsvavar det som er vist tidlegare i rapporten når  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  er brukta.

For å vurdere om endring i naturleg variabilitet kan påverke den auka i endringar som er observert ved Stuvane er ei tilsvarende analyse køyrt for vassmerket Lo bru (73.1.0). Denne ligg oppstraums kraftverksutløpet, men kan vere påverka av tapping frå magasin i fiskeesesongen i følge stasjonsdata ved NVE. Data frå denne stasjonen er køyrt igjennom COSH-Tool for perioda 1990 – 2015 med ei tidsoppløsing på 1 time som er minste tidsskritt tilgjengeleg, men elles med same opplegg som for Stuvane. Samanlikning av talet på hurtige endringar mellom dei to stasjonane viser ingen tilsvarende auke i endringar ved Lo bru som vi ser ved Stuvane (merk at det ikkje er gjort noko statistiske vurderingar av denne skilnaden).

Carollo *et al.* (2015) gjorde ei vurdering av reguleringseffekt i ei lang rekke elver i Europa med eit kriterie som er mindre omfattande enn det som er brukta her. To faktorar vert evaluert i denne metoda, den eine er eit mål på endring i vassføring i høve til middelverdi (storlek på endring) og den andre måler endring av vassføring over eit tidsskritt (endringsrate). Her vert Lærdalselva karakterisert som "Peaked" med "medium pressure" ettersom målet på kor hurtige endringane er over tid kjem over grenseverdien for effektkøyring, medan storleiken på endringa ikkje er over grenseverdien. Grenseverdiane er funne frå ei statistisk vurdering av ei lang rekke regulerte elver i Norge, Sveits og Italia. Denne metoda måler ikkje frekvensen av endringar eller talet på endringar pr. dag og gir difor ikkje det same datagrunnlaget som bruk av COSH-Tool, men den viser som diskutert tidlegare at vassføringa i Lærdal er tydeleg påverka av reguleringa.

Ein kan ikkje med grunnlag i data og resultata frå COSH seie at Lærdalselva er effektkøyrd etter definisjonen som er lagt til grunn i rapporten frå EnviPeak prosjektet (Bakken *et al.* 2016), det vil seie at ein ikkje ser ein systematisk start og stopp effekt på vassføringa målt ved Stuvane over døgn og veke. Så konklusjonen må vere at dei hurtige endringane vi ser i

Lærdal ikkje er typisk for det køyremønsteret som vi reknar som effektkøyring. På den andre sida ser vi eit mønster i den analyserte vassføringa som viser ei auke i hurtige endringar over perioda som er analysert, og ei døgnfordeling av desse som tyder på at kraftverket i aukande grad tilpassar seg korttidsvariasjonar i behov for produksjon. Vi ser og at dei hurtige endringane i aukande grad skjer fleire gongar pr. dag. I tillegg til dette ser vi nokre episodar som verkar som utfall i kraftverket som fører til rask senking av vassføring.

Dette arbeidet ser kun på endringar i vassføring, og kor vidt dette samsvarar med ein definisjon av effektkøyring. Effektene av dei hurtige endringane i vassføring som ein ser i Lærdal på vassdragsmiljøet eller på bruken av vassdraget til t.d. fiske har ikkje vore vurdert som ein del av dette oppdraget.

## REFERANSER

- Anonym (1979) VEDLEGG 6: Håndgivelse mellom grunneiere og østfold fylkeskommune til fallrettigheter ved bygging av Stuvane kraftverk.
- Bakken, T.H., Forseth, T., Harby, A., Alfredsen, K., Arnekleiv, J.V., Berg, O.K., Casas - Mulet, R., Charmasson, J., Greimel, F., Halley, D., Hedger, R., Larsen, B.M., Leo, F., Melcher, A., Puffer, M., Pulg, U., Reitan, O., Rüther, N., Saltveit, S.J., Sauterleute, J., Schneider, M., Skoglund, H., Sundt, H., Timalsina, N., Ugedal, O., Dijk, J.V., Vollset, K.W., Zakowsky, T. & Zinke, P. (2016) Miljøvirkninger av effektkjøring: Kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri. *NINA Temahefte*, pp. 205. Norsk Institutt for Naturforvaltning, Trondheim.
- Carolli, M., Vanzo, D., Siviglia, A., Zolezzi, G., Bruno, M. & Alfredsen, K. (2015) A simple procedure for the assessment of hydropeaking flow alterations applied to several European streams. *Aquatic Sciences*, **77**, 639-653.
- Sauterleute, J. & Charmasson, J. (2014) A computational tool for characterisation of rapid fluctuations in flow and stage in rivers caused by hydropeaking. *Environmental Modelling and Software*, **55**, 266-278.



## VEDLEGG 1

### OPPSUMMERINGSTABELL FOR BRÅ ENDRINGAR

	Number of inc													
	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
January	2	3	0	0	3	0	2	11	16	4	13	10	18	25
February	4	12	0	0	0	2	0	4	5	0	13	19	20	19
March	0	29	2	0	1	1	0	1	3	5	13	20	18	36
April	3	8	1	0	0	6	3	2	3	3	6	6	19	9
May	23	19	21	5	11	24	15	11	6	17	16	15	12	13
June	34	18	7	21	1	23	14	0	22	7	7	6	12	15
July	21	23	26	18	2	28	6	25	14	11	11	16	9	13
August	12	10	19	0	5	4	23	8	7	21	17	9	13	13
September	23	1	1	4	4	0	10	16	8	23	20	10	4	14
October	23	0	3	0	2	0	6	25	7	12	11	17	4	11
November	5	0	0	0	0	1	8	6	3	14	20	18	12	21
December	11	0	2	2	1	0	4	6	14	20	16	23	26	31
SUM	161	123	82	50	30	89	91	115	108	137	163	169	167	220
	Number of de													
	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
January	3	3	0	0	1	0	0	11	21	5	9	15	19	22
February	4	10	0	0	1	0	1	4	4	0	13	17	12	23
March	0	31	3	0	1	0	0	2	3	5	10	24	17	38
April	0	4	0	0	0	2	0	0	3	1	11	9	13	8
May	14	18	18	0	6	18	8	8	6	14	18	12	16	8
June	30	6	4	17	4	23	11	1	22	2	9	4	11	11
July	29	28	28	16	1	38	13	26	17	14	18	28	12	22
August	11	14	20	0	7	8	31	15	0	18	15	10	15	17
September	24	0	5	3	2	0	13	12	3	29	17	9	6	10
October	30	0	2	0	0	0	2	37	3	14	14	17	2	17
November	7	0	1	0	0	0	9	13	4	15	22	19	14	24
December	10	1	0	0	1	0	4	10	13	16	19	24	29	29
SUM	162	115	81	36	24	89	92	139	99	133	175	188	166	229
	Number of inc													
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
January	36	26	39	35	34	37	35	38	47	28	36	51	47	0
February	25	15	16	38	25	24	23	38	33	46	40	40	35	0
March	22	6	15	37	40	24	25	55	1	5	42	32	33	25
April	13	23	25	15	31	28	20	39	0	5	32	8	9	20
May	9	36	33	25	33	37	24	45	22	21	40	13	15	38
June	9	13	39	12	32	1	14	24	35	26	12	35	24	31
July	34	10	9	20	25	1	36	52	44	15	27	35	19	37
August	13	29	25	38	13	13	38	31	33	13	12	16	12	32
September	8	2	23	49	8	18	32	34	42	5	13	28	10	31
October	21	32	39	25	29	43	34	48	17	43	50	27	12	43
November	15	32	42	44	40	44	32	36	49	56	48	33	3	43
December	20	26	25	35	38	41	34	41	37	41	45	28	0	42
SUM	225	250	330	373	348	311	347	481	360	304	397	346	219	342
	Number of de													
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
January	35	31	40	36	42	38	42	42	51	33	40	56	41	0
February	25	15	19	36	32	25	23	37	33	45	40	34	42	0
March	27	8	15	38	44	26	23	54	0	4	45	40	39	22
April	15	21	28	15	31	30	16	38	0	1	32	13	17	26
May	10	42	38	25	31	39	21	50	23	17	41	14	8	43
June	20	19	32	14	36	0	19	30	39	31	10	40	24	30
July	34	12	16	26	21	4	35	62	45	17	25	36	24	51
August	13	25	25	47	7	18	39	37	33	12	14	23	10	41
September	10	1	24	52	9	23	34	28	44	3	16	39	13	37
October	26	31	48	33	27	44	32	52	22	49	51	35	10	57
November	16	39	46	44	36	52	35	38	55	54	51	37	2	58
December	22	26	27	39	40	42	31	42	51	54	73	37	0	48
SUM	253	270	358	405	356	341	350	510	396	320	438	404	230	413

Denne tabellen viser talet på hurtige auker og senkingar fordelt på månad og år. Summerer ein for kvart år får ein data som er vist i figur 12. I overskrifta på tabellen er "number of inc" talet på auker i vassføring og "number of de" er talet på senkingar.



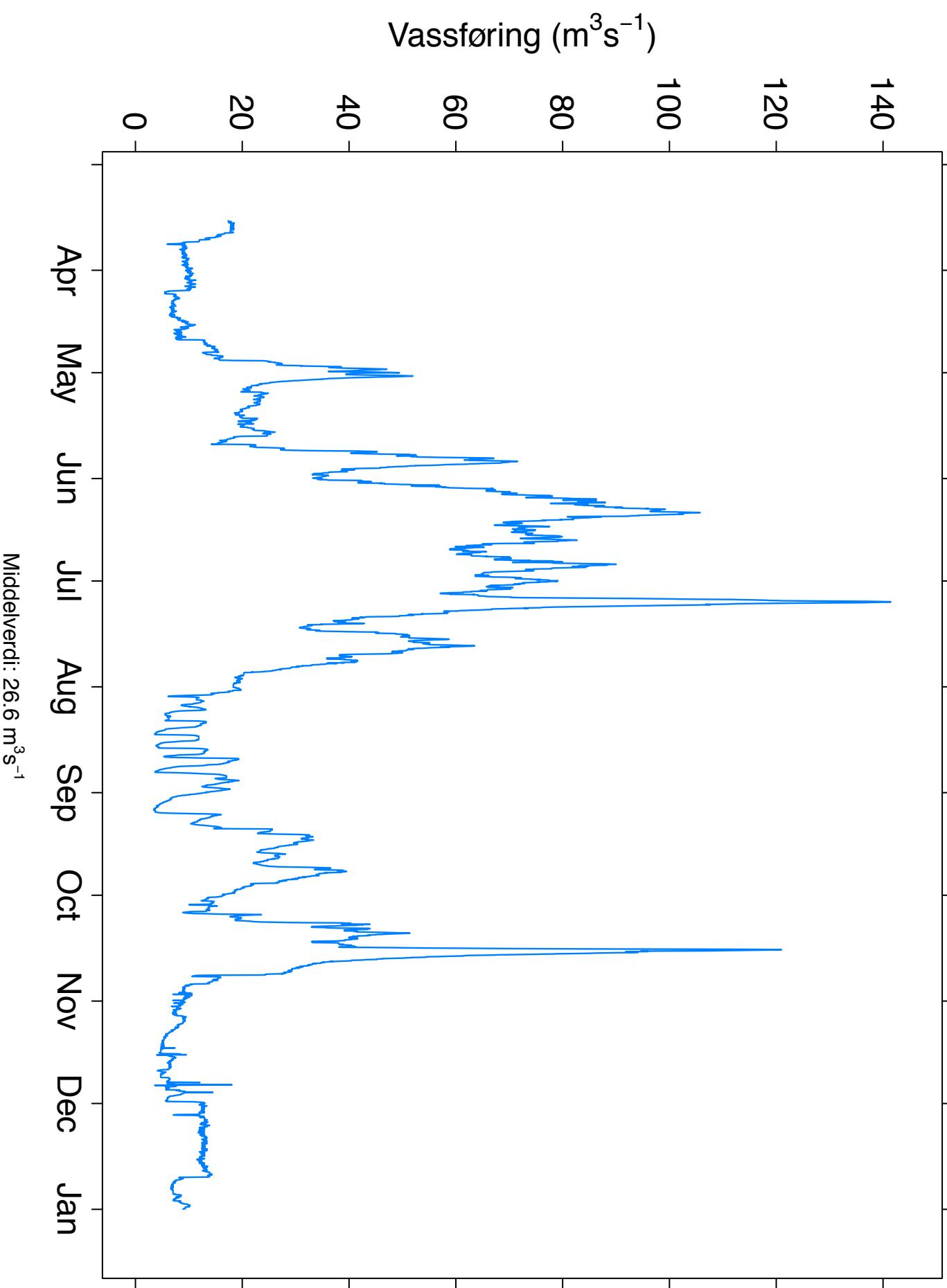
## VEDLEGG 2

### ÅRSVASSFØRINGAR FOR STUVANE VASSMERKE 1988 - 2015

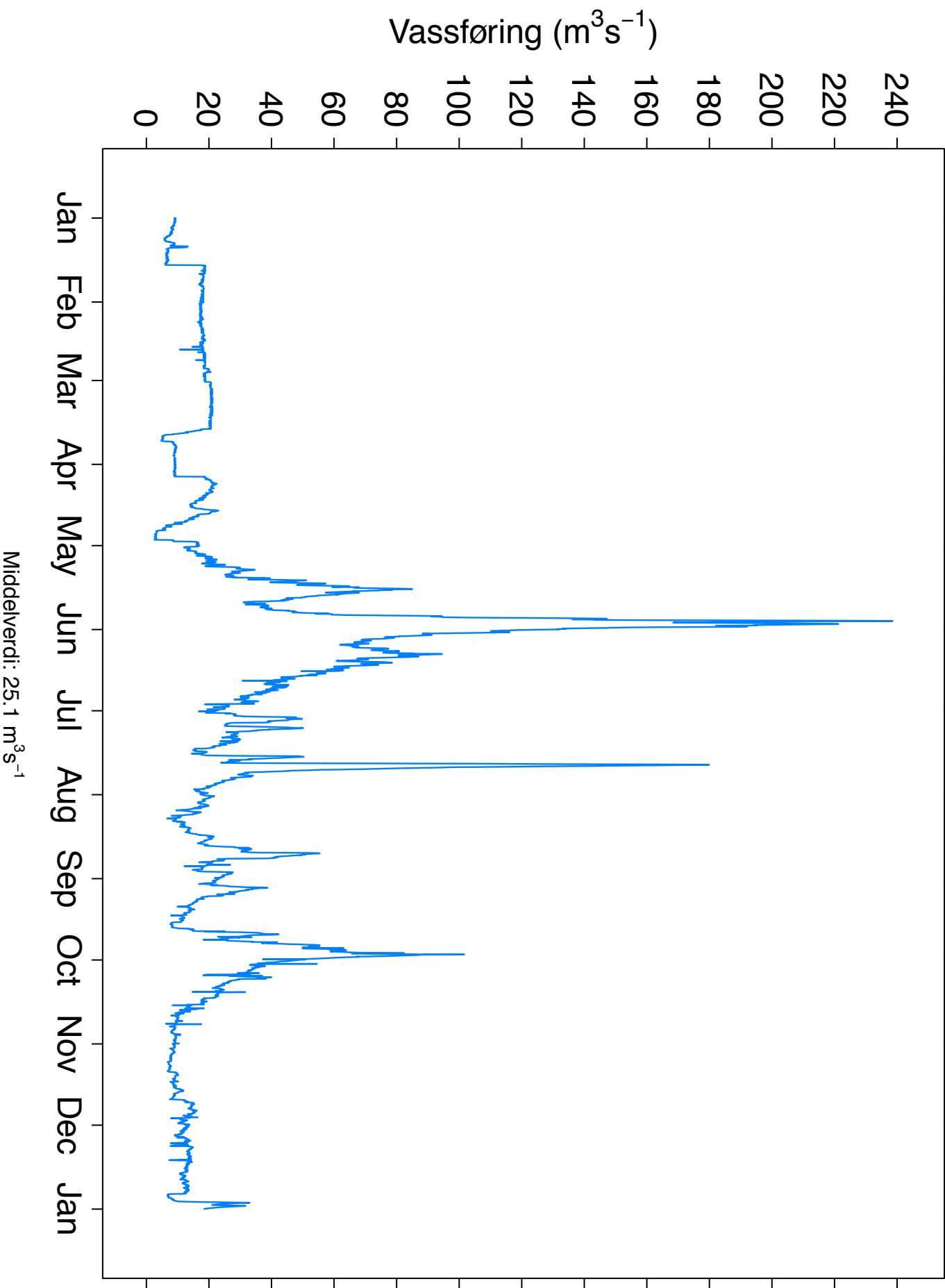
(Kjelde: NVE)  
(merk at skal på y-akse varierer frå år til år)



