

NY VANNFORSYNING OSLO

DP1 RÅVANN

TØRRÅRSTILSIG I TYRIFJORDEN

01	Vedlegg til konsesjonssøknad	12.08.2024	JPB	SOMS	LH
Revisjon	Årsak til utgivelse	Dato	Utarbeidet	Kontrollert	Godkjent
NY VANNFORSYNING OSLO E5 RÅVANN Tørrårstilsig i Tyrifjorden		Sider:	Kontraktsnr:		
		19	NVO DP1		
			Gradering:		
			ÅPEN		
		Utarbeidet av:	Multiconsult COWI asplan viak 		
 Oslo Vann- og avløpsetaten		Dokumentnummer:		Revisjon:	
		NVO-MCA-10-RK-002-0		01A	

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	3
2	Innledning.....	4
3	Vassdraget.....	5
4	Datagrunnlag	7
5	Tilsgsserie	9
5.1	Metodikk	9
5.2	Flerårsstatistikk.....	11
6	Ekstremverdianalyse	12
7	Vurdering.....	14
	VEDLEGG 1: Nedbørfeltparametre (NEVINA).....	15
	VEDLEGG 2: Frekvensanalyse	18

1 Sammendrag

I forbindelse med konsesjonssøknad for uttak av vann til ny vannforsyning til Oslo er tidligere analyse av tørrårstilrenning fra år 2000 oppdatert med nyere tidsserie. Hovedfunnene er:

- For en 30 dagers periode vil en 200 års ekstremtørke tilsvare et tilsig på $30 \text{ m}^3/\text{s}$.
- For en 365 dagers periode vil en 200 års ekstremtørke tilsvare et tilsig ca. $74 \text{ m}^3/\text{s}$ (estimatet er dog usikkert for denne varigheten).
- Resultatene av lavvannsanalysen avviker ikke vesentlig fra NVEs analyse fra år 2000.

2 Innledning

Som bakgrunn for Oslo vann- og avløpsetats reviderte konsesjonssøknad for uttak av vann fra Holsfjorden til ny reservannforsyning til Oslo er det utført en lavvannsanalyse av tilsiget til Tyrifjorden. NVE hadde i sin tidligere behandling av saken bemerket at foreliggende grunnlag fra år 2000 var gammelt. I forbindelse med revisjonen er derfor grunnlaget oppdatert.

Metodikken for analysen baserer seg på en tidligere analyse utført av NVE i 2000^[1]. Denne rapporten er en oppdatering/verifisering av NVEs arbeid fra 2000.

^[1] Holmquist, E. 2000. Analyse av flomvannstander og tørrårstilsig i Tyrifjorden. NVE-rapport 7/2000

3 Vassdraget

For en beskrivelse av vassdragets karakteristika henvises til NVEs rapport fra 2000. Vi siterer her et utdrag:

«Tyrifjordens nedbørfelt er på totalt 9808 km². Nedbørfeltet avgrenses i nord mot Valdresflya og Jotunheimen, i nordvest av Fillefjell og Tyin. I øst grenser nedbørfeltet mot Mjøsas nedbørfelt og langs vestsiden ligger Hallingdal. Nedbørfeltet utgjøres i hovedsak av to store dalfører, Valdres—Begnadalen og Hadeland Land - Etnedal. I førstnevnte dalføre renner Begna gjennom innsjøene Vangsmjøsa, Slidrefjorden og Sperillen. Nedenfor Sperillen kalles elva Ådalselva. I det andre dalføret renner elvene Etna og Dokka sammen ved innløpet til Randsfjorden.

Kraftutbyggingen i denne delen av Drammensvassdraget har skjedd gradvis fra begynnelsen av forrige århundre. Etter 1973 har det kun vært mindre utbygginger i vassdraget med unntak av Dokkautbyggingen på slutten av 1980-tallet (konsesjon gitt i 1985).»

Siden graden av regulering har vært noenlunde uforandret siden 1973, benyttes måledata fra 1973 til i dag som grunnlag for analysen.