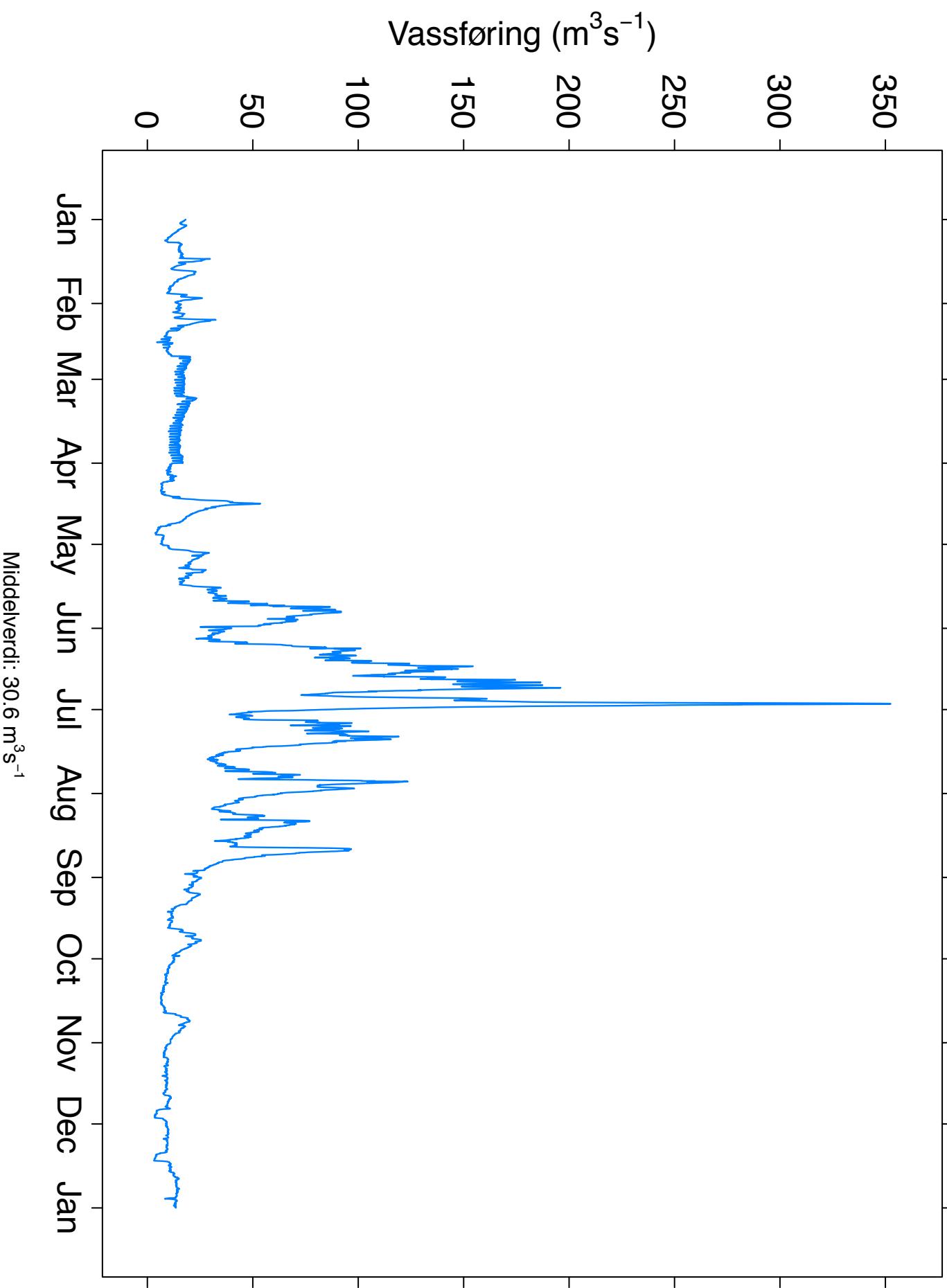
Stuvane\_1987



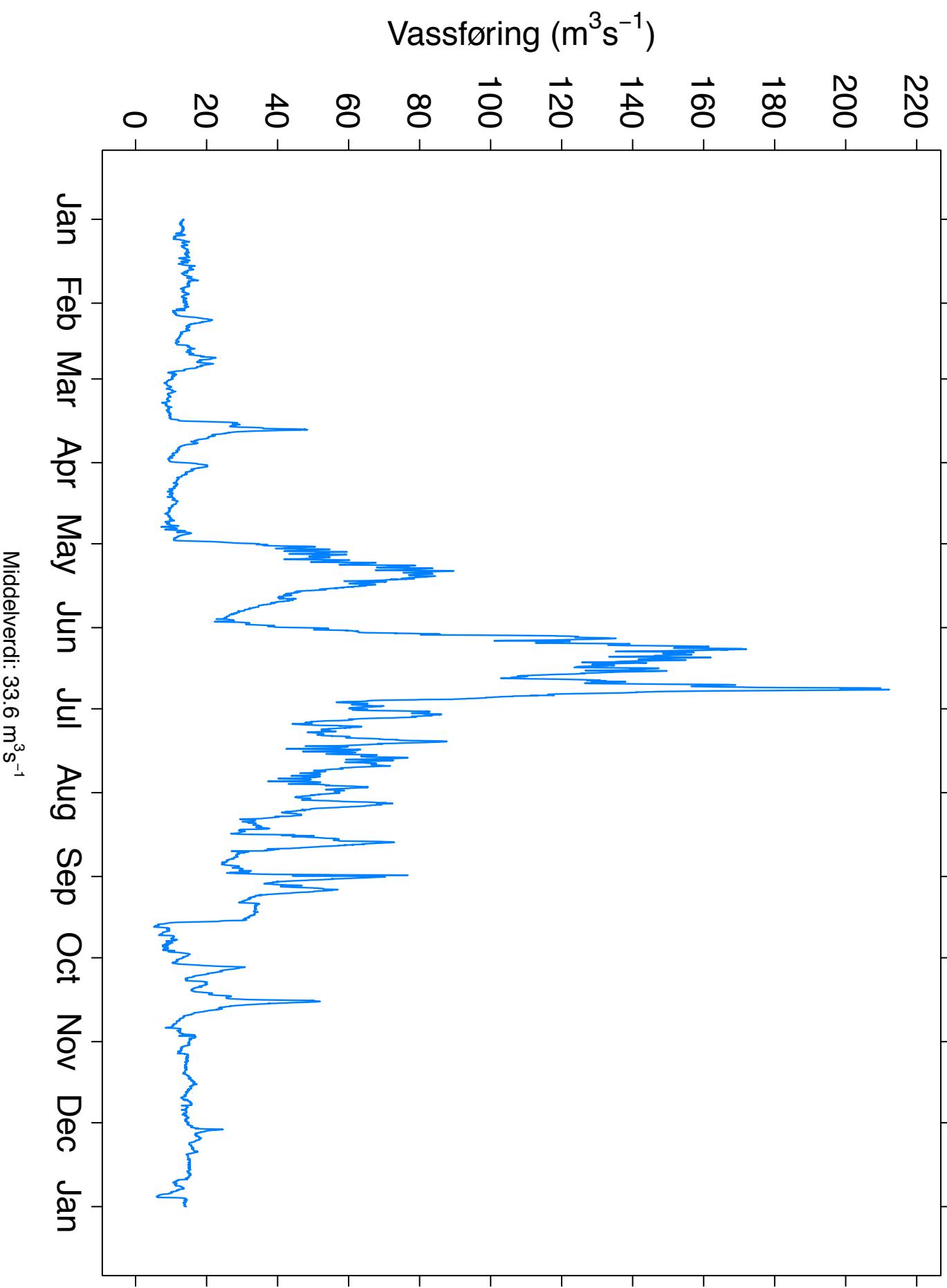
Stuvane\_1988



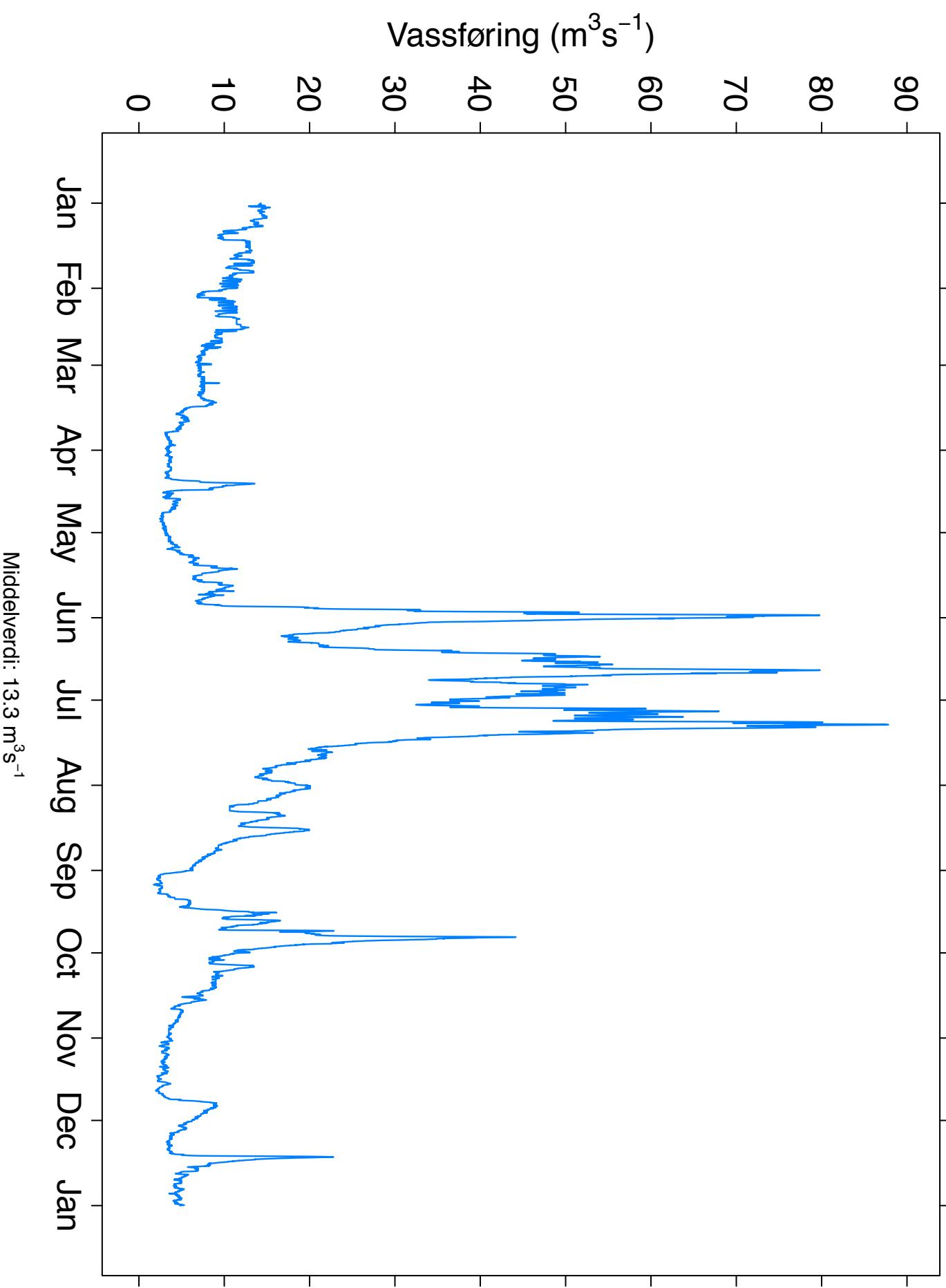
Stuvane\_1989



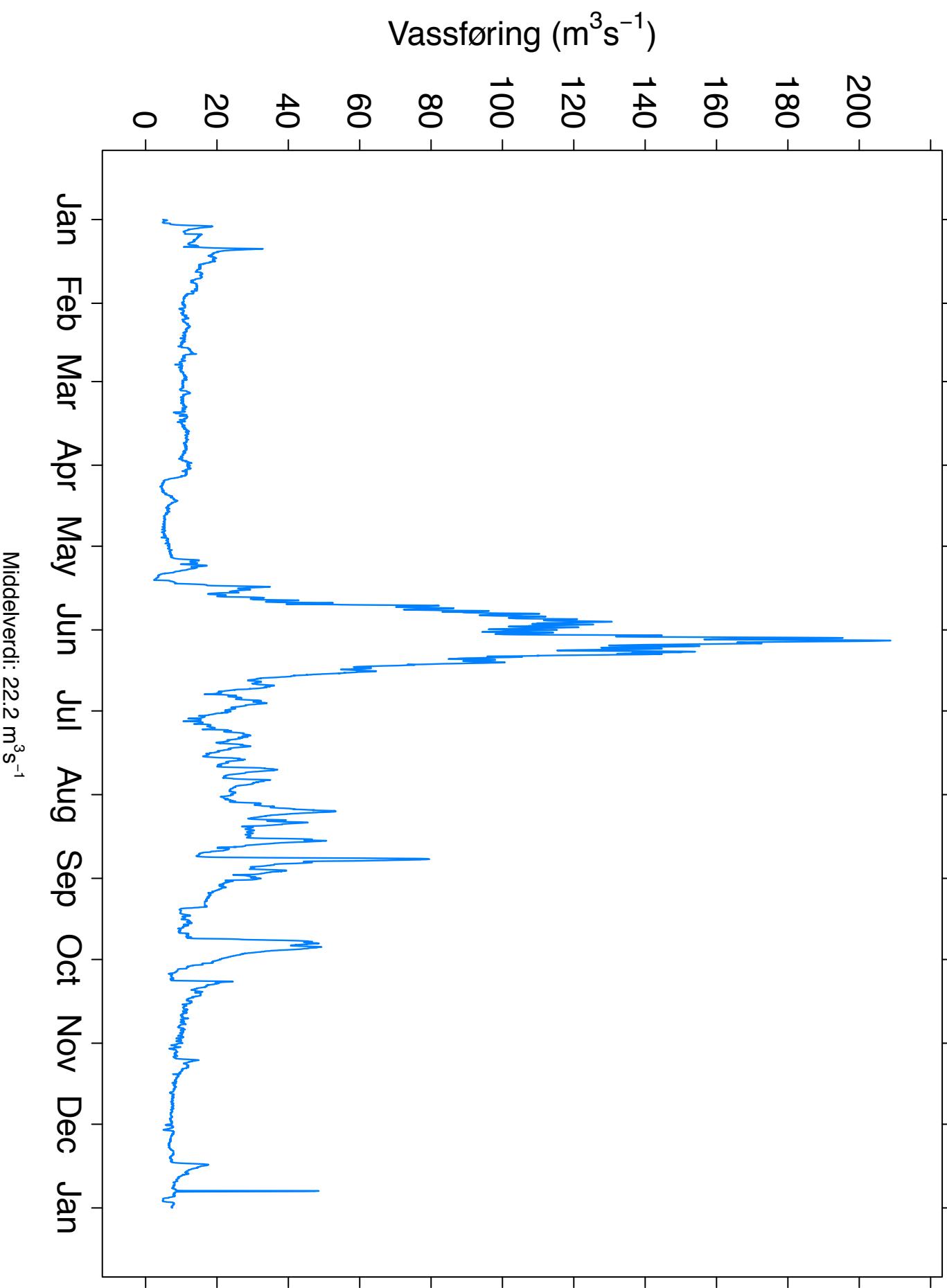
Stuvane\_1990



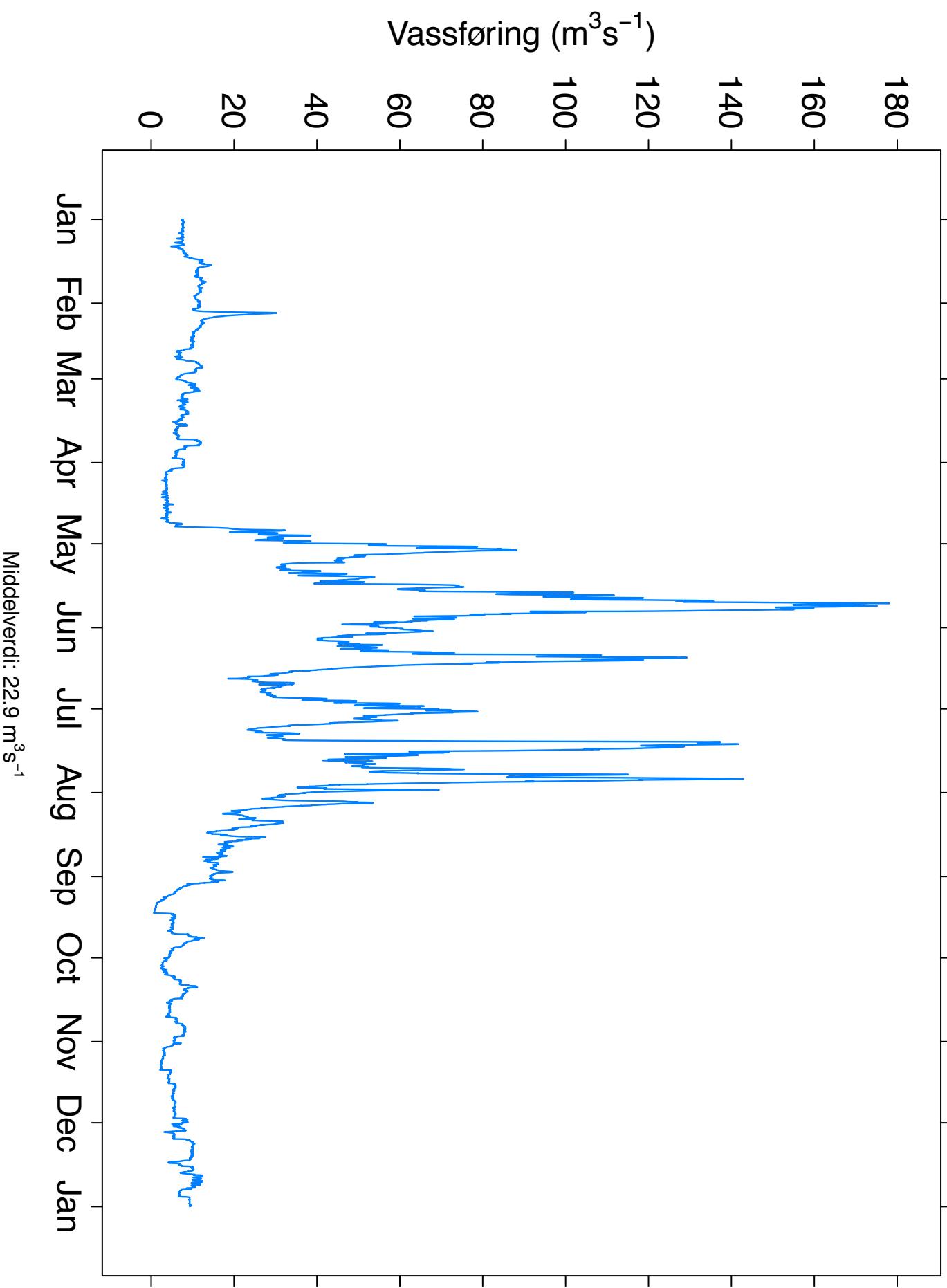
Stuvane\_1991



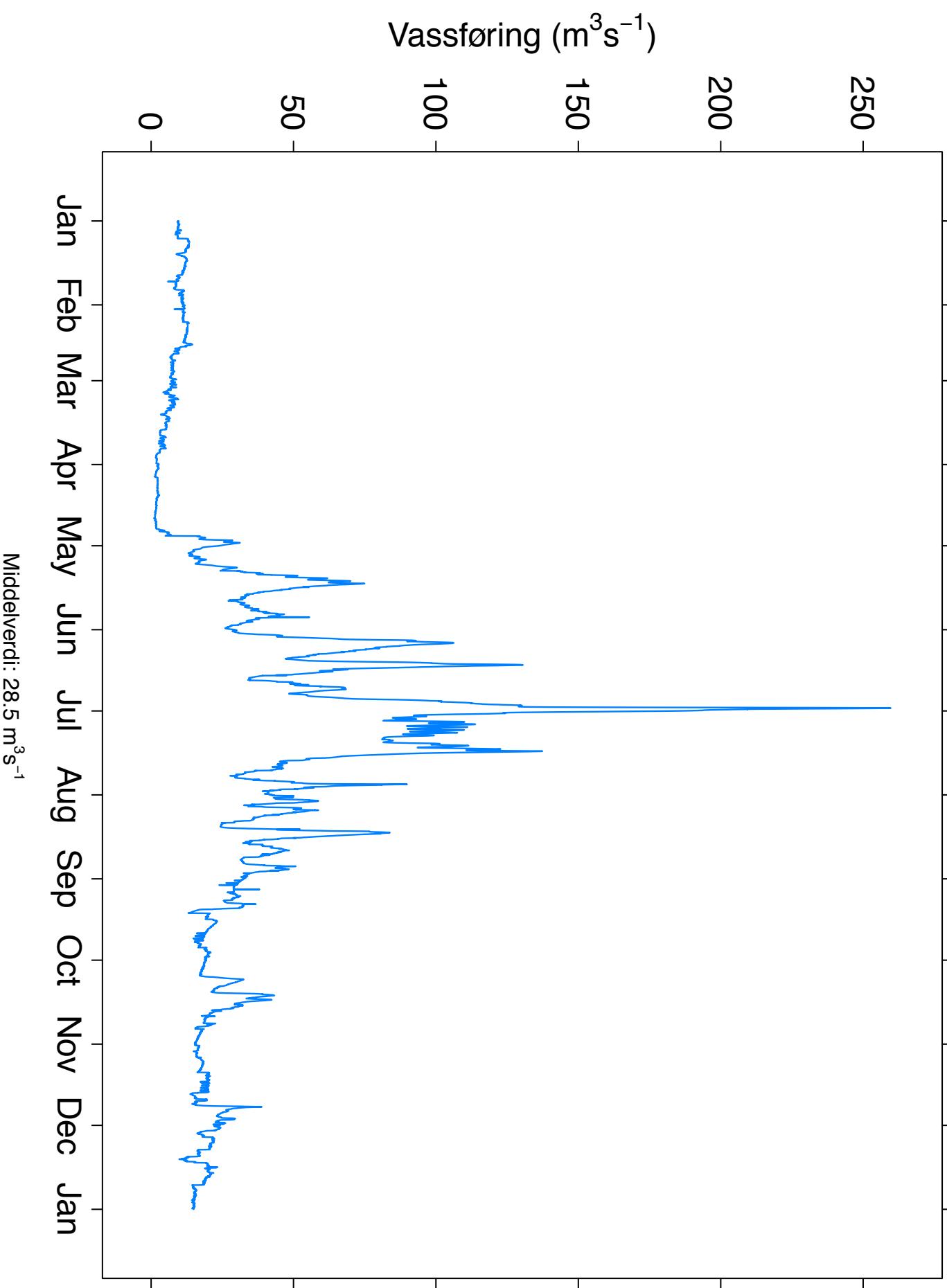
Stuvane\_1992



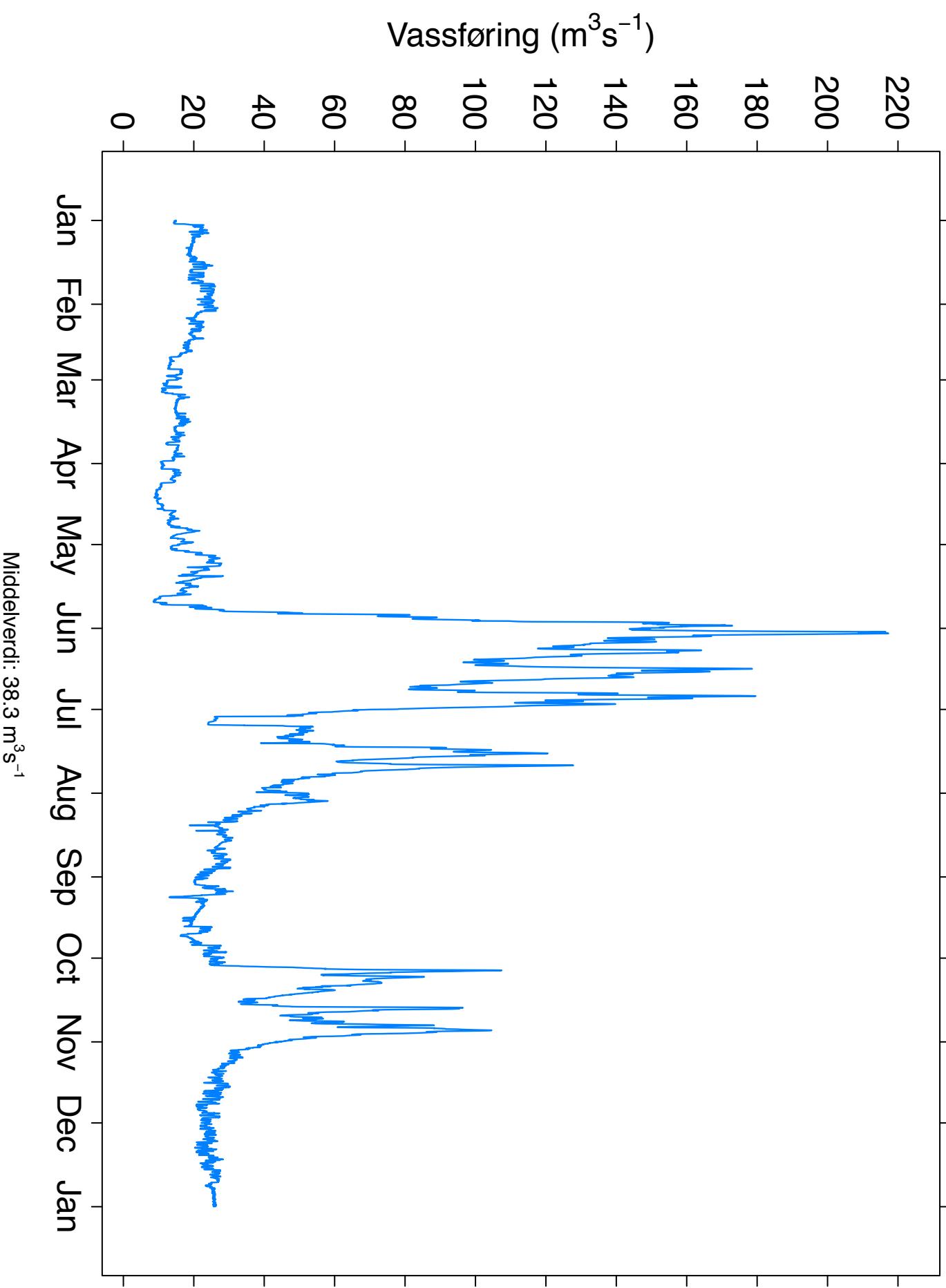
Stuvane\_1993



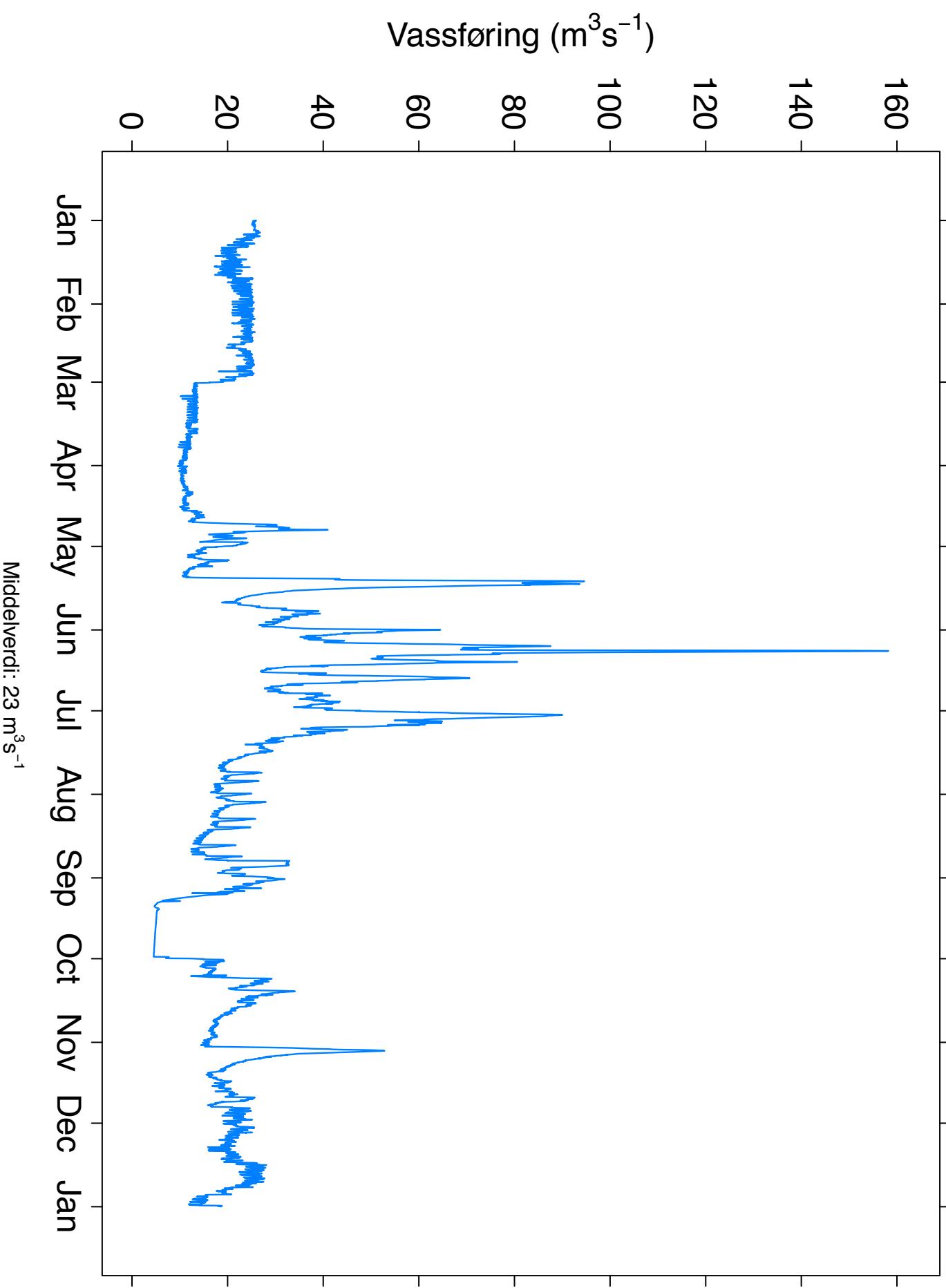
Stuvane\_1994



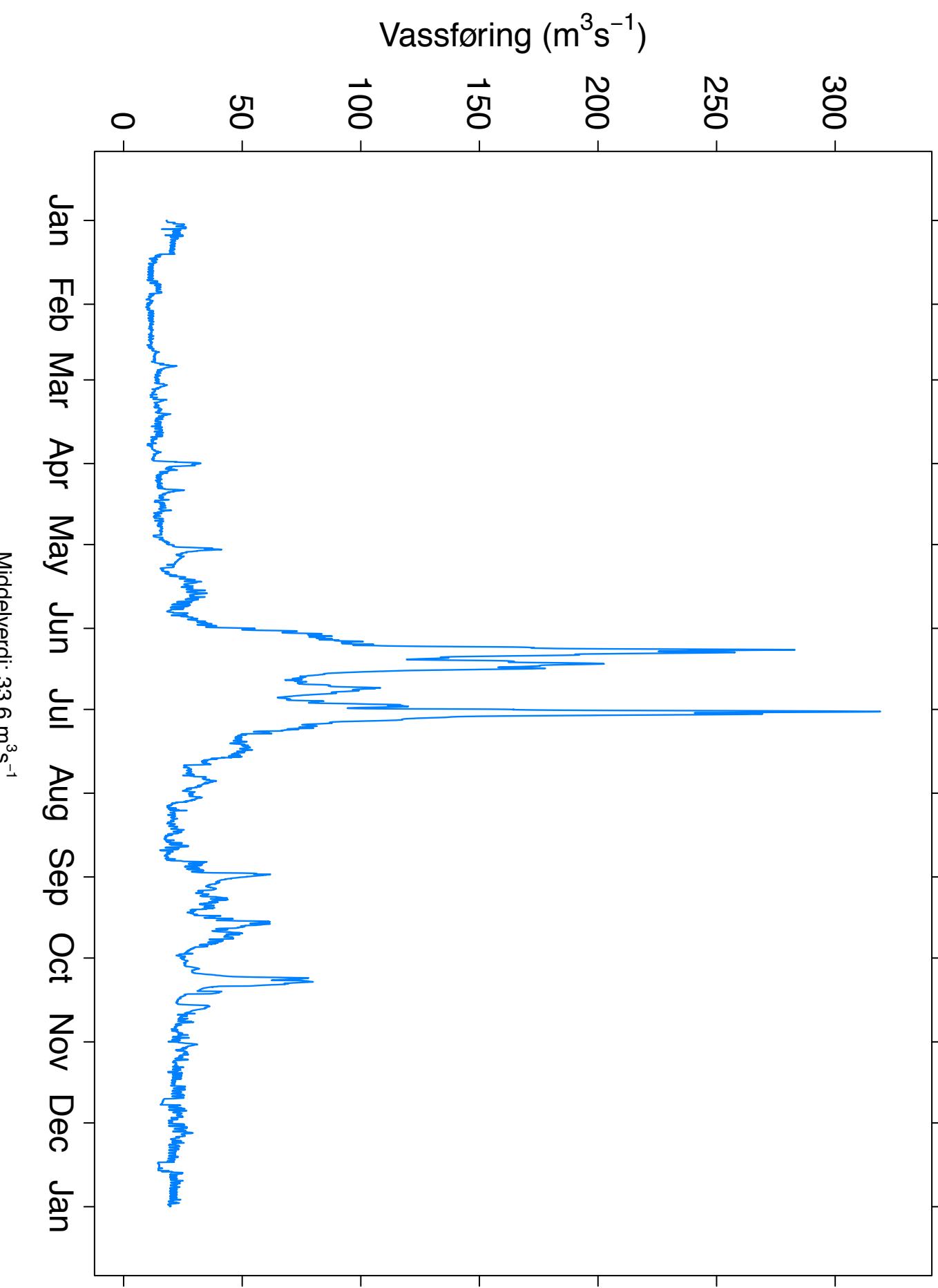
# Stuvane\_1995



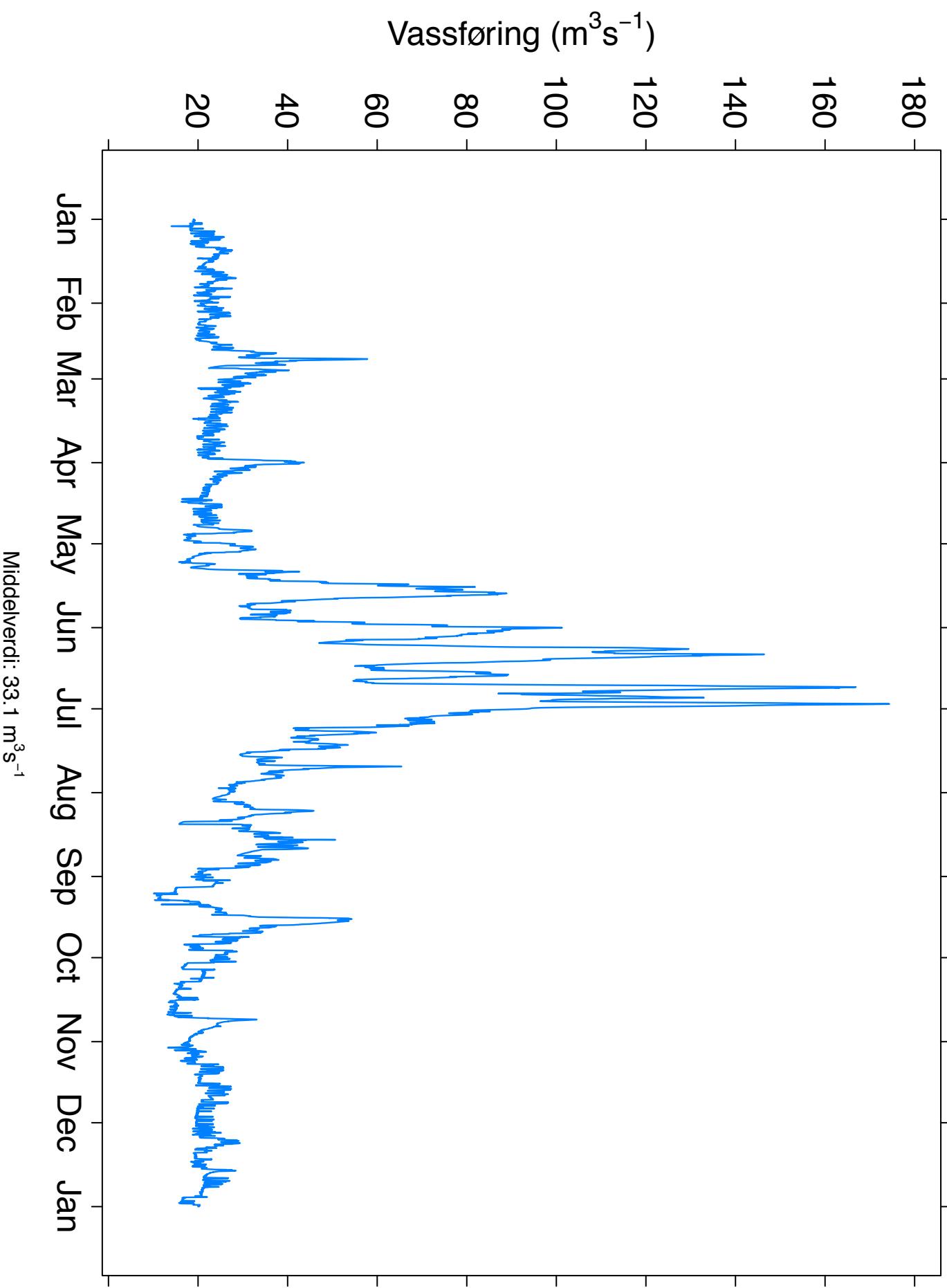
Stuvane\_1996



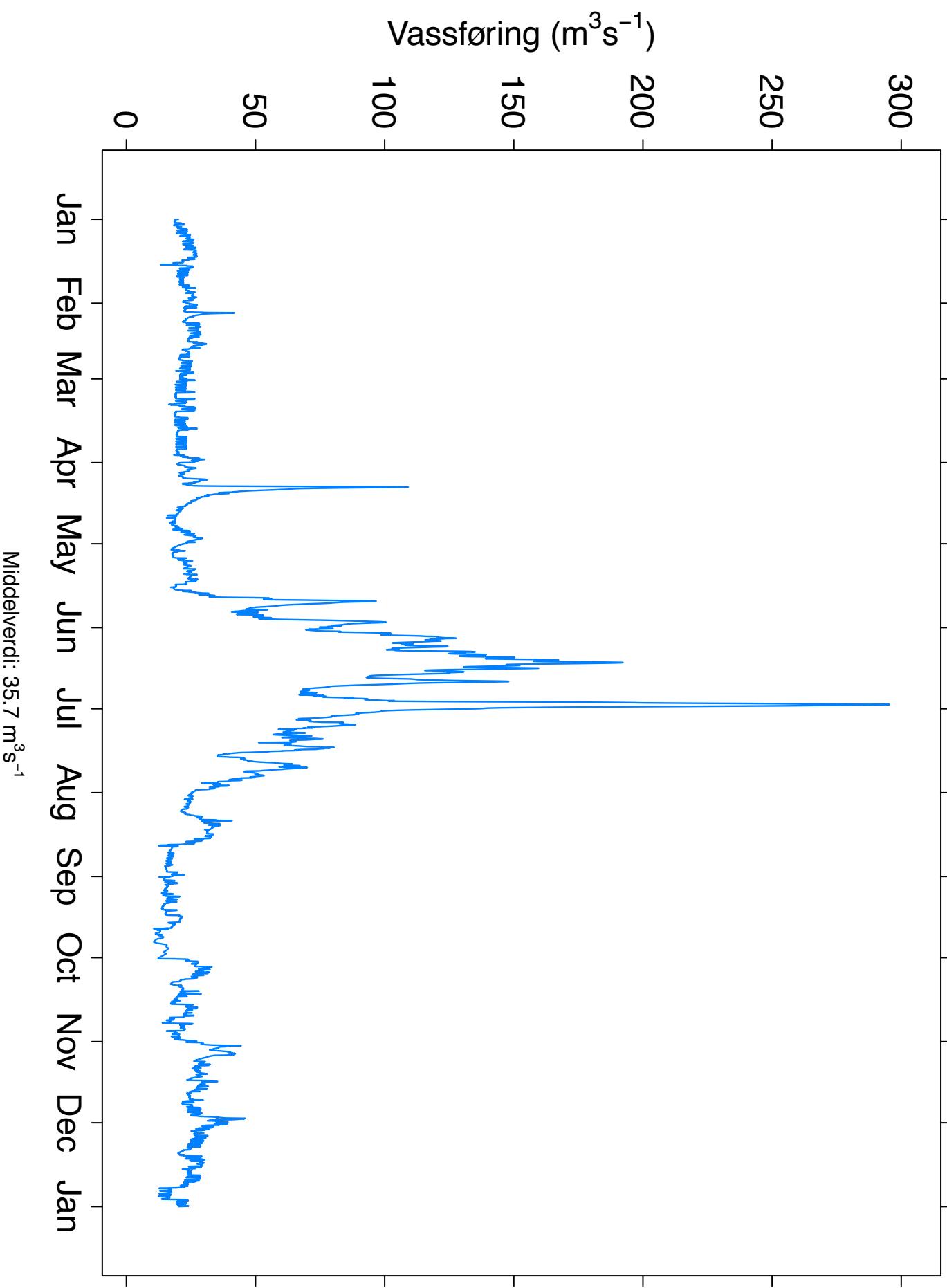
Stuvane\_1997



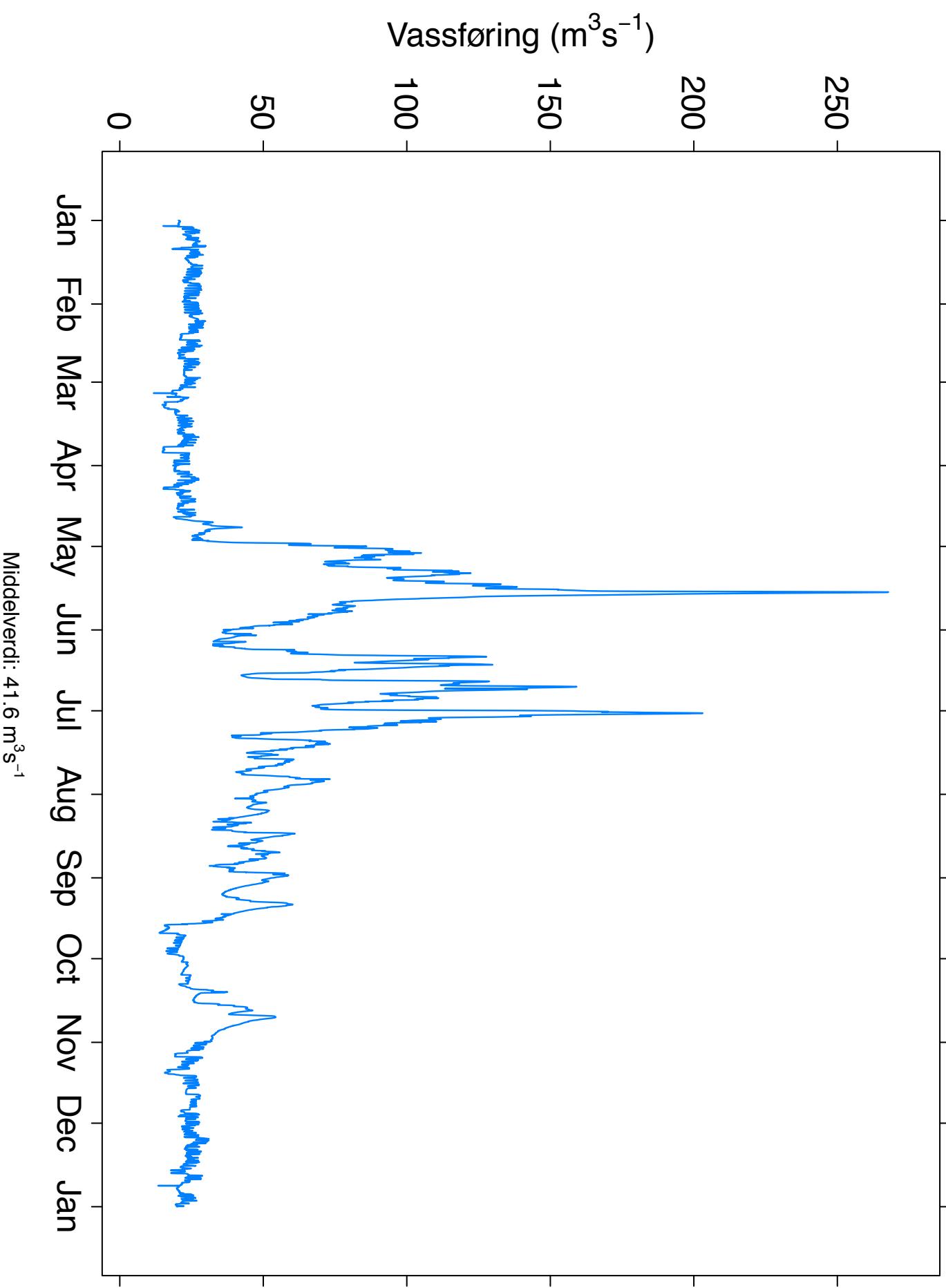
Stuvane\_1998



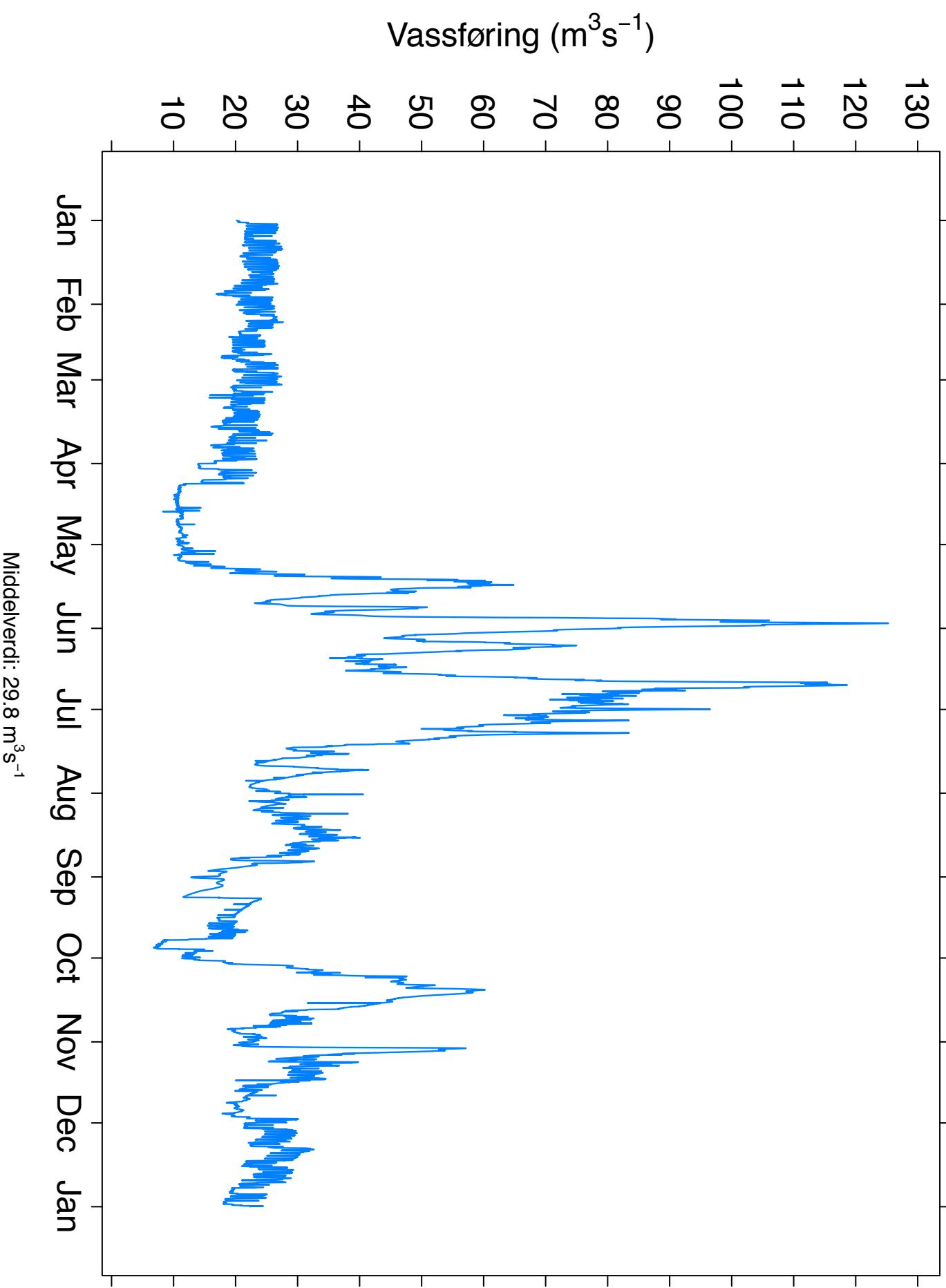
Stuvane\_1999



Stuvane\_2000

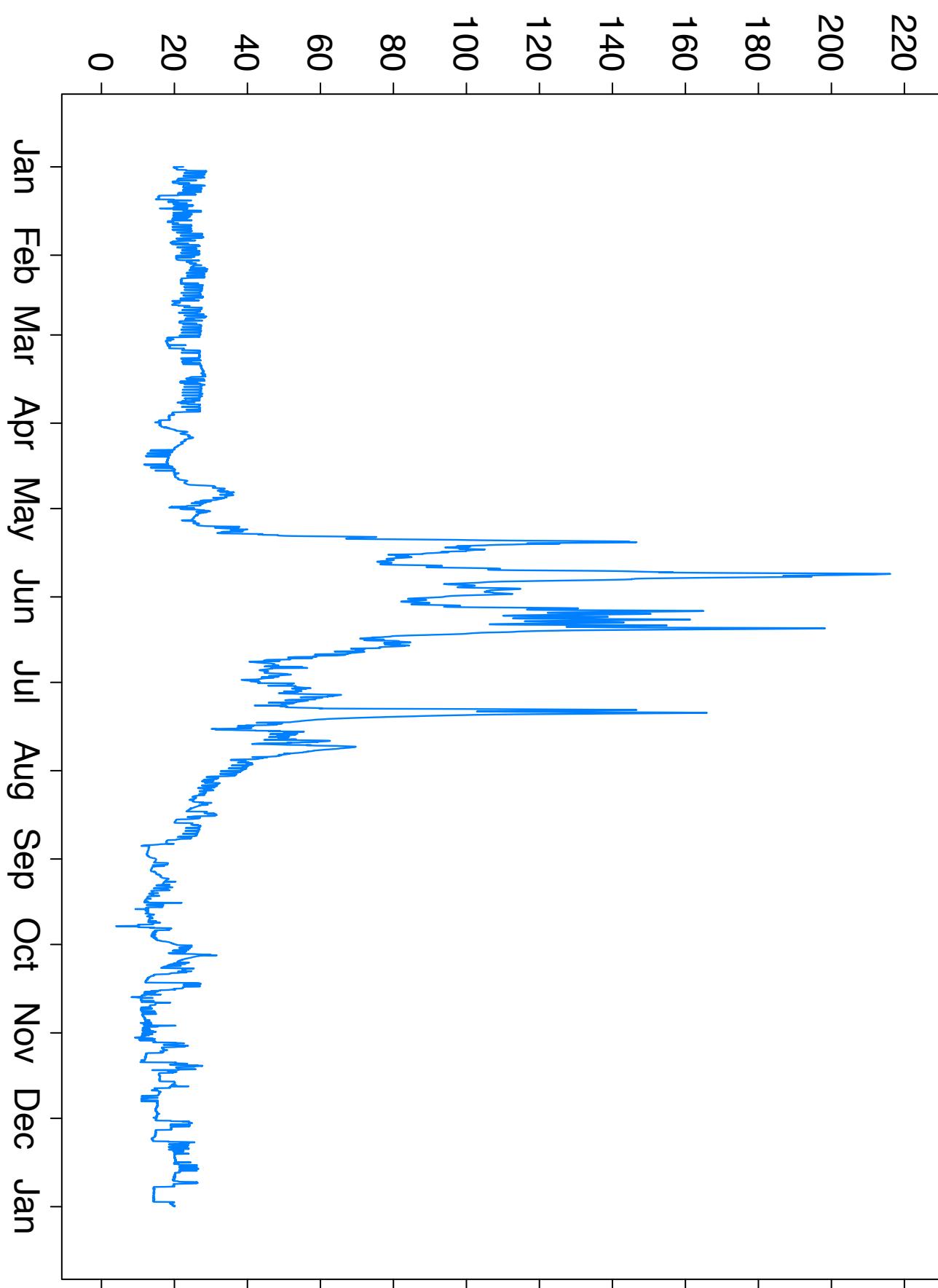


Stuvane\_2001

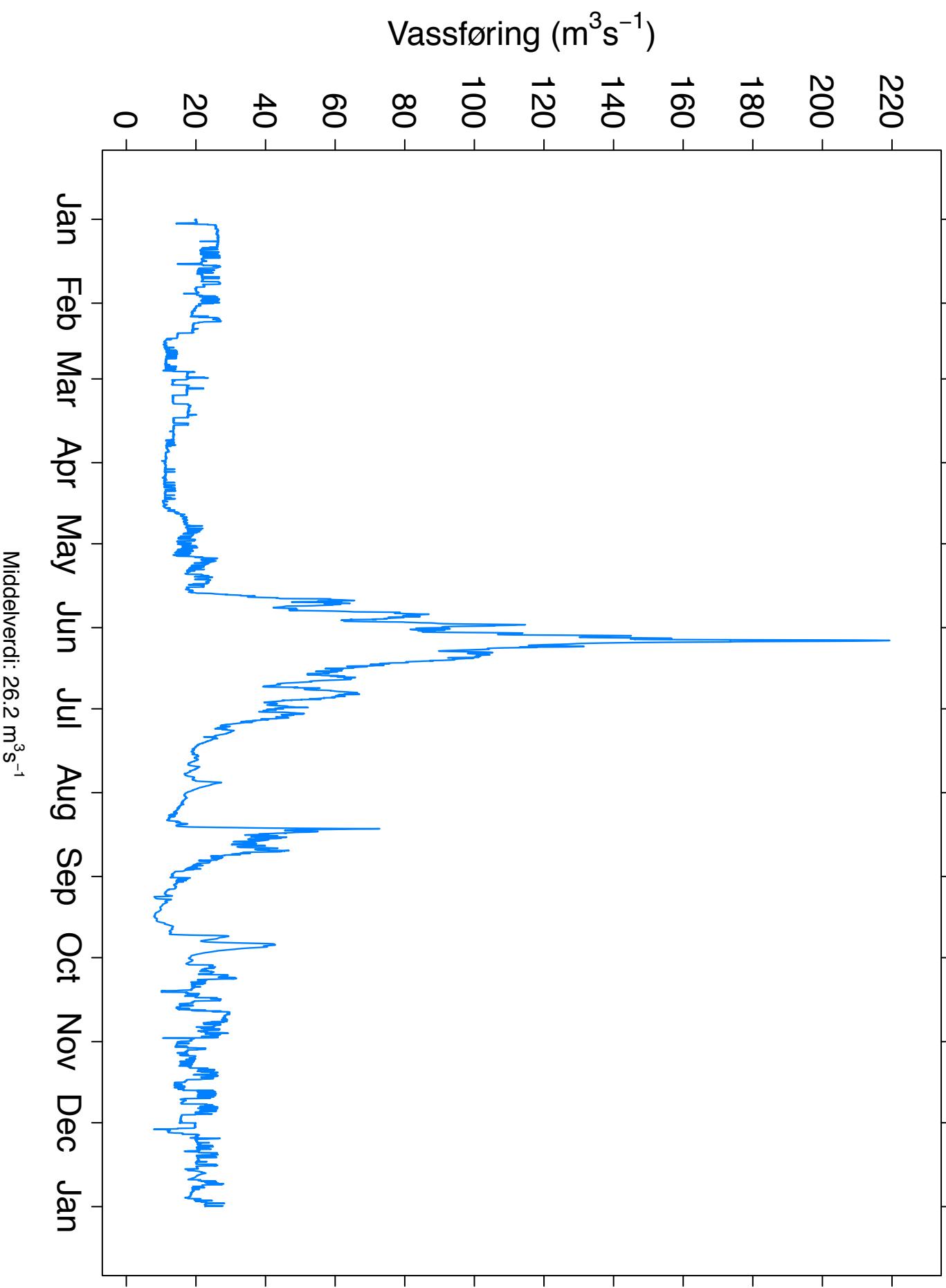


Stuvane\_2002

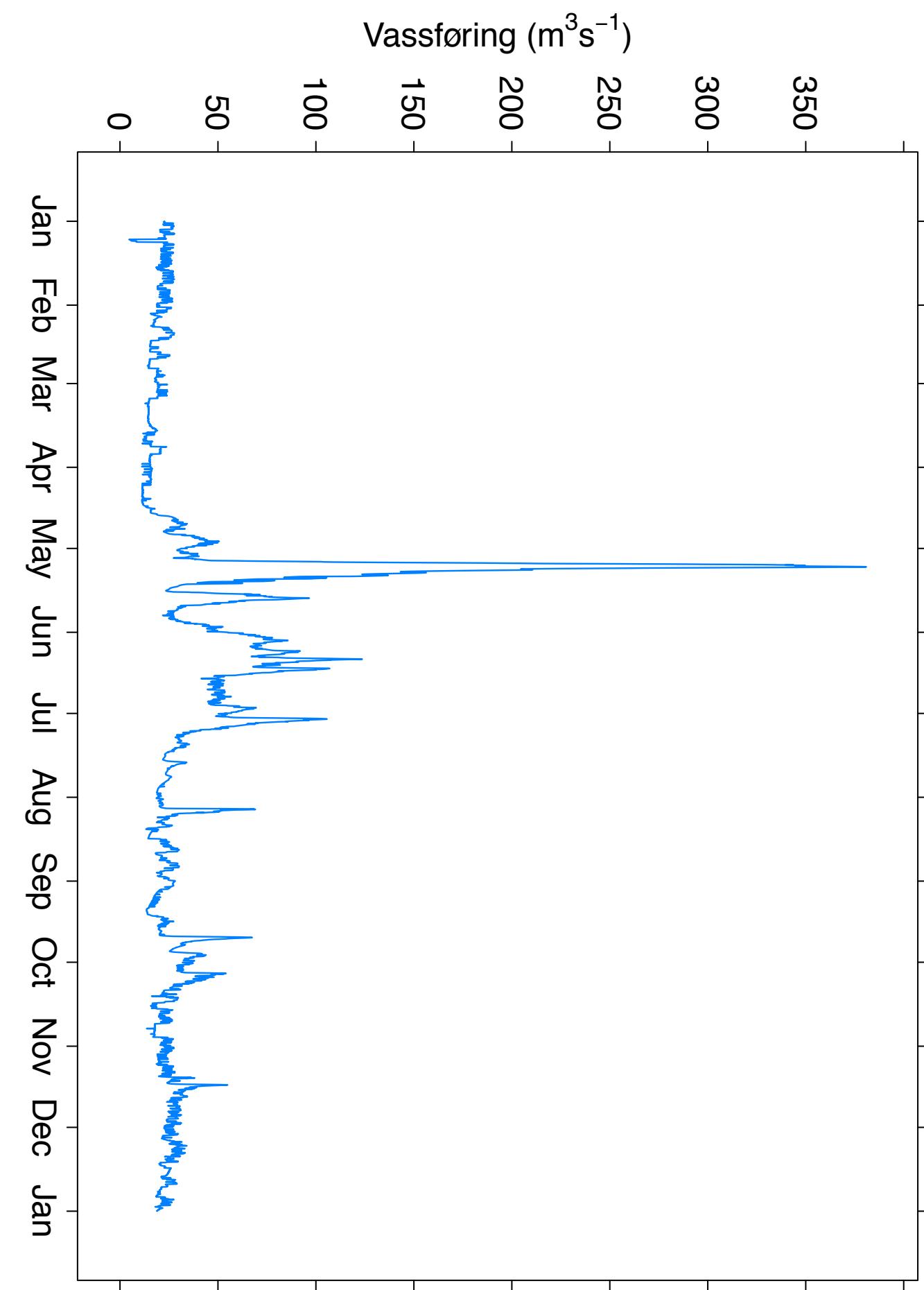
Vassføring ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )