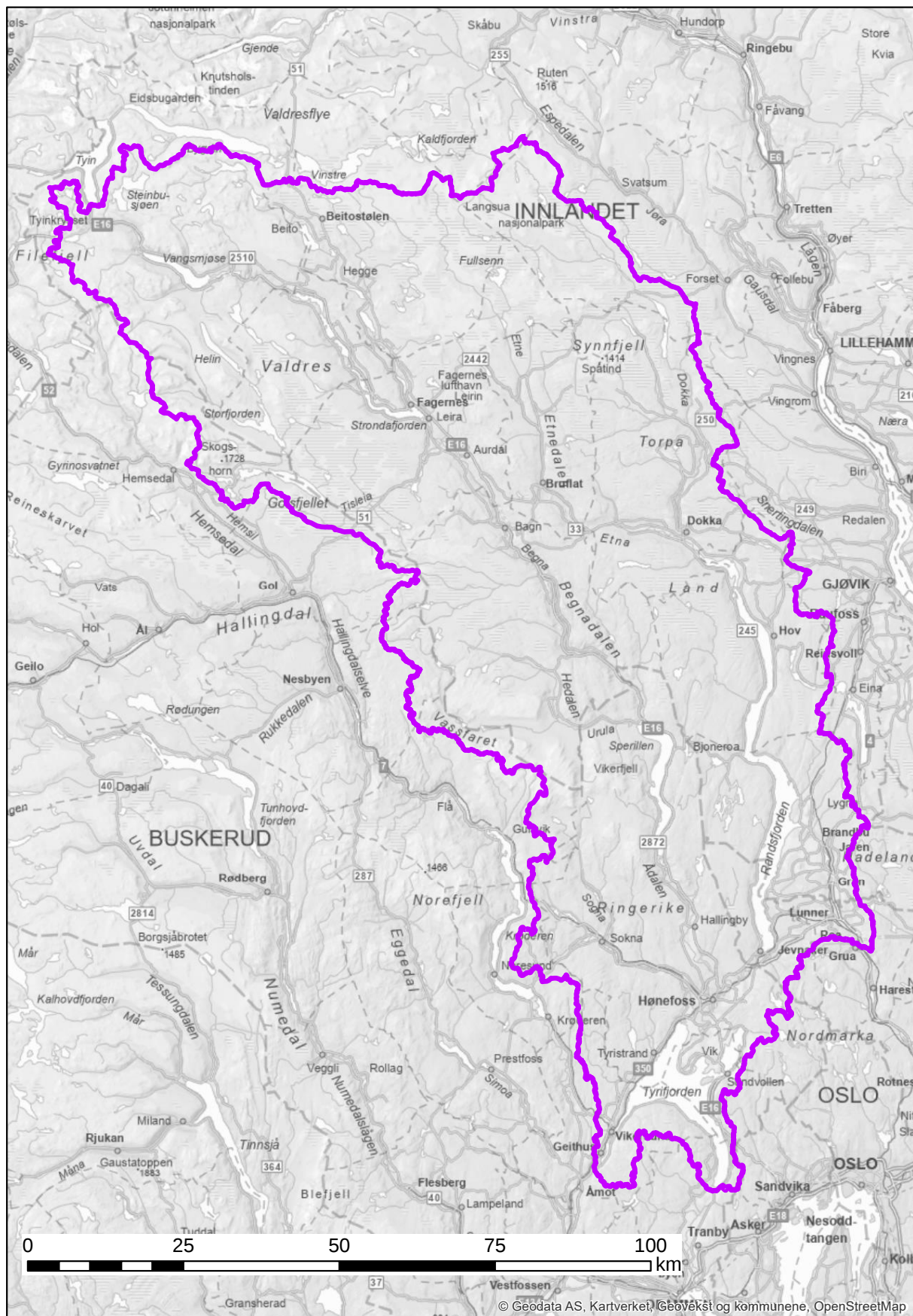
Nedbørsfeltet til Tyrifjorden (ift. utløpet) er vist på figur 3-1.

Ifølge NEVINA er Tyrifjordens nedbørfeltet noe større enn det NVEs tall fra 2000, nemlig 9 964 km² ved utløpet, definert ved dam Geithusfoss. Nedbørfeltet til Tyrifjorden oppstrøms Vikersund er på 9 917 km². Årsaken til forskjellen er uvisst.