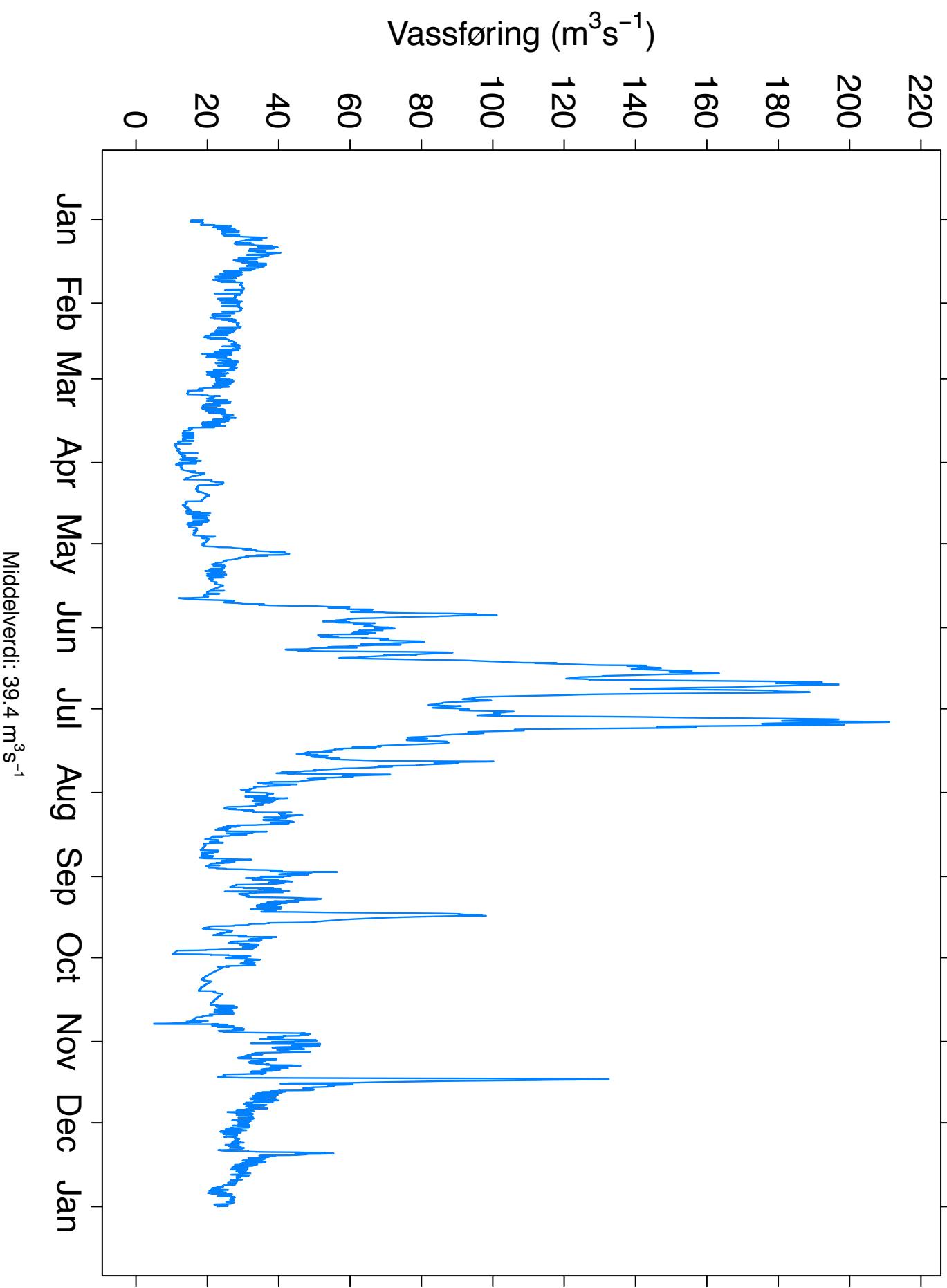
Stuvane\_2003



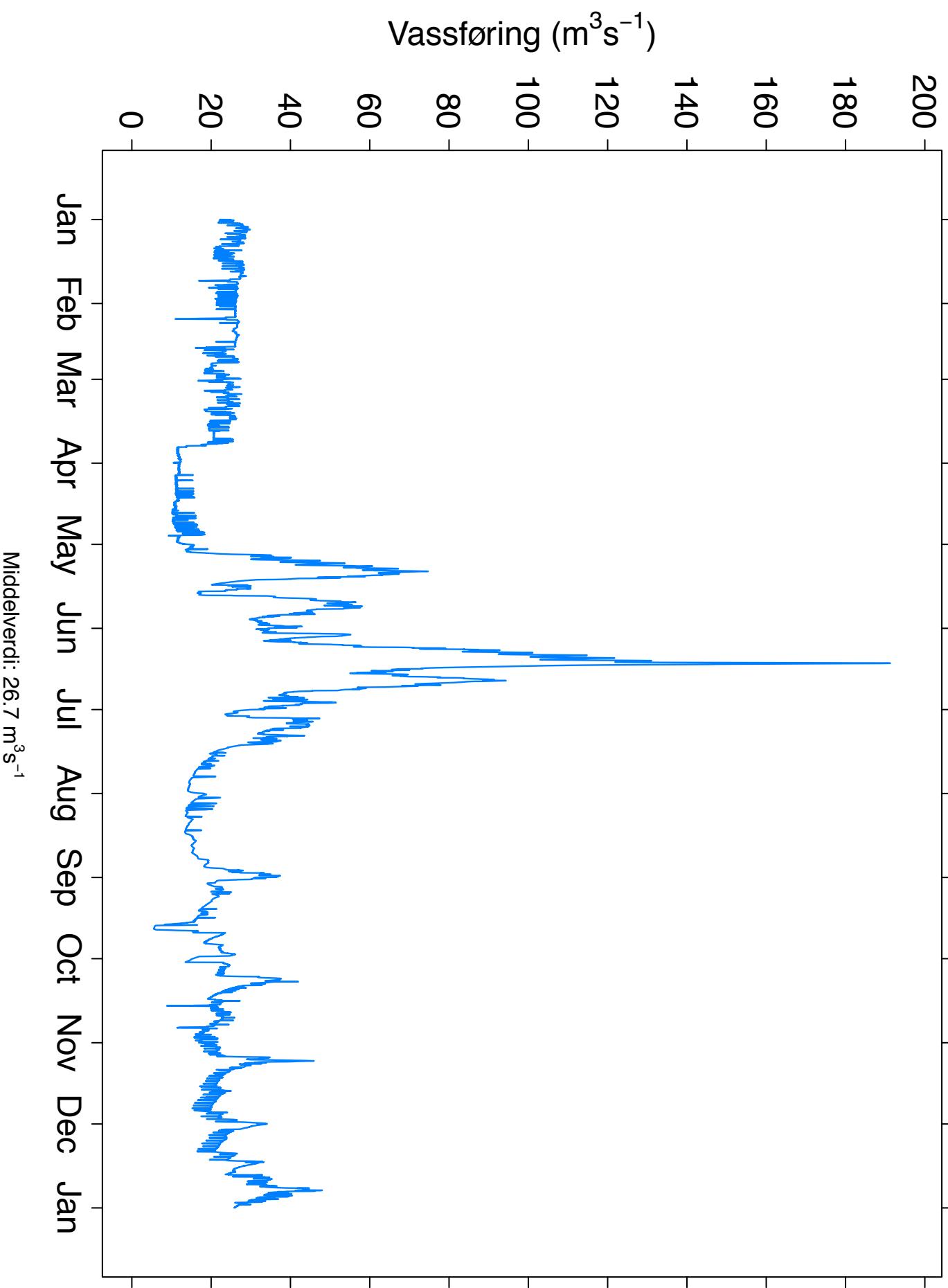
Stuvane\_2004



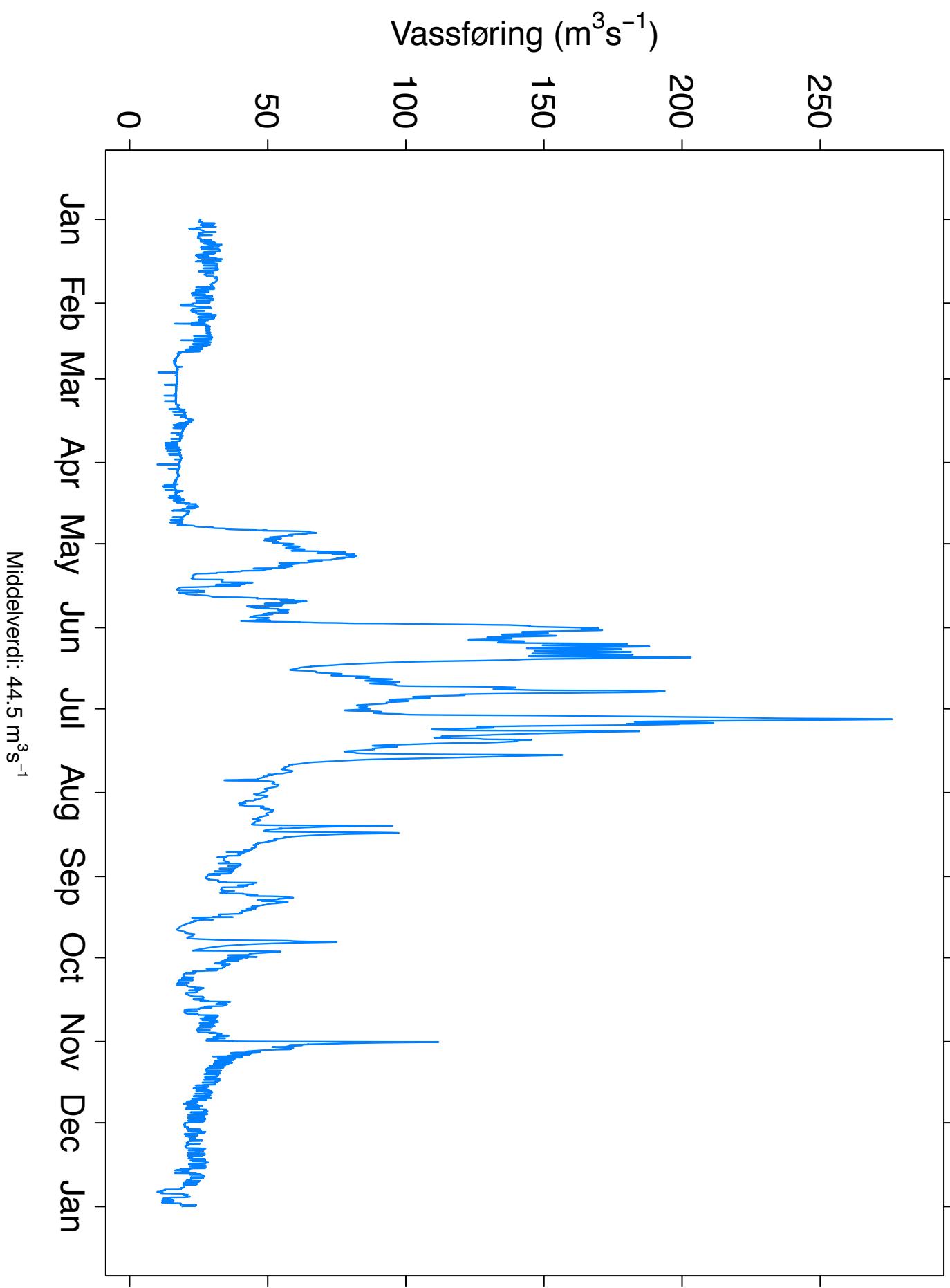
Stuvane\_2005



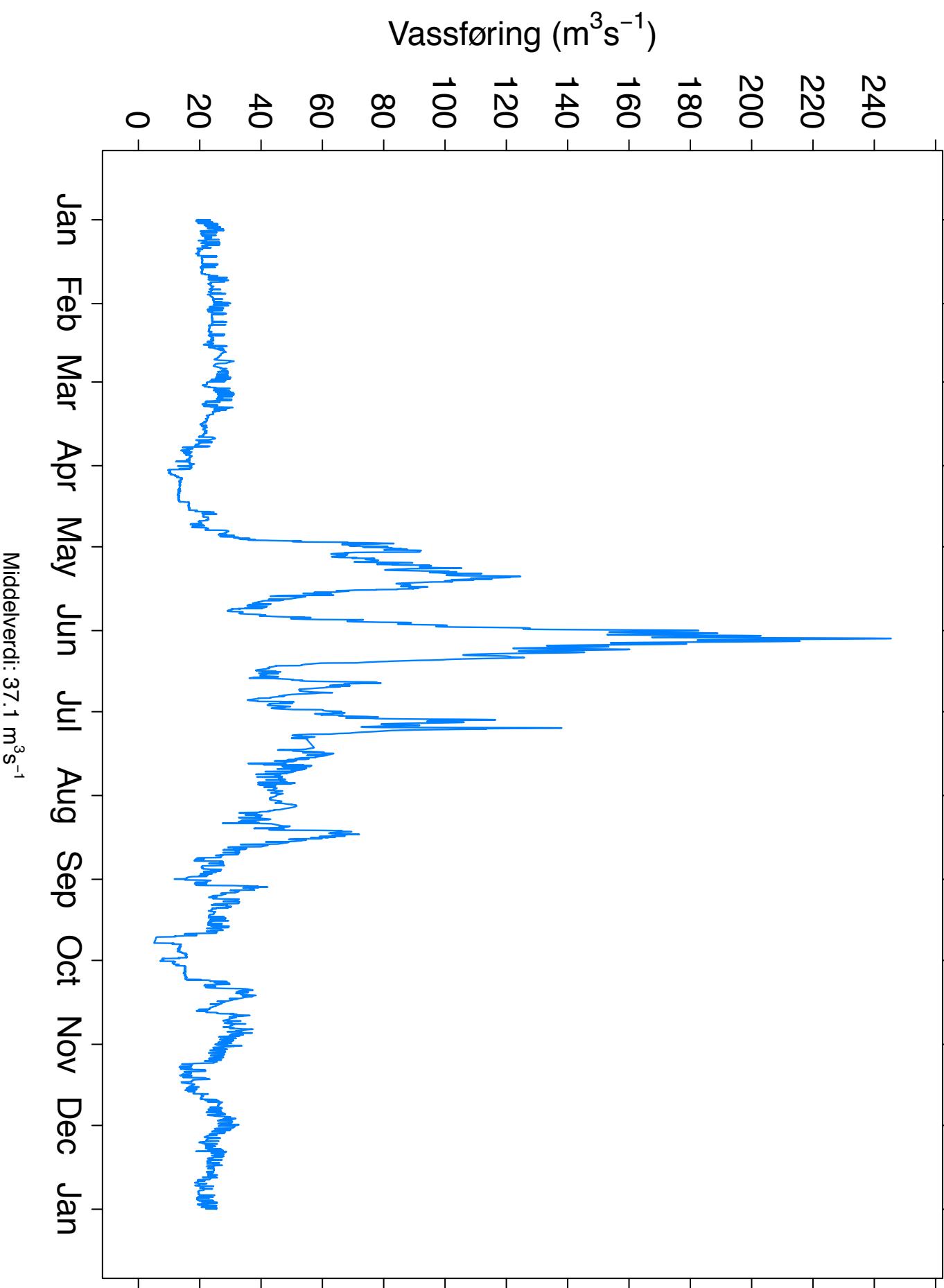
Stuvane\_2006



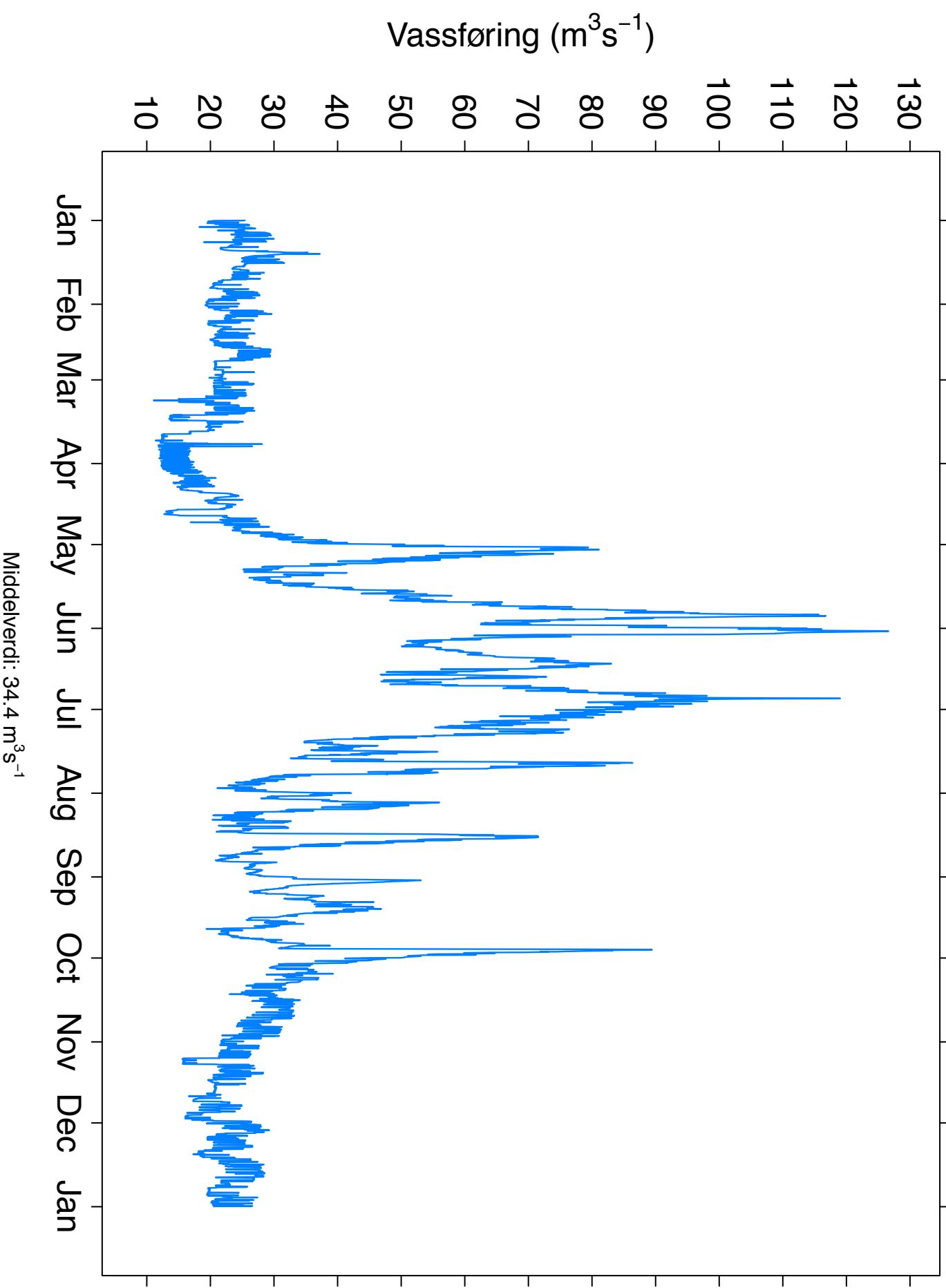
Stuvane\_2007



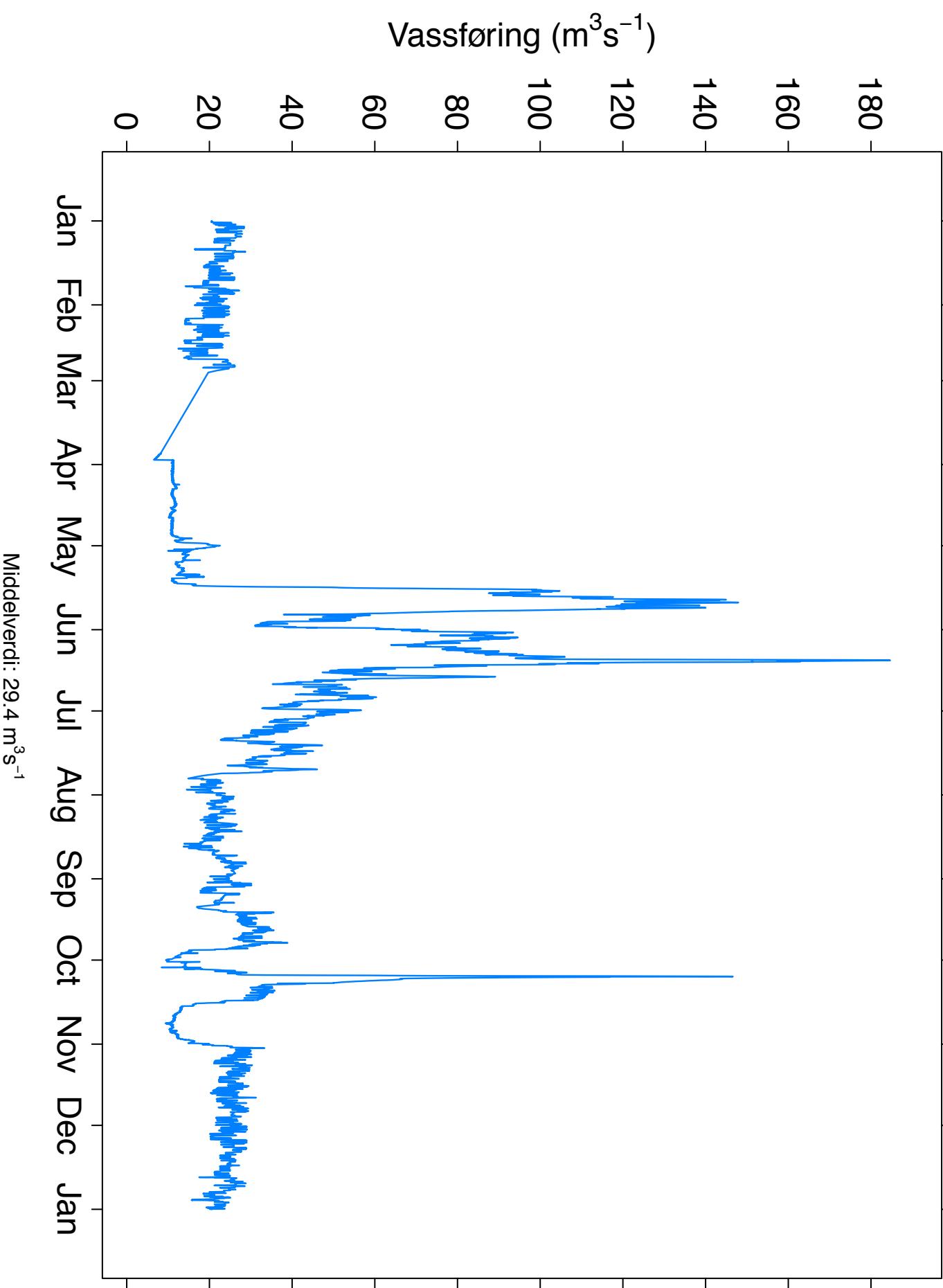
Stuvane\_2008



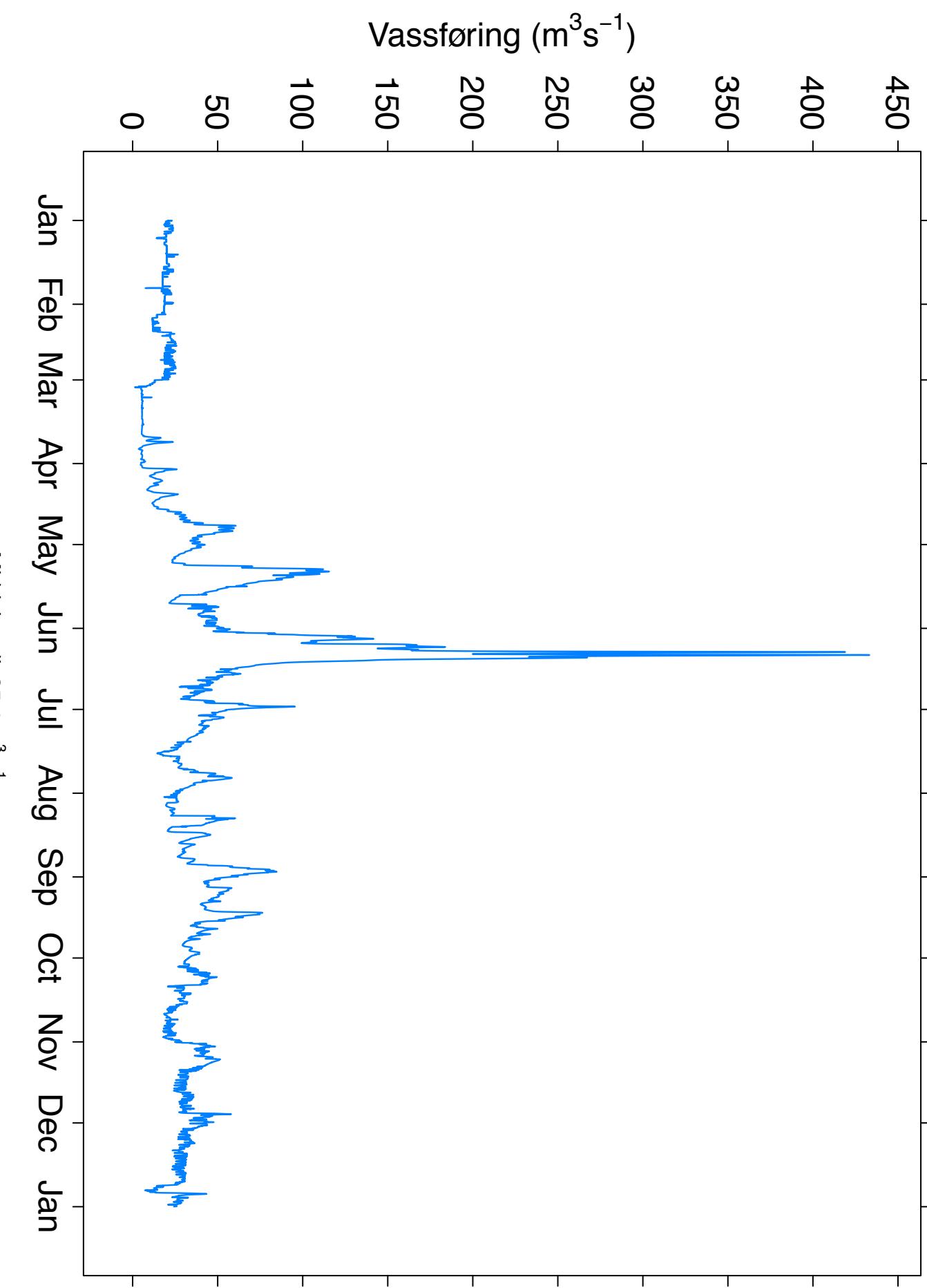
Stuvane\_2009



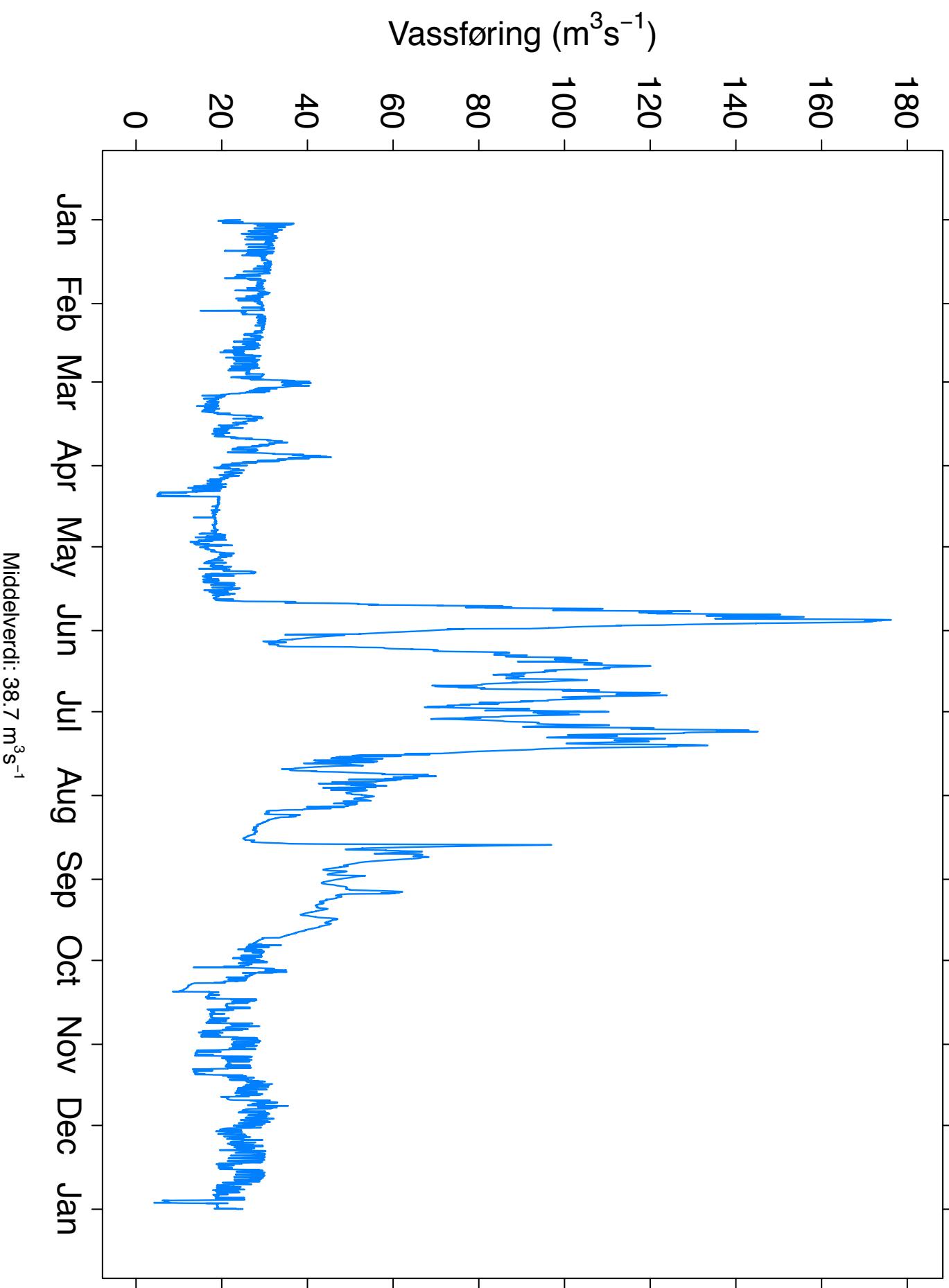
Stuvane\_2010



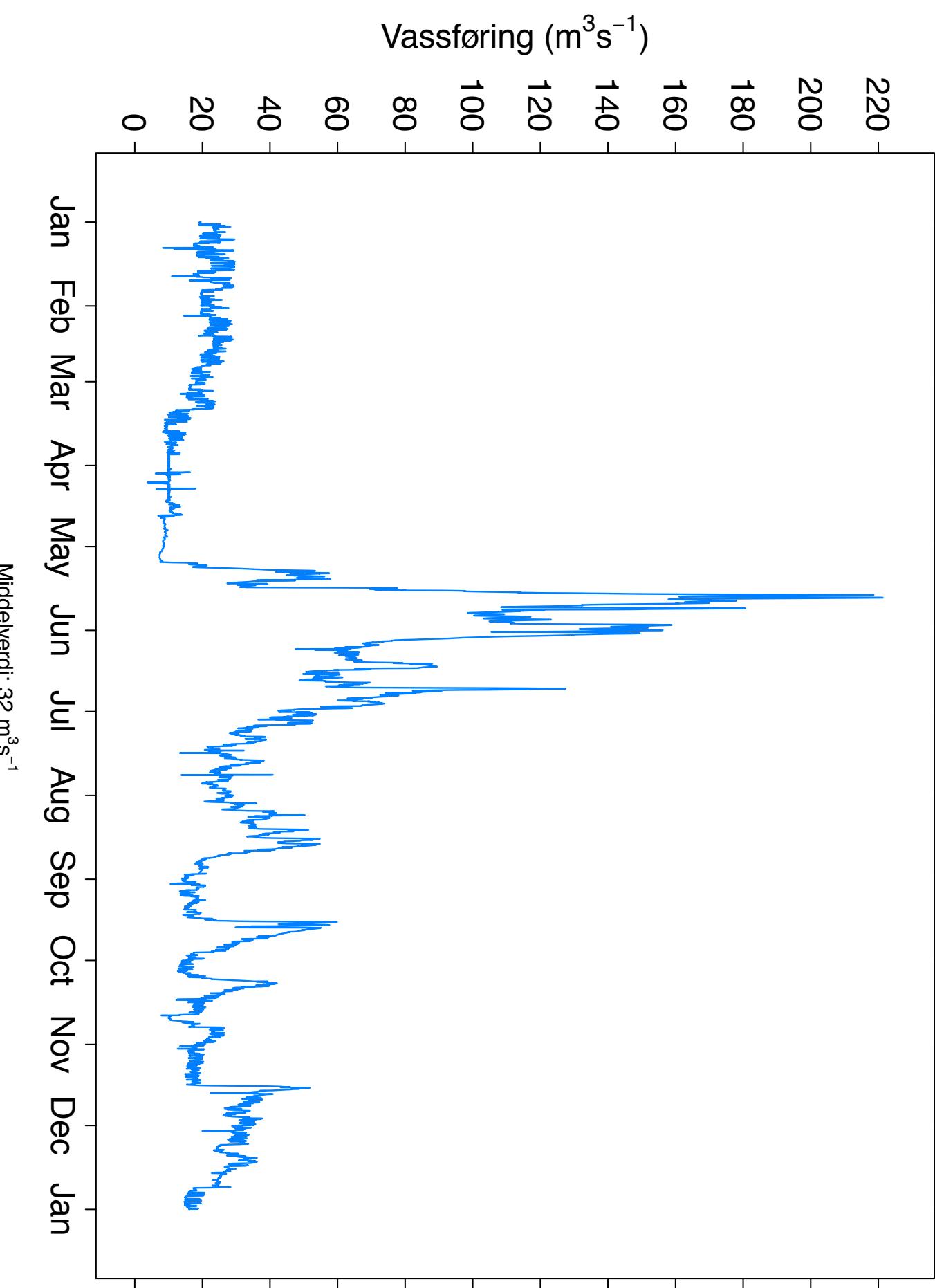
Stuvane\_2011



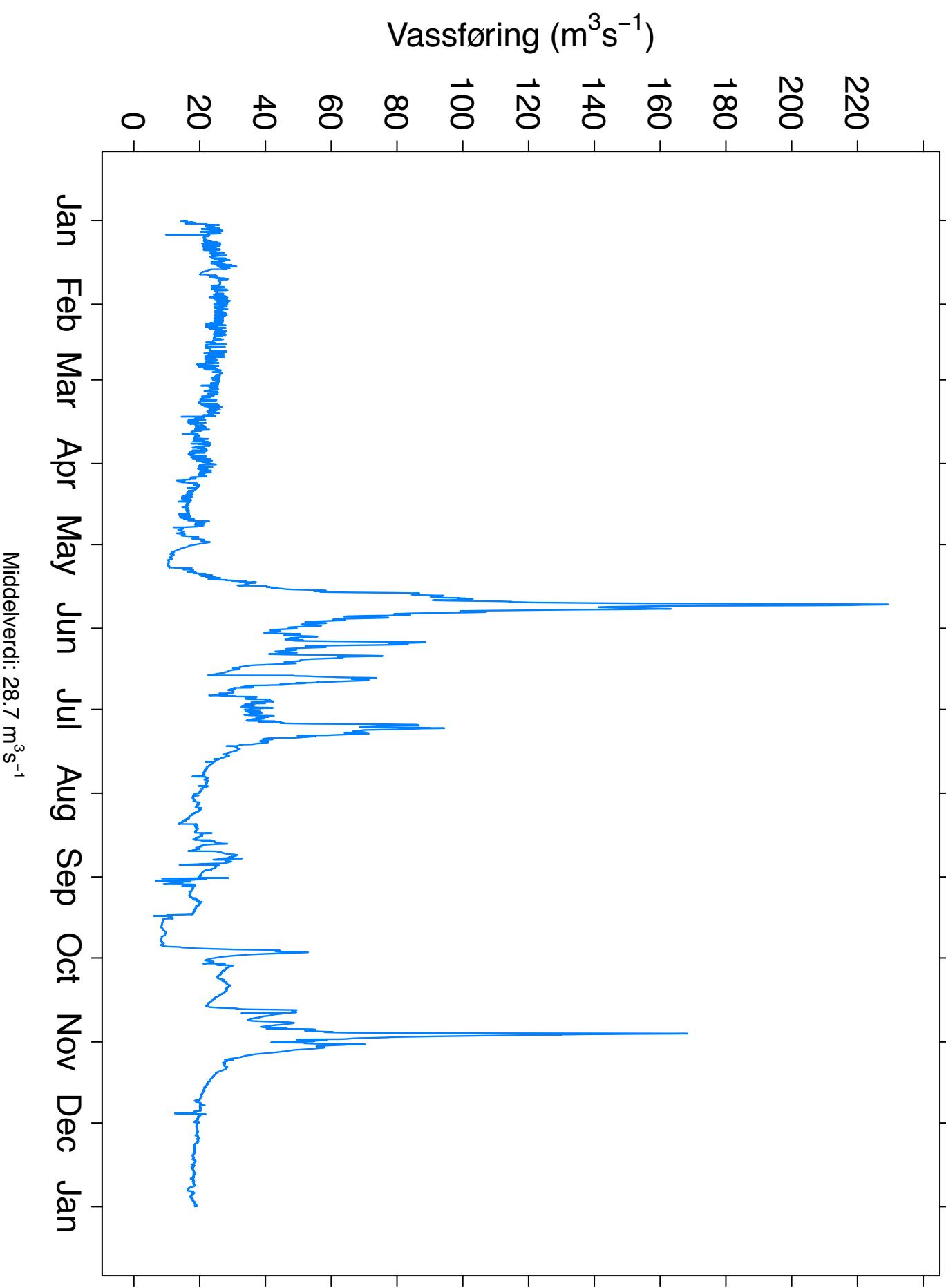
Stuvane\_2012



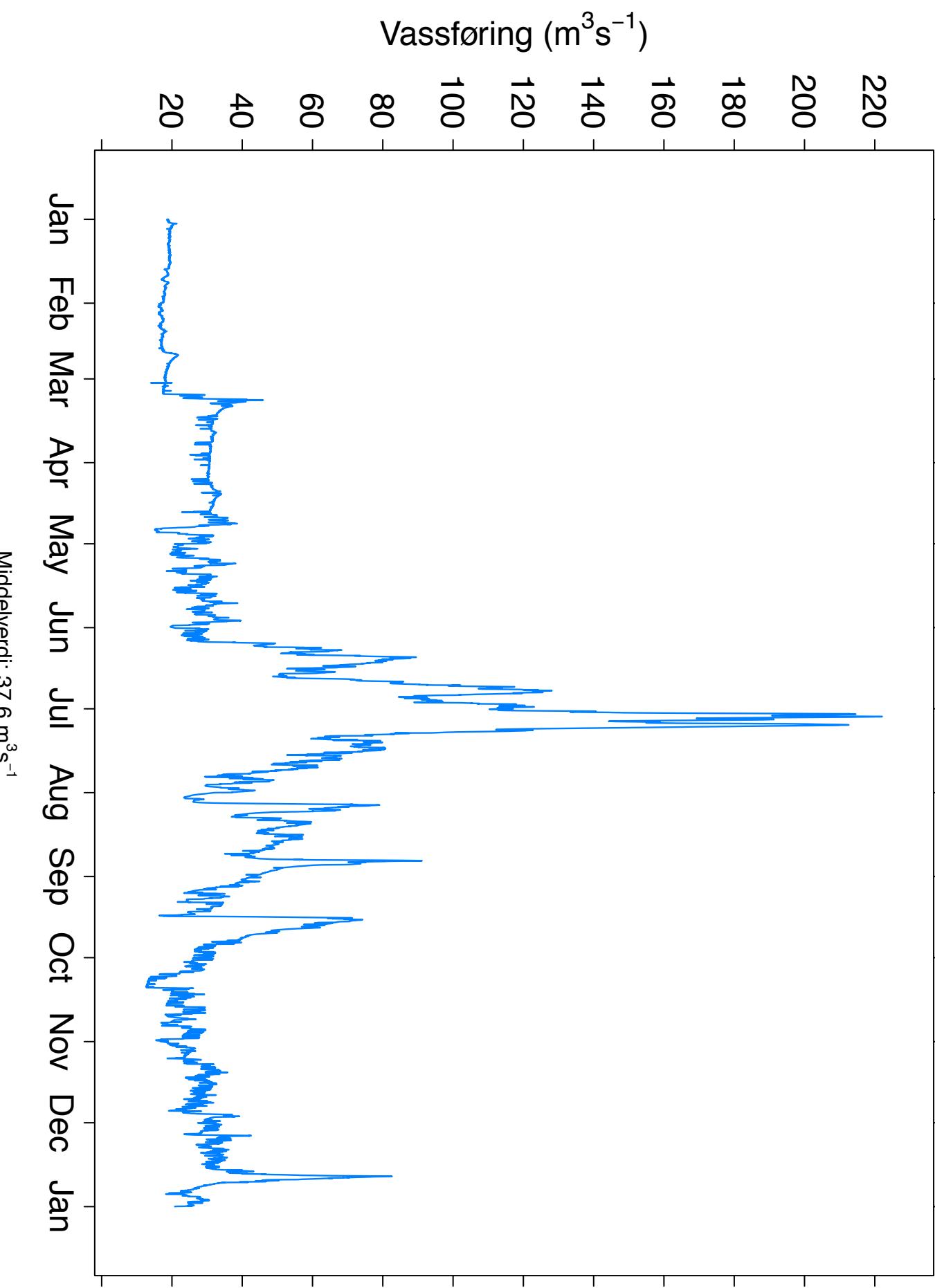
Stuvane\_2013



Stuvane\_2014



Stuvane\_2015





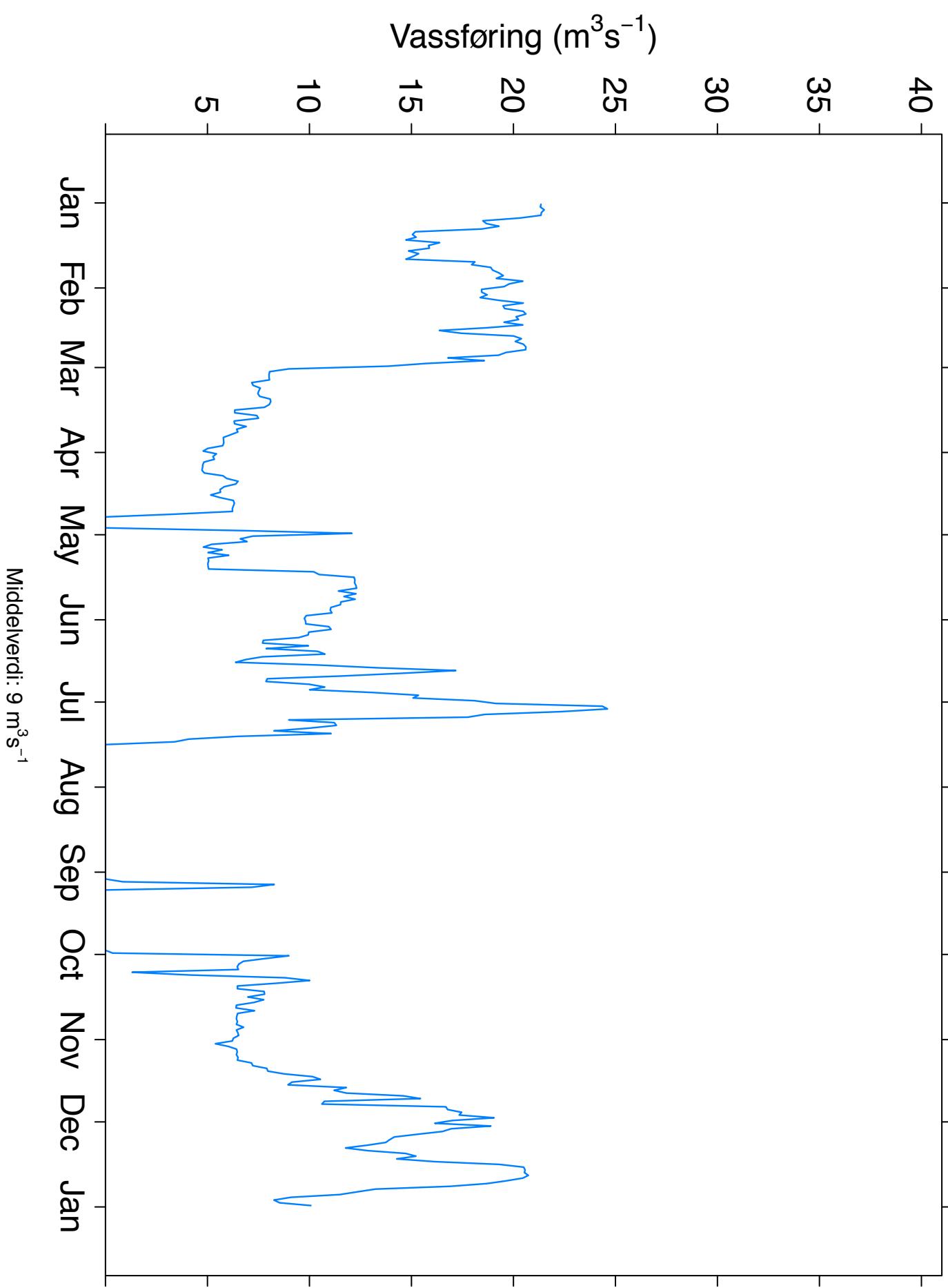
### VEDLEGG 3

#### VASSFØRINGAR FOR STUVANE KRAFTVERK VASSMERKE 1995 - 2015

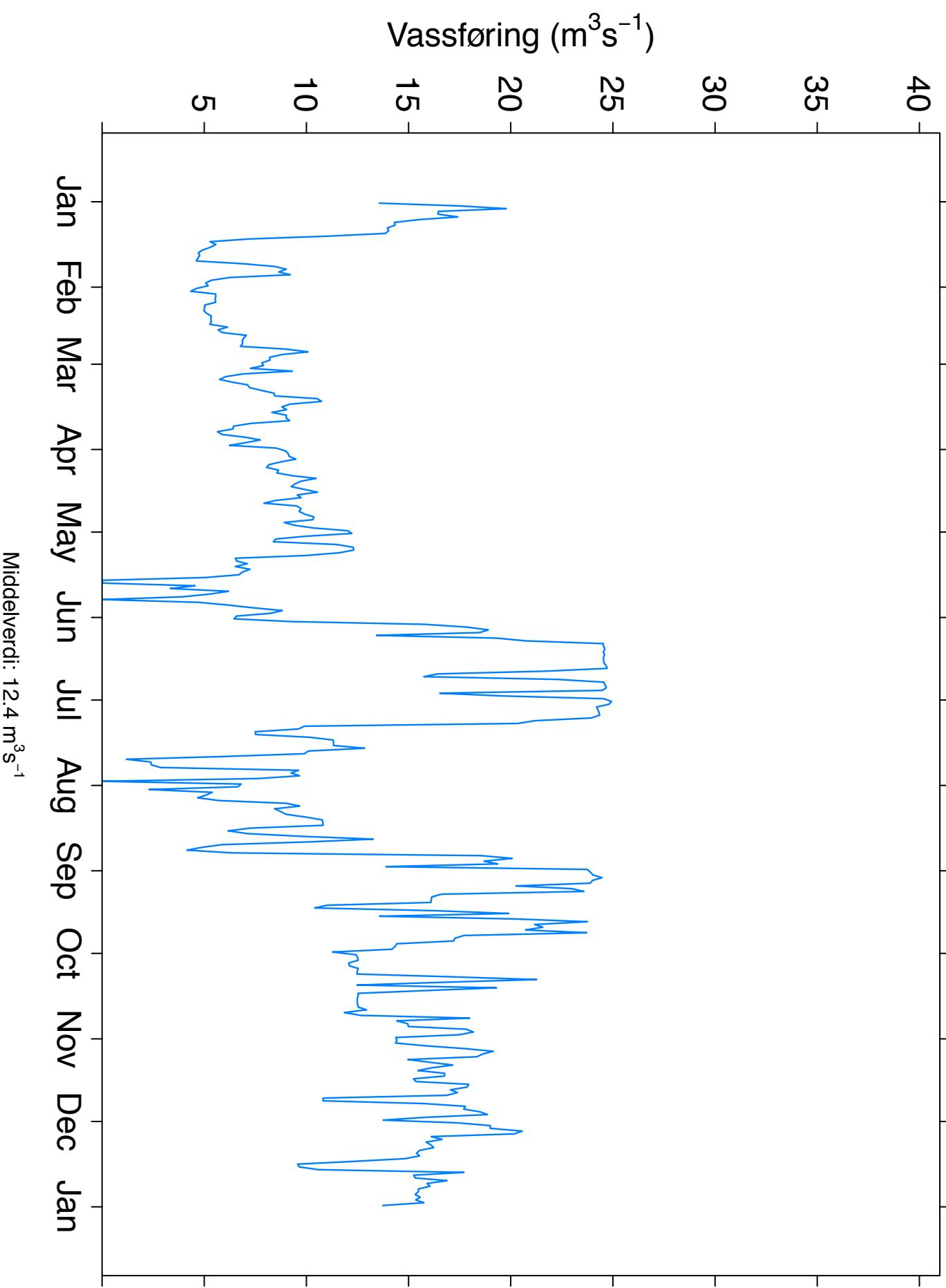
(Kjelde: NVE)