Geithusfoss representerte også en måleserie i NVEs analyse fra år 2000. Siden har målestasjonen blitt erstattet av dam Gravfoss som ligger litt lenger nedstrøms. Nedbørfeltet til Gravfoss er kun 3 km² større, altså 9 967 km².

Tabell 3-1: Nedbørfeltparametere, NEVINA. Tyrifjordens utløp ved Geithusfoss.

Feltparametere		
Areal (A)	9964	km ²
Effektiv sjø (A _{SE})	2.1	%
Elvleengde (E _L)	267.3	km
Elvegradient (E _G)	5.2	m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	2	m/km
Helning	8.8	°
Dreneringstetthet (D _T)	1.5	km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	179.7	km
Årlig middelavrenning 61-90 (Q _N)	16.6	l/s*km ²

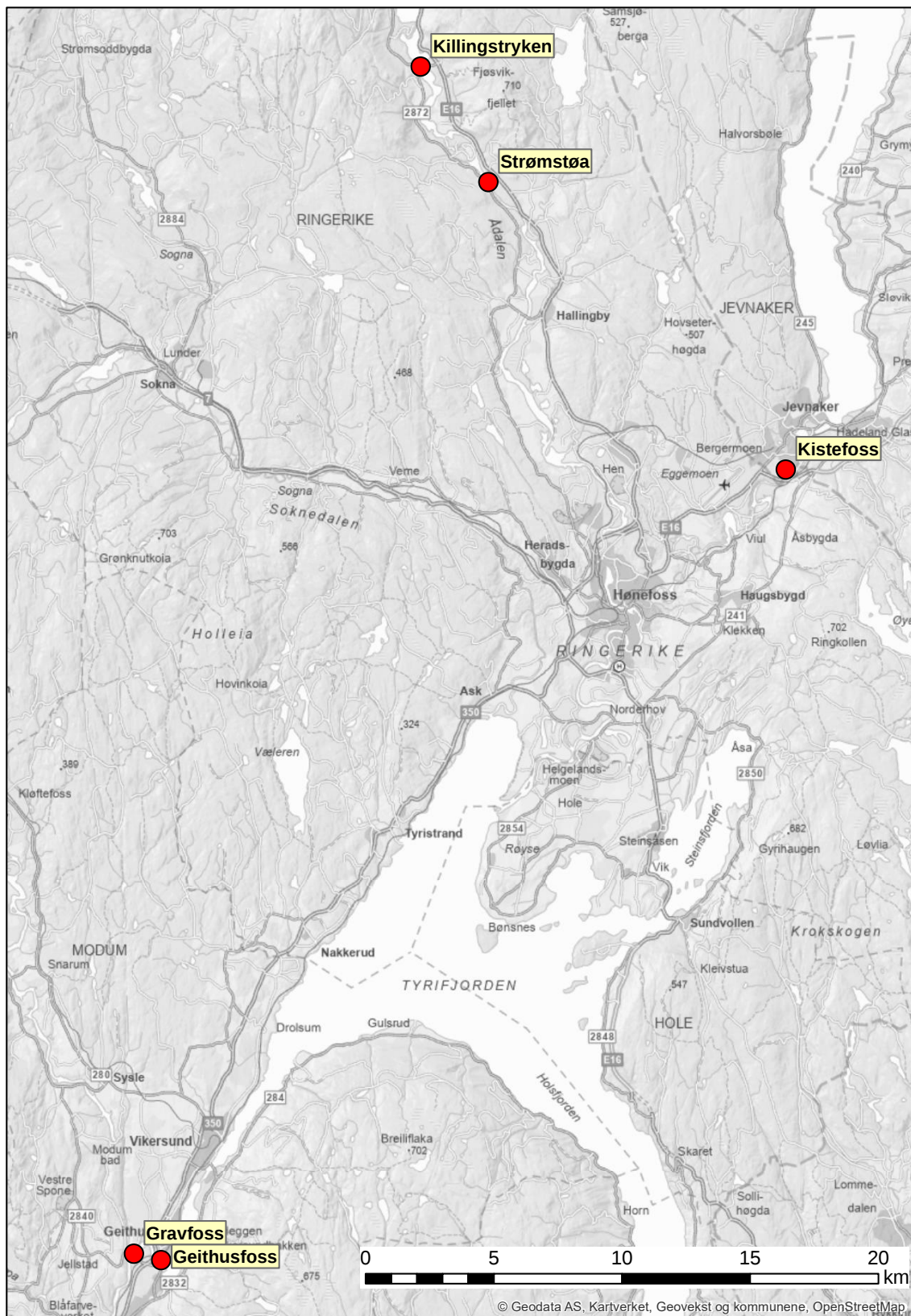


Figur 3-1: Nedbørfeltet til Tyrifjorden (fra NEVINA).

4 Datagrunnlag

Det er benyttet same måleserier som NVE benyttet i år 2000, men visse modifikasjoner. Måleseriene er følgende (se beliggenhet på figur 4-1):

- 12.15 Strømstøa. Opprettet i 1968. Det er rapport om en del problemer, særlig før 1999. Serien som den foreligger hos NVE ser ut til å være en kombinasjon av målinger ved Strømstøa og målinger ved Killingstryken, som ligger litt oppstrøms (forskjell i feltstørrelse – 0,6 %).
- 12.228 Kistefoss ligger i Randselva. NVE oppgir at data er pålitelige.
- 12.220 Geithusfoss/Gravfoss vannkraftverk. Vannføringen er beregnet (av NVE) som sum av driftsvannføring og forbitapping/flomtap. Ligger ved utløpet fra Tyrifjorden. Da NVE utførte sin analyse i 2000, stammet dataene fra Geithusfoss. Serien som i dag ligger i NVEs database Hydra II stammer fra kraftverket Gravfoss, som ligger kort nedstrøms for Geithusfoss. Den nye serien ser ut til å være en kombinasjon av den nye og den gamle serien.