(merk at fram til slutten av 2005 har data tidsoppløysing på 1 døgn)

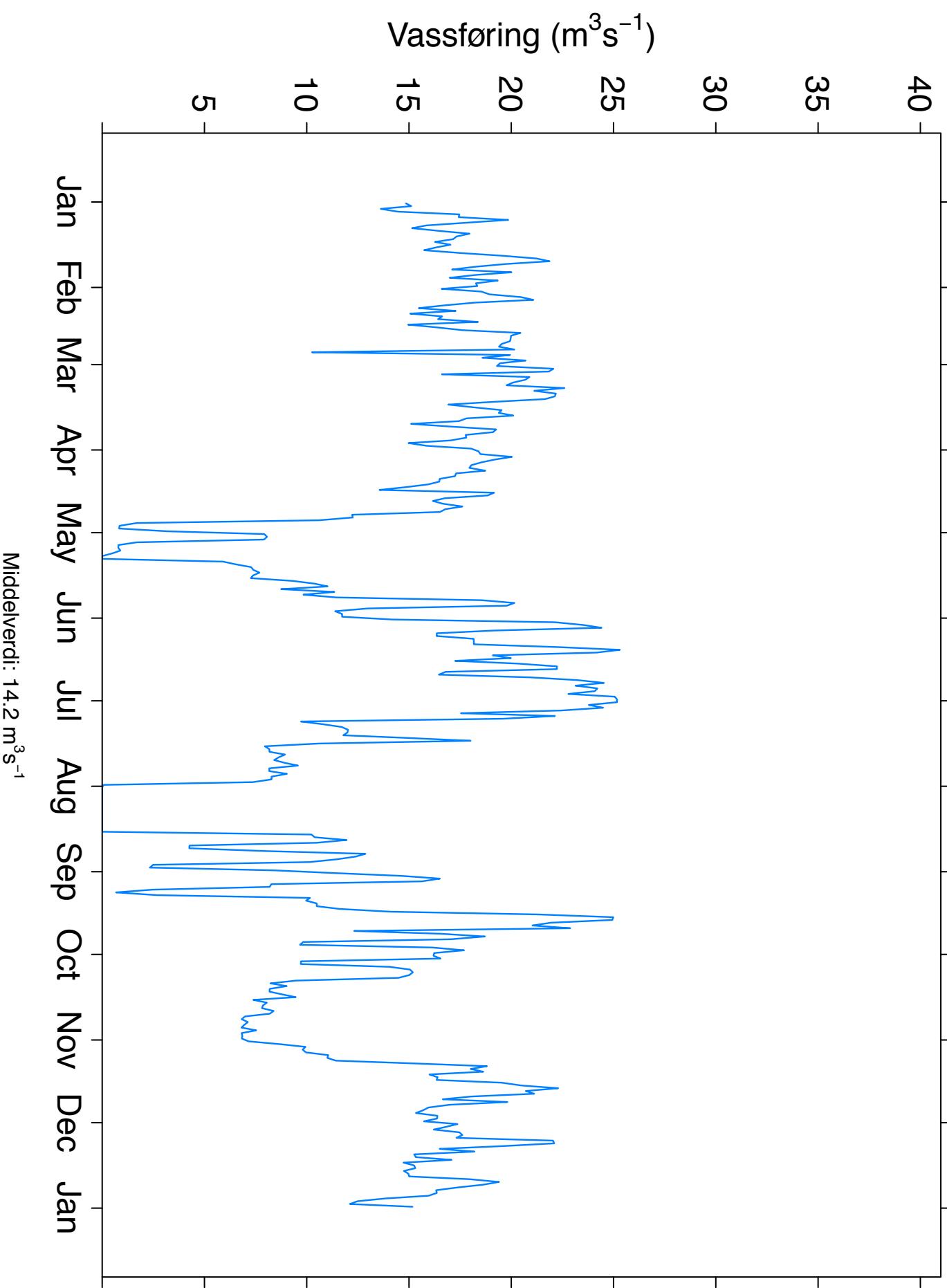
### Stuvane\_krv\_1996



# Stuvane\_krv\_1997

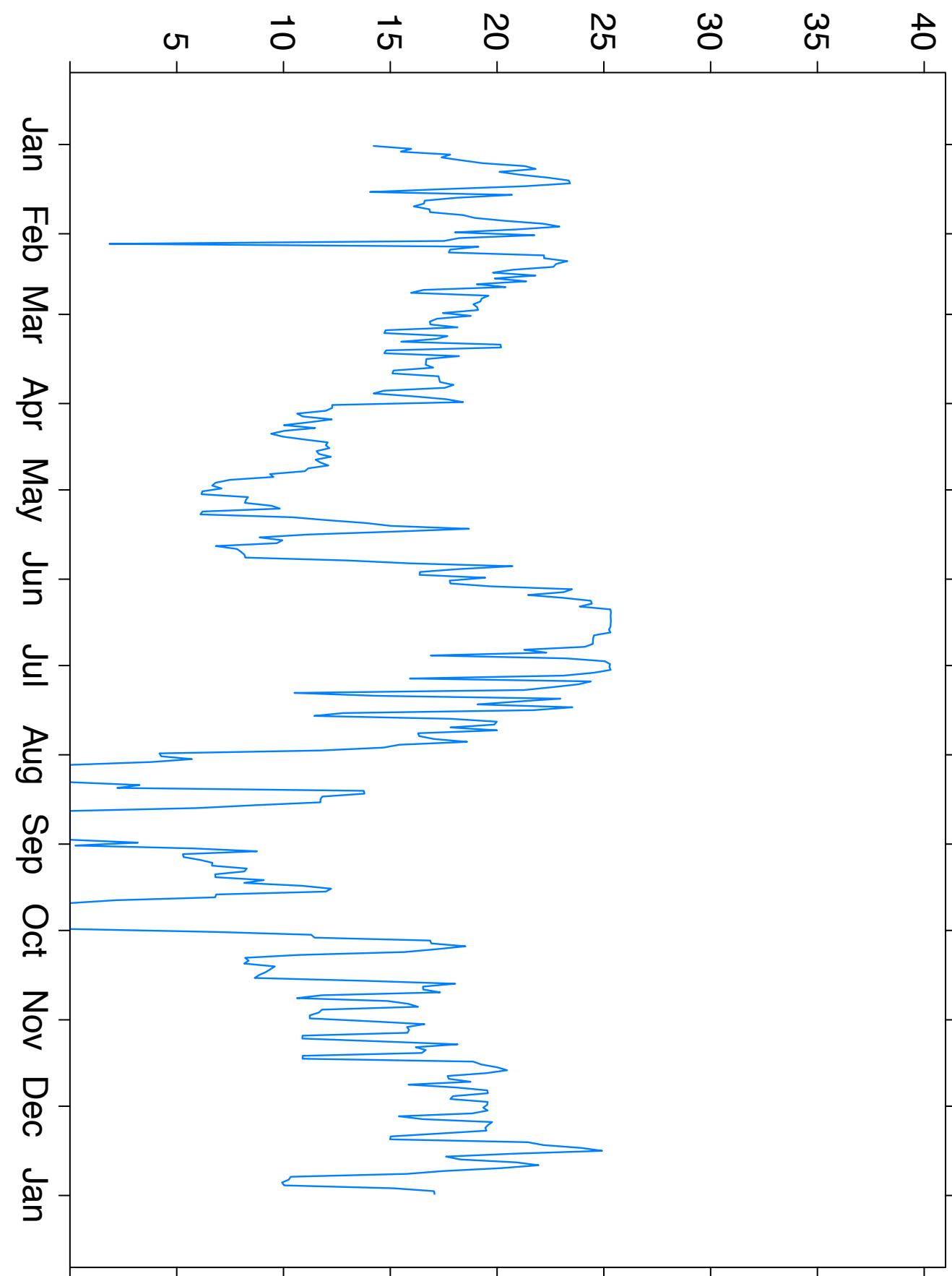


## Stuvane\_krv\_1998

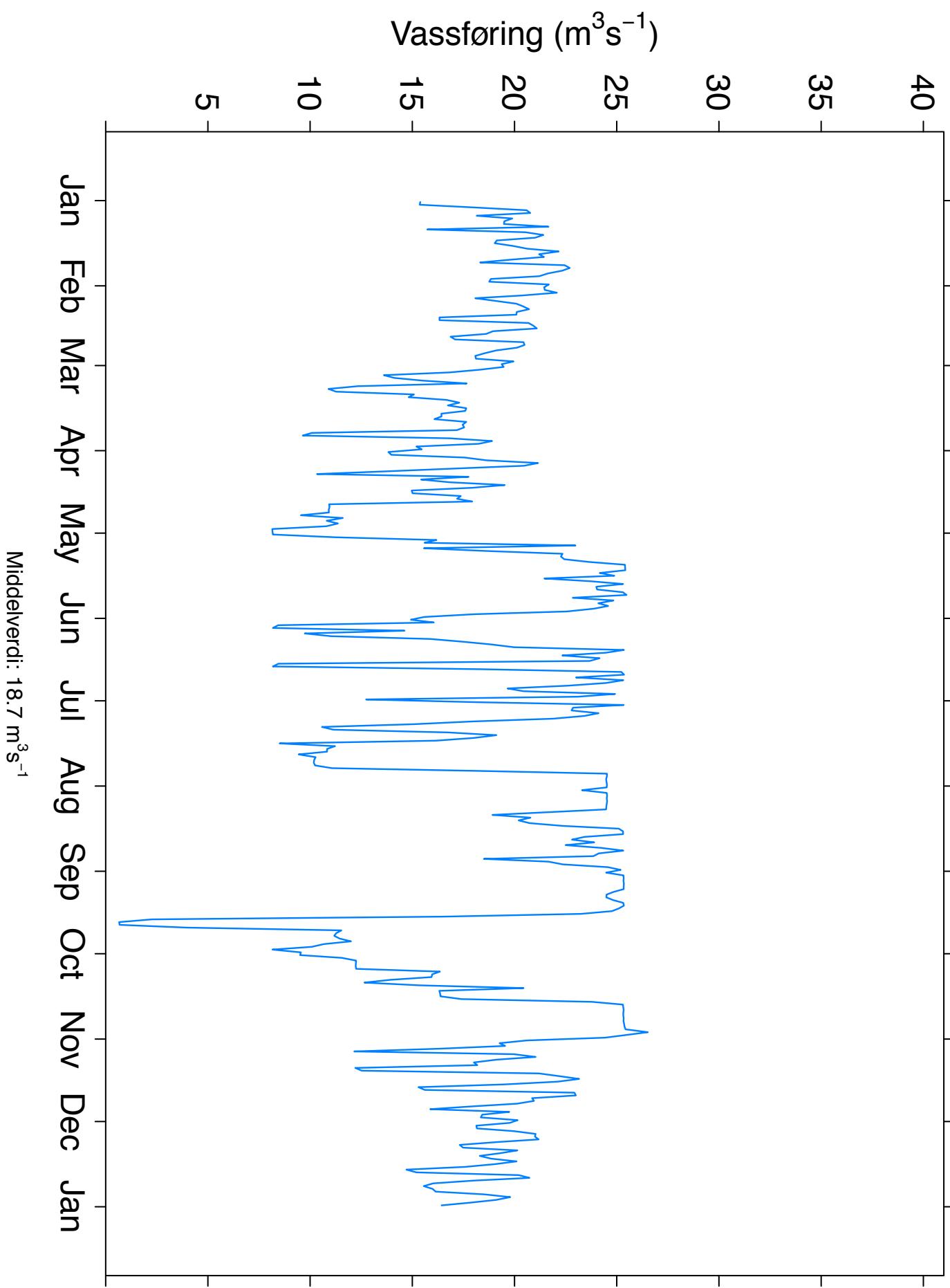


Stuvane\_krv\_1999

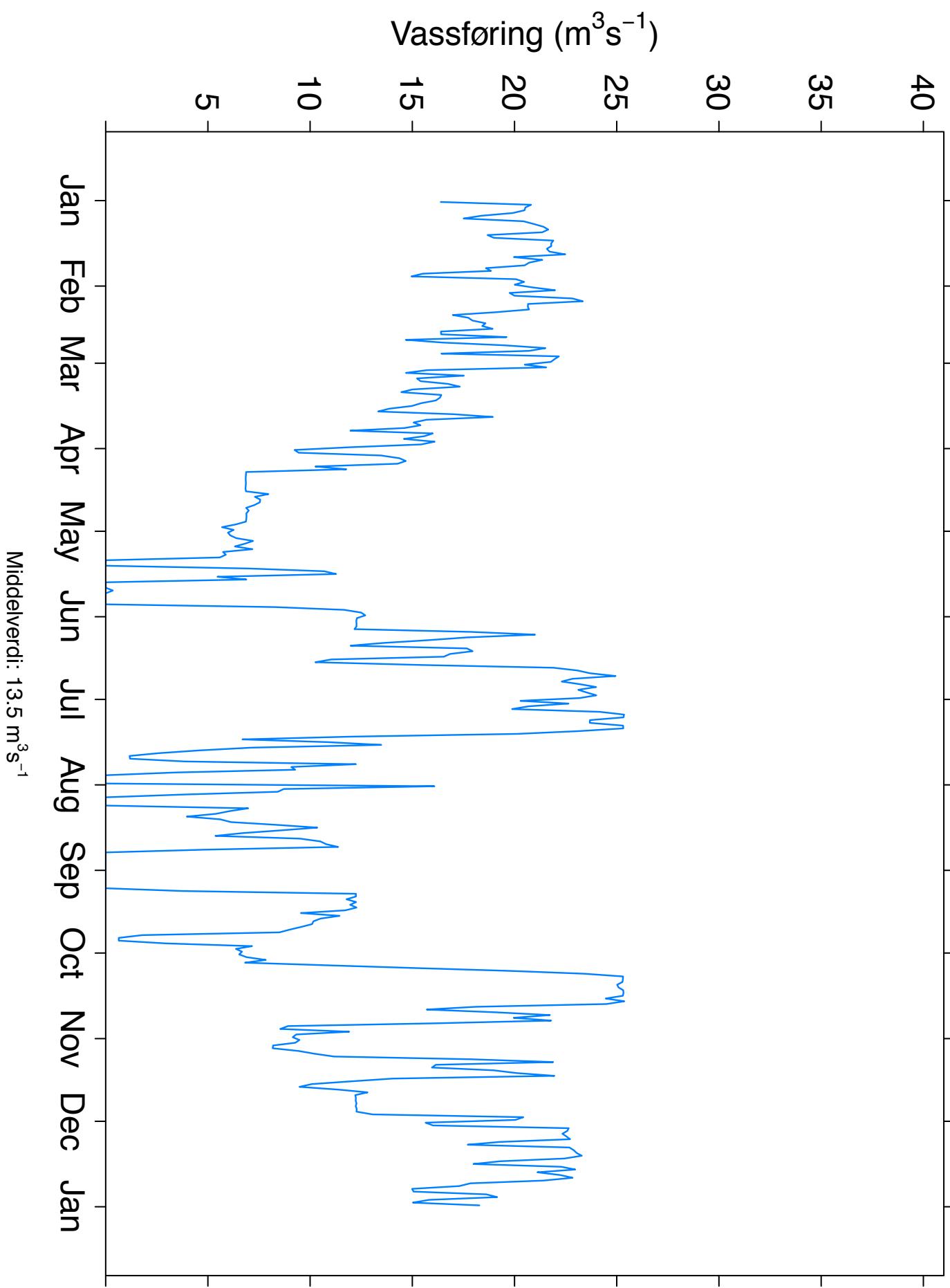
Vassføring ( $m^3 s^{-1}$ )



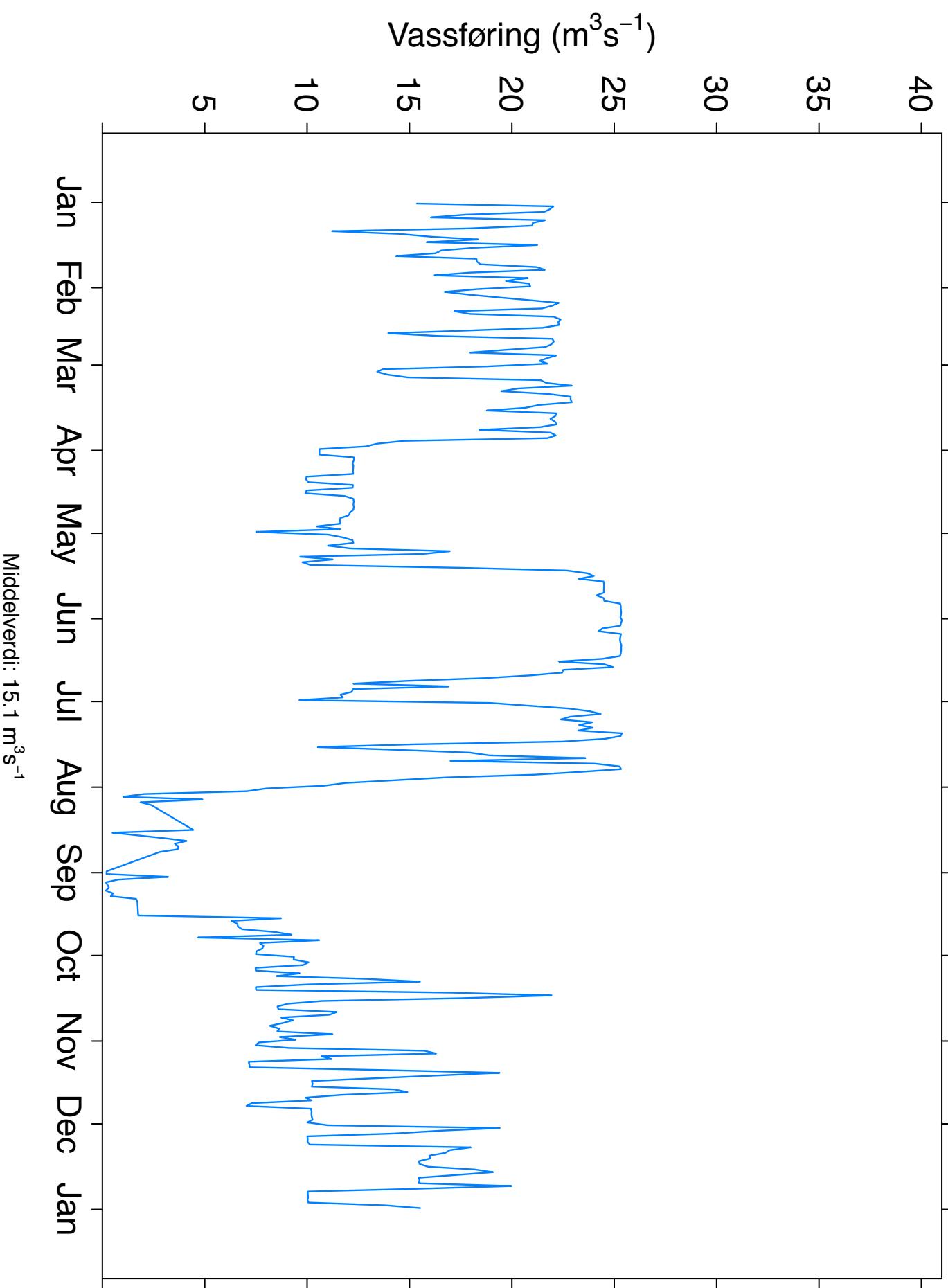
## Stuvane\_krv\_2000



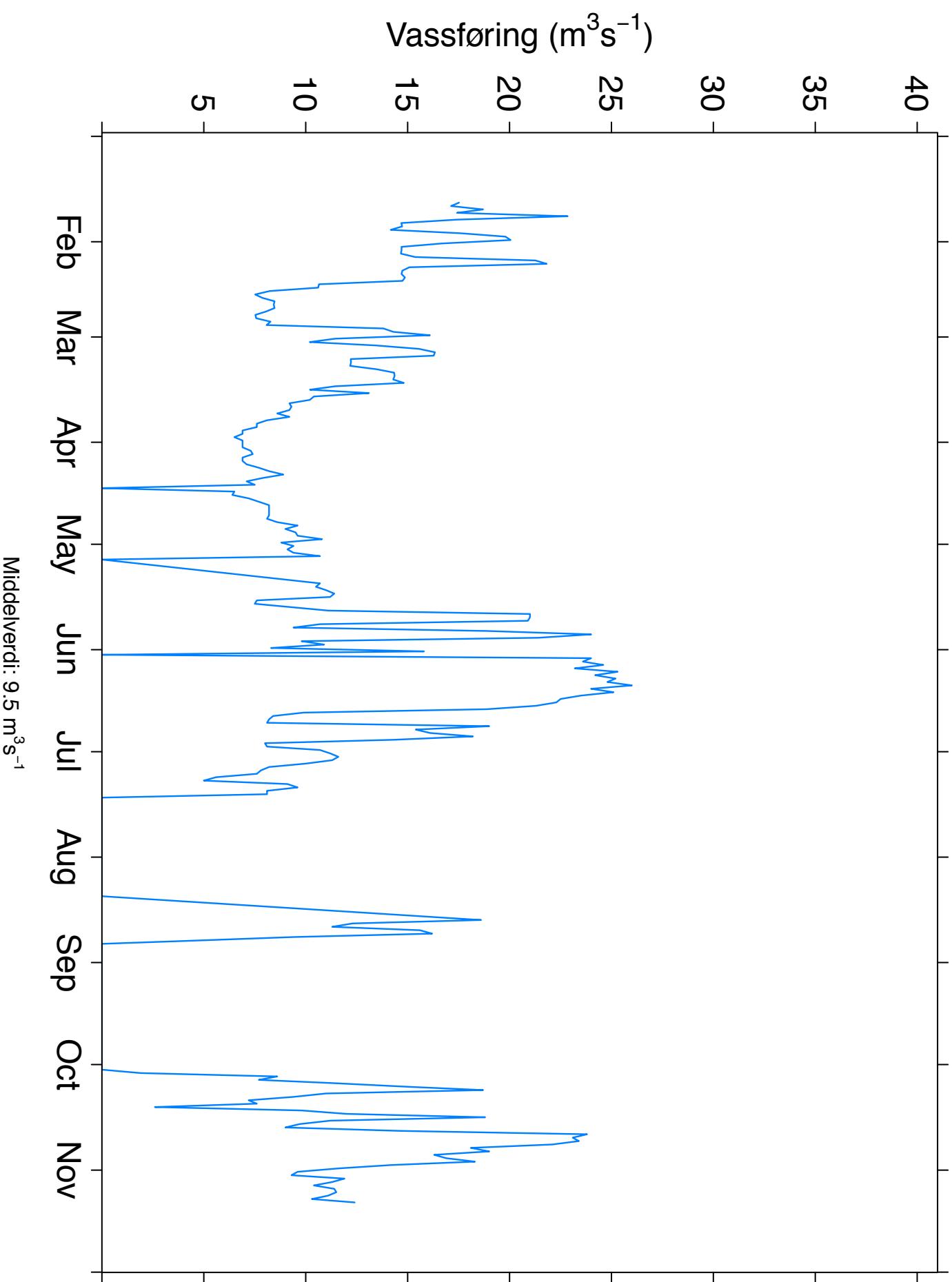
# Stuvane\_krv\_2001



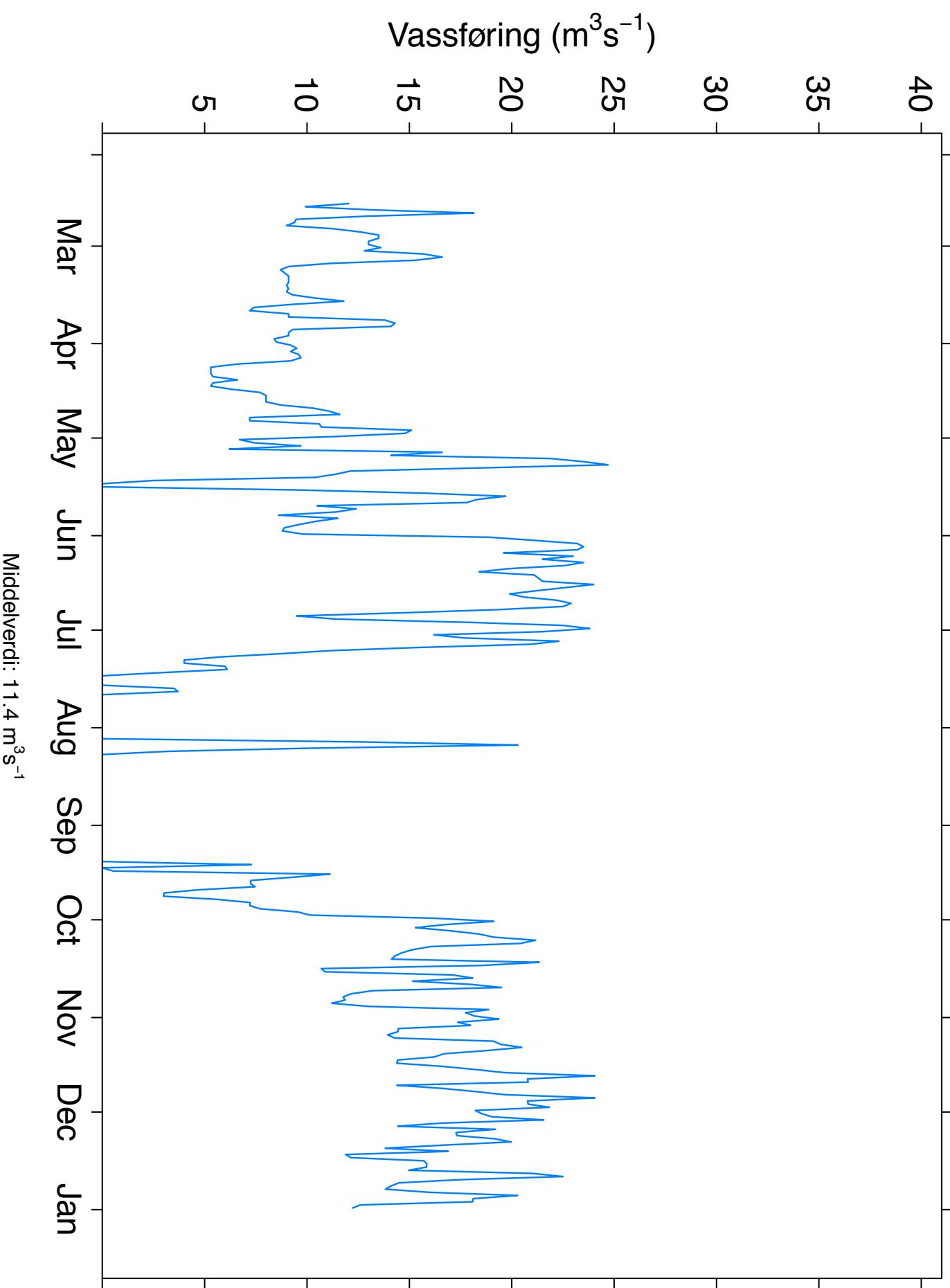
## Stuvane\_krv\_2002



### Stuvane\_krv\_2003

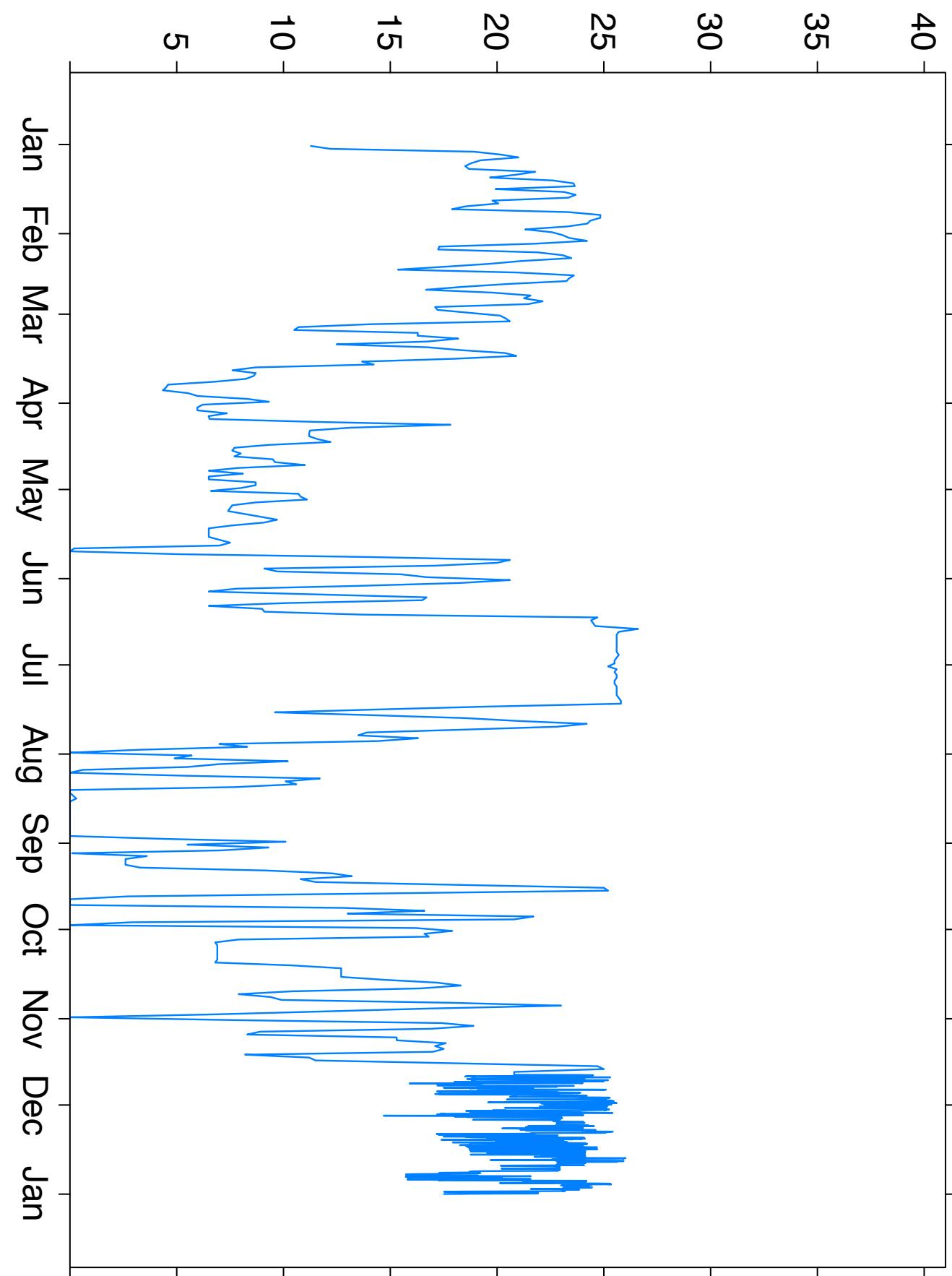


# Stuvane\_krv\_2004



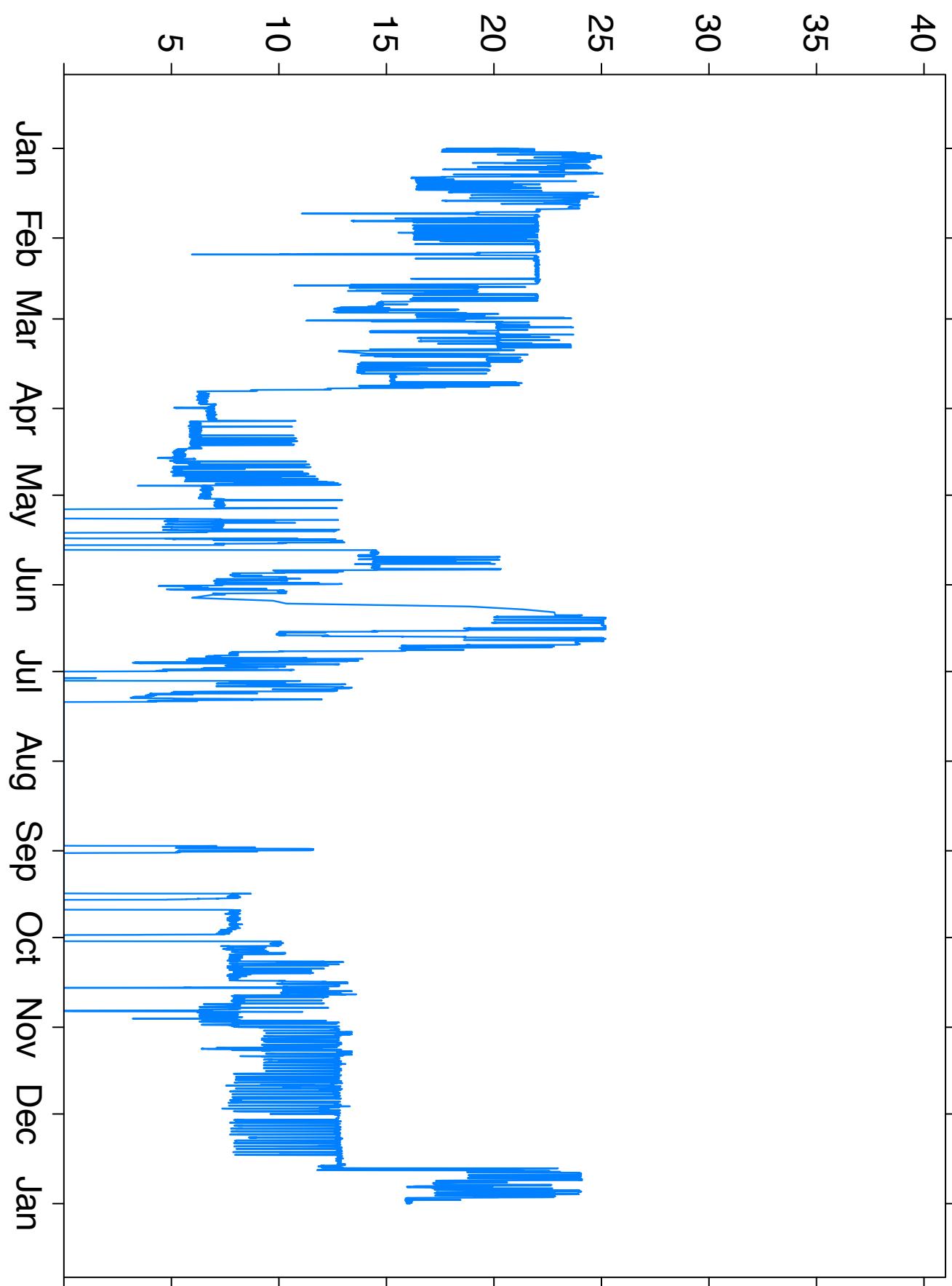
Stuvane\_krv\_2005

Vassføring ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )



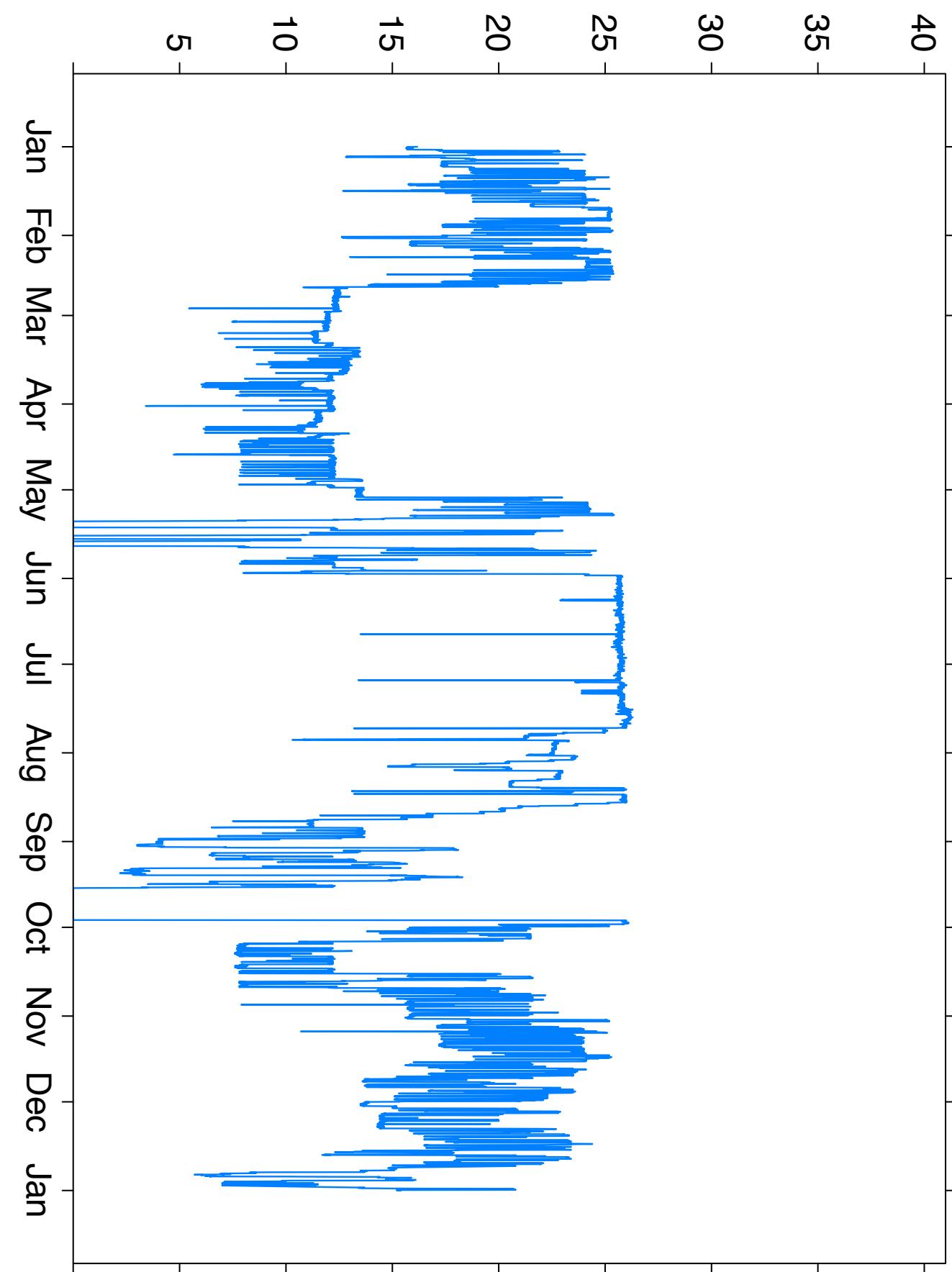
Stuvane\_krv\_2006

Vassføring ( $m^3 s^{-1}$ )

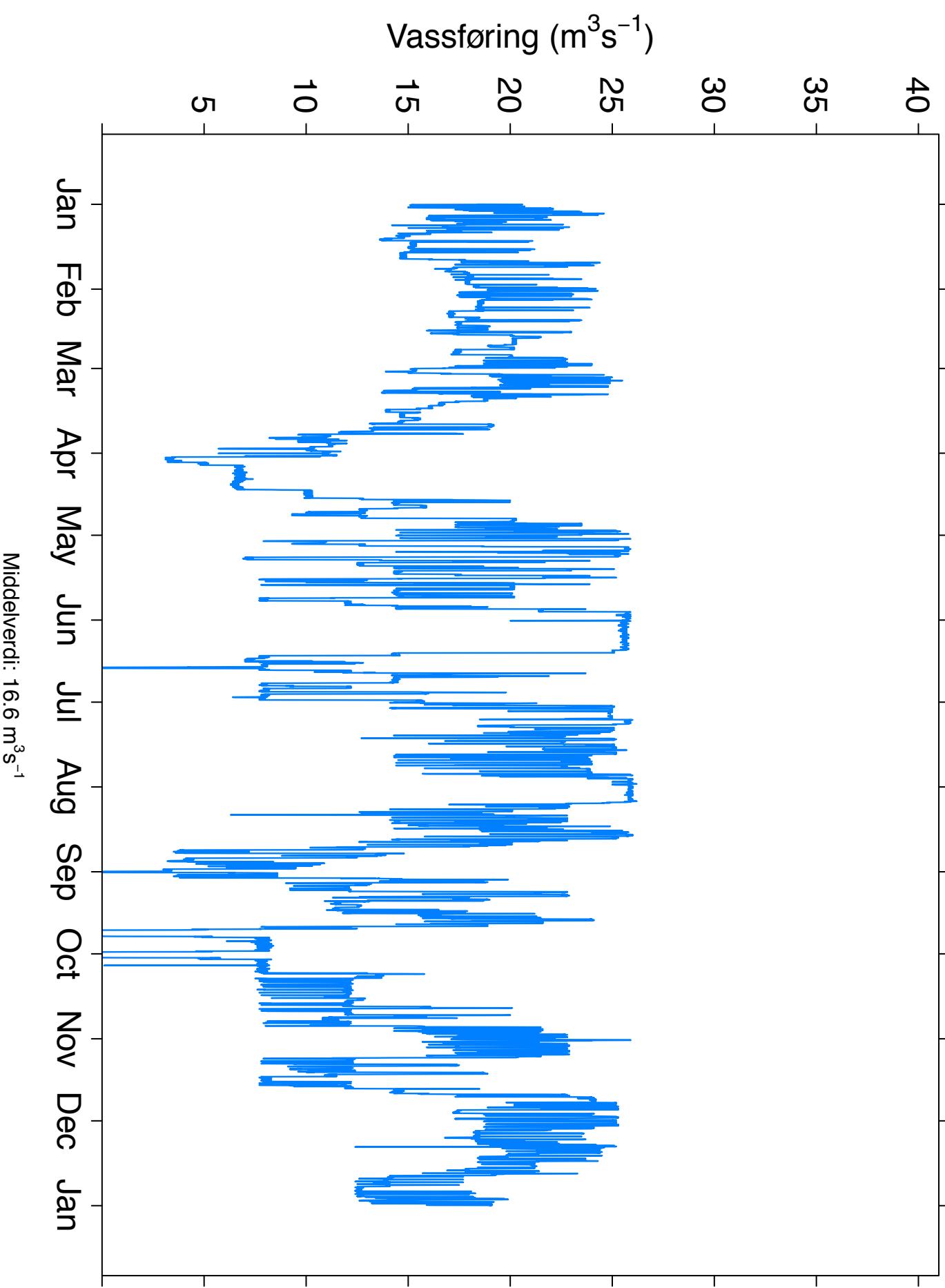


Stuvane\_krv\_2007

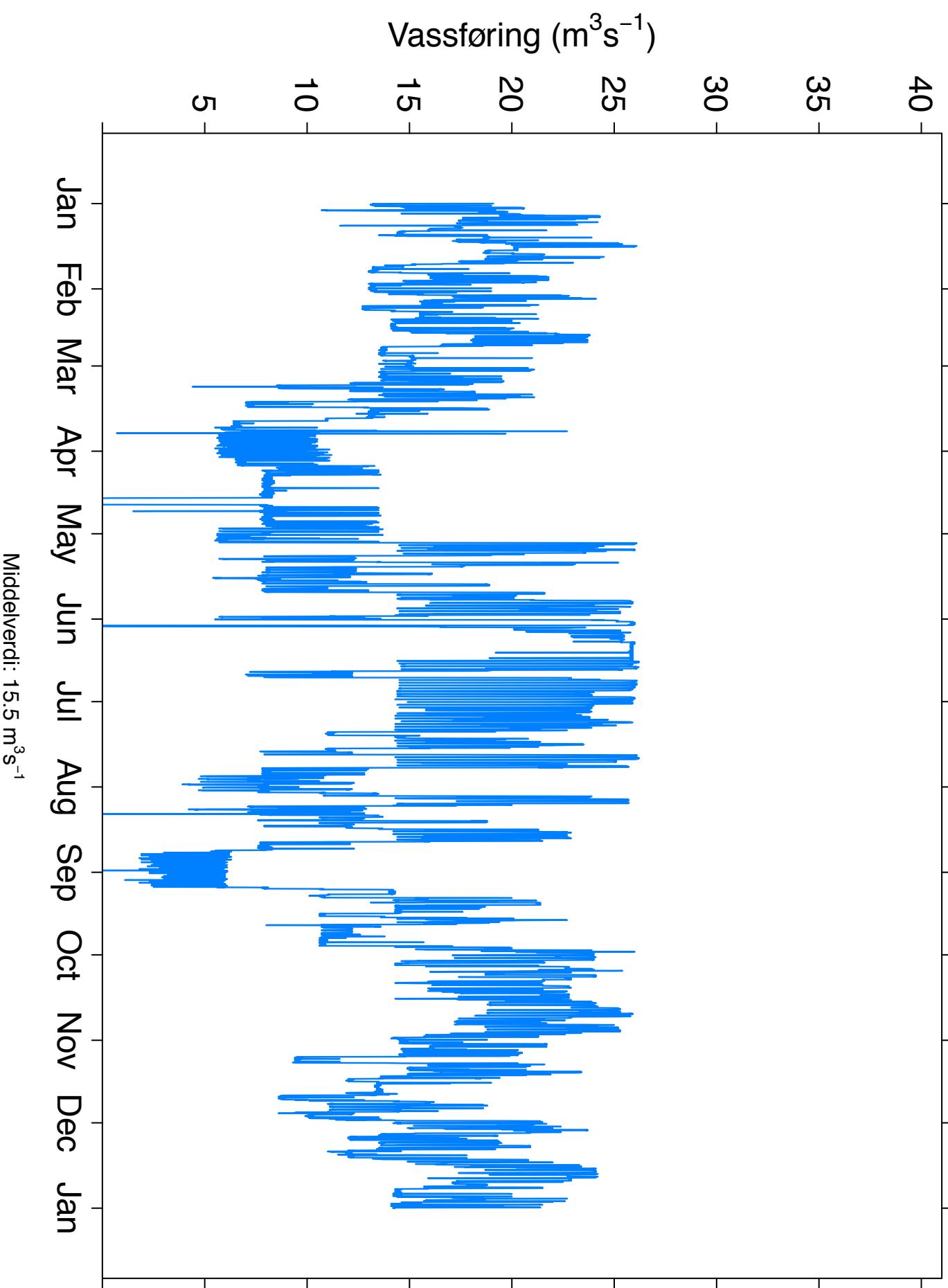
Vassføring ( $m^3 s^{-1}$ )



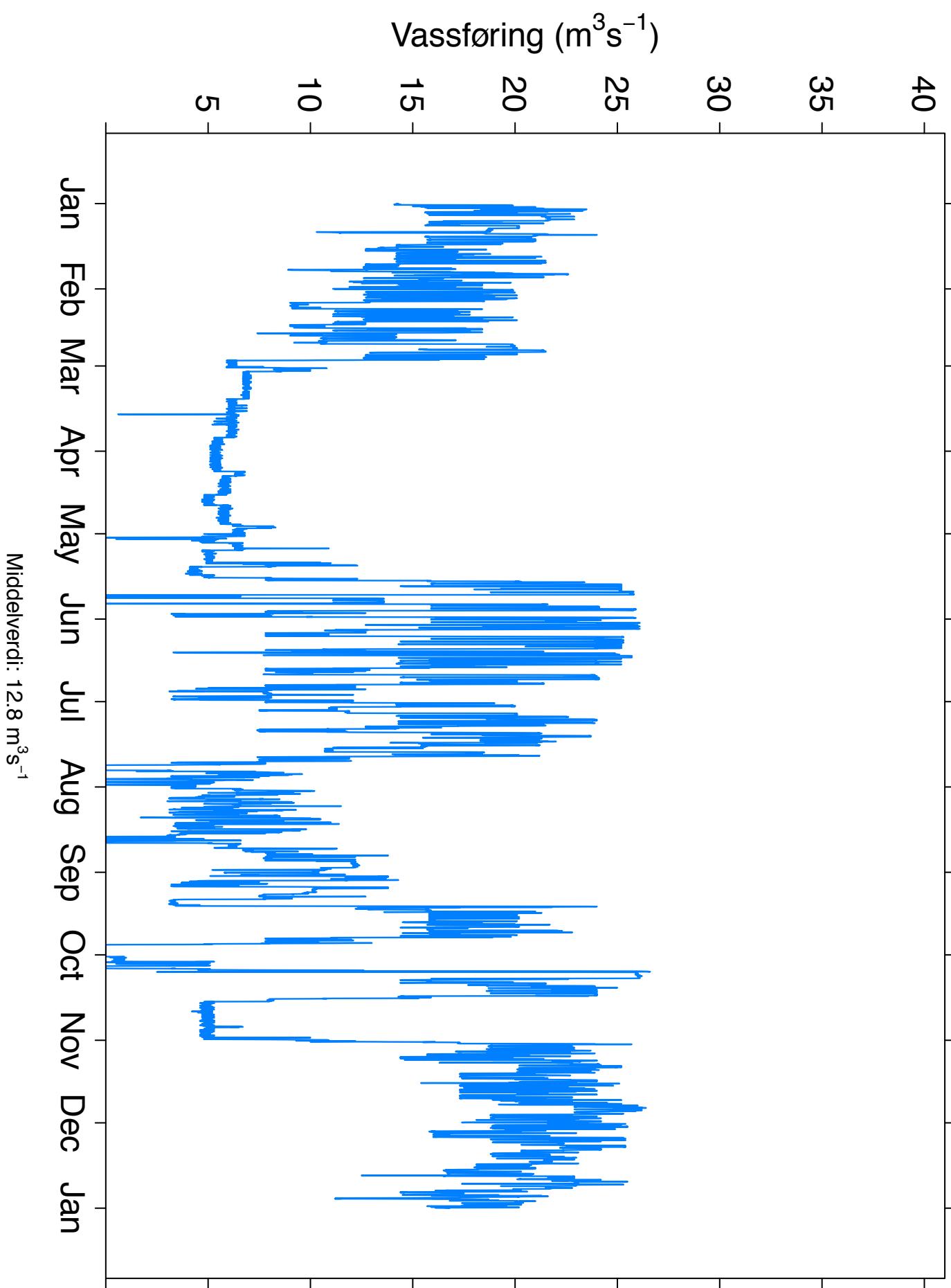
Stuvane\_krv\_2008



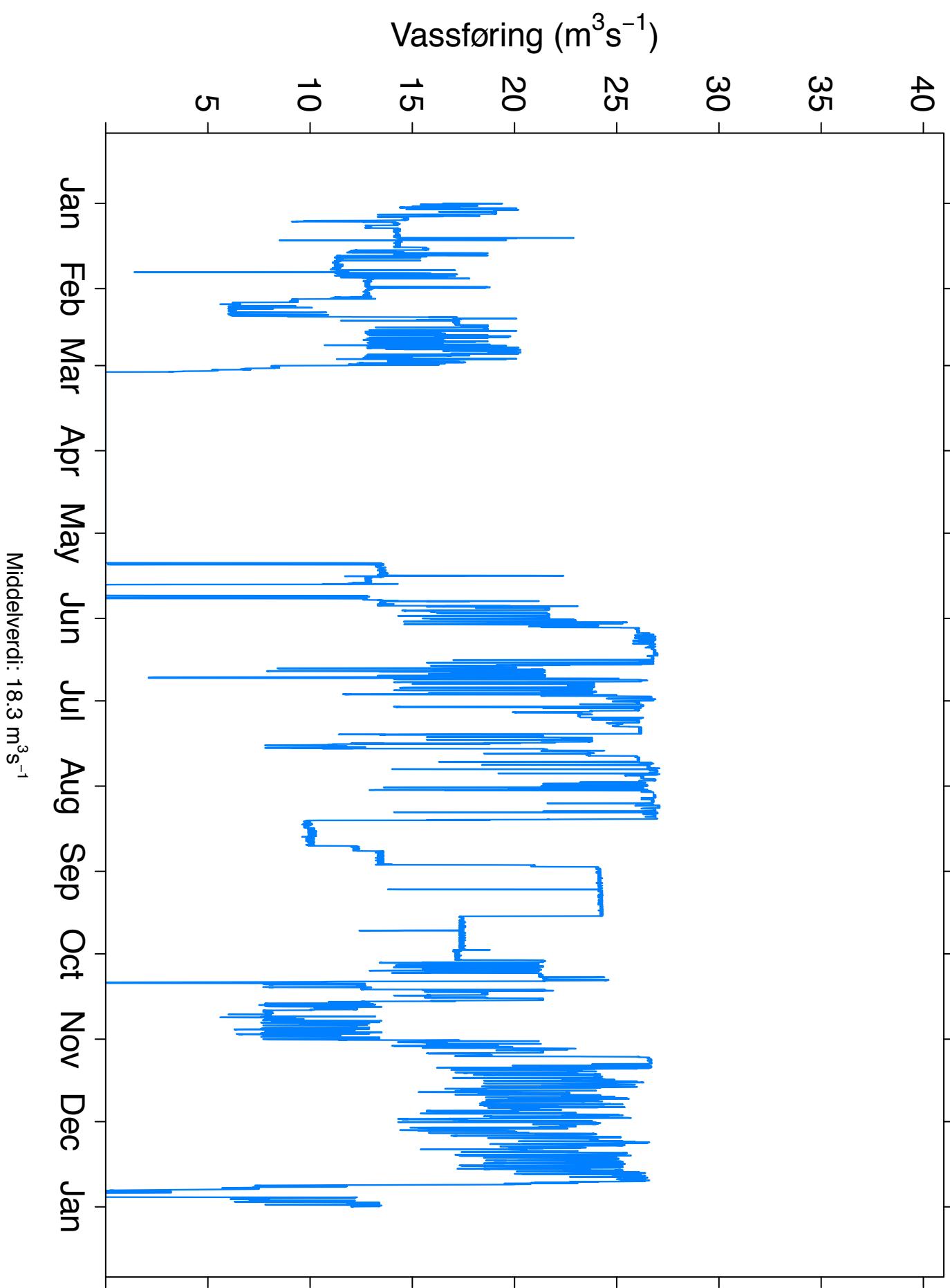
Stuvane\_krv\_2009



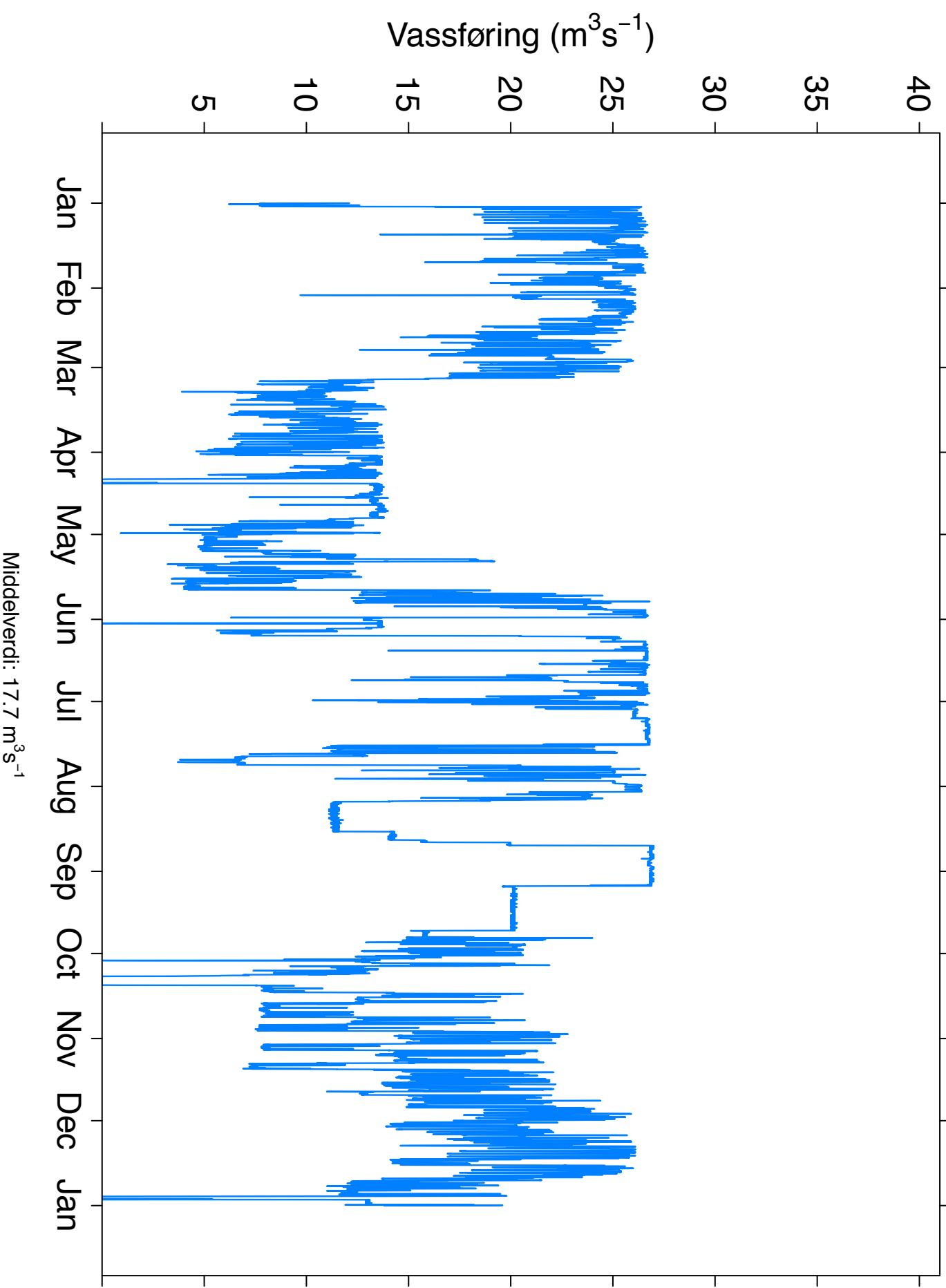
# Stuvane\_krv\_2010



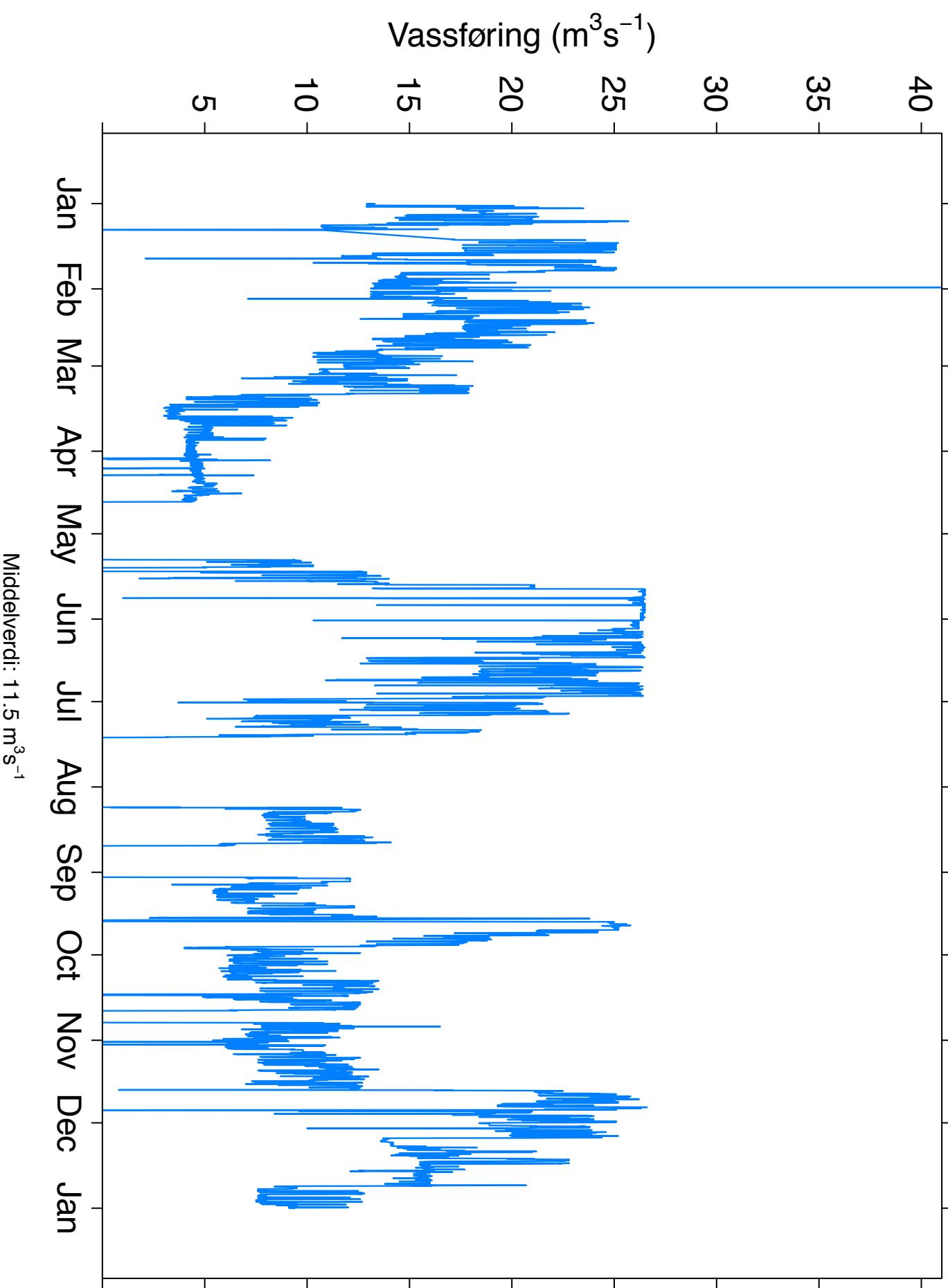
# Stuvane\_krv\_2011



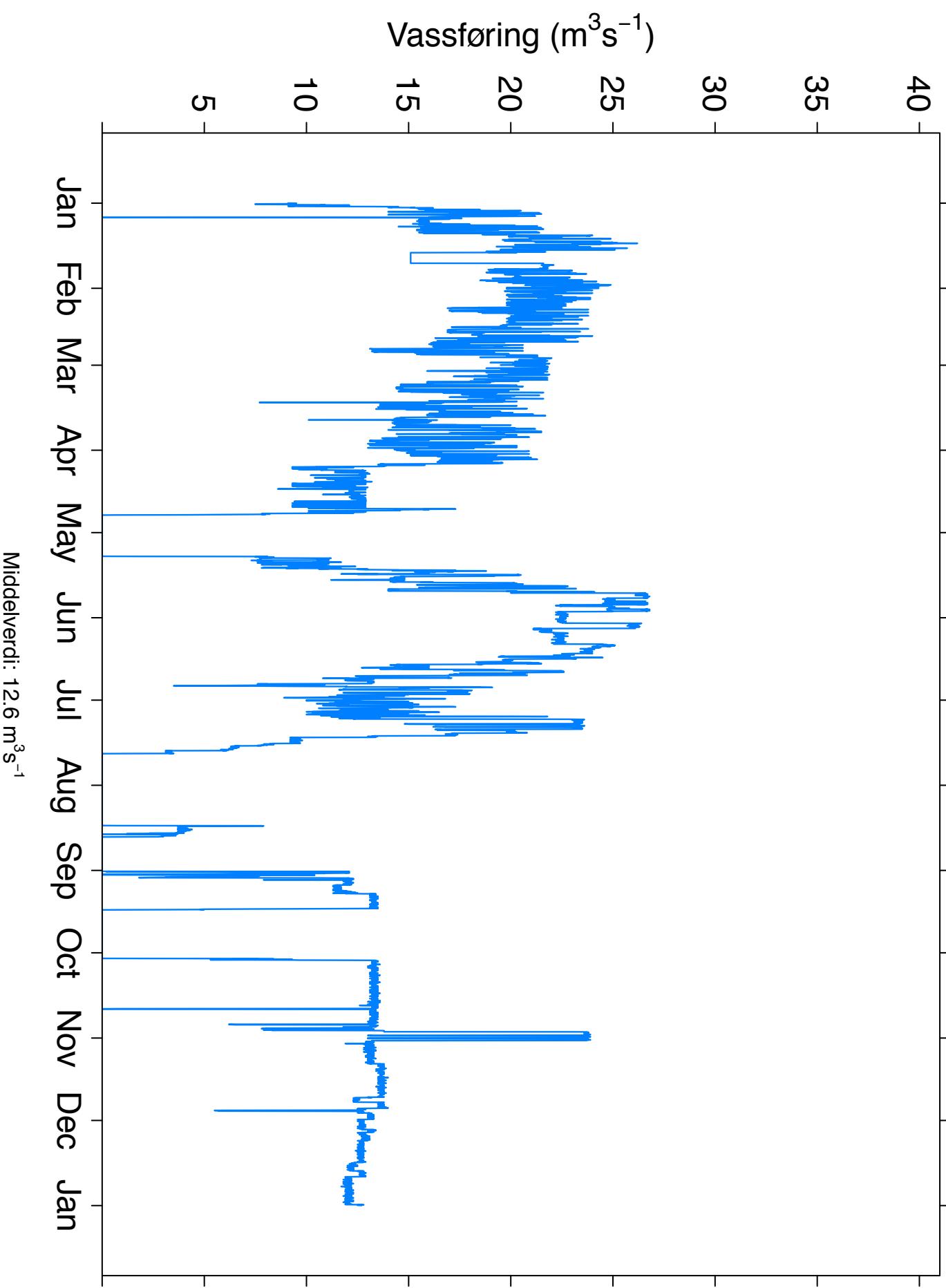
Stuvane\_krv\_2012



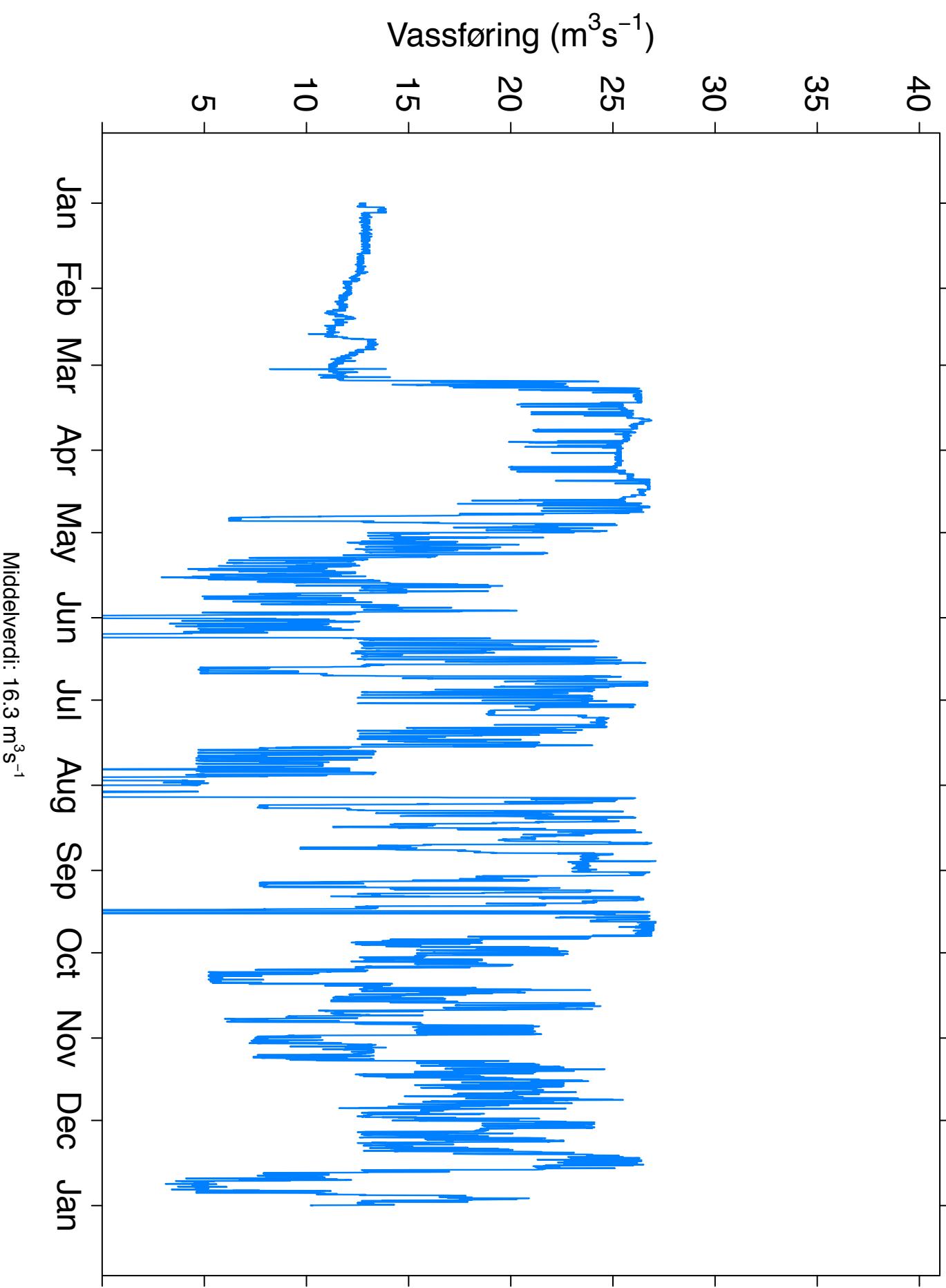
Stuvane\_krv\_2013



# Stuvane\_krv\_2014



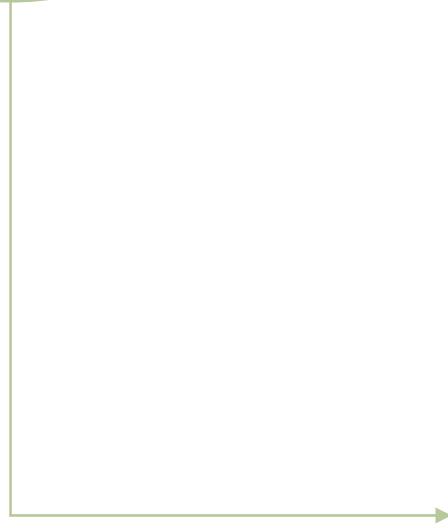
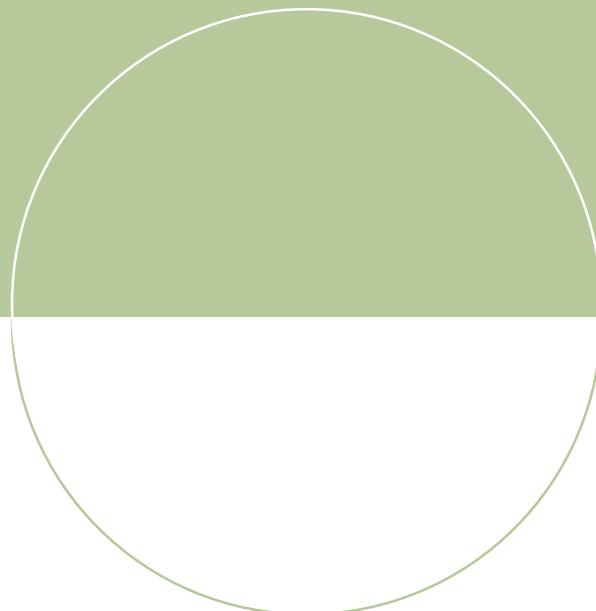
Stuvane\_krv\_2015







ISBN 978-82-7598-101-9



**NTNU**  
Norwegian University of  
Science and Technology