Figur 4-1: Beliggenhet av målestasjoner.

5 Tilsigsserie

5.1 Metodikk

NVE beregnet i år 2000 tilsiget til Tyrifjorden etter følgende formel:

$$Tilsig\ Tyrifjorden = 1.105 \cdot (Strømstøa/Killingstryken + Kistefoss)$$

der skaleringsfaktoren 1,105 avspeiler tilsiget fra restfeltet nedstrøms Strømstøa og Kistefoss og oppstrøms Geithusfoss/Gravfoss. I areal utgjør restfeltet 20 % (1643 km²) ift. summen av feltene til Strømstøa og Kistefoss. NVE skalerte ikke ift. areal, men etter forholdet mellom (middel)tilsigene. Skaleringsfaktoren (SF) ble altså beregnet som:

$$SF = \frac{\text{Geithusfoss}}{\text{Kistefoss} + \text{Killingstryken}/\text{Strømstøa}}$$

Avrenningstallene som NVE la til grunn for beregning av skaleringsfaktoren ga SF = 1,105, som det fremgår av formelen i rammen.

Vi har benyttet den samme metodikken på de oppdaterte måleseriene. For kontroll og sammenligning, har vi utført den tilsvarende beregningen også for de «gamle» måleseriene som NVE benyttet i 2000-rapporten. Middelavrenning for de tre seriene er vist i tabell 5-1.

Vi ser at middelavrenningen for de oppdaterte seriene er 8-9 % høyere i forhold til data t.o.m. 1998, hvilket er i tråd med generelt våtere klima. Skaleringsfaktoren er likevel nesten uforandret for de to perioden, 1,09 for den gamle perioden mot 1,10 for den oppdaterte. Dette avviker litt fra tallet NVE etablerte i 2000, nemlig 1,105. Årsaken er ukjent, men forskjellen betraktes som så liten at den er uproblematisk.

Med skaleringsfaktoren oppdatert, kan tilsigsserien beregnes med oppdatert formel:

$$Tilsig\ Tyrifjorden = 1,10 \cdot (Strømstøa + Kistefoss)$$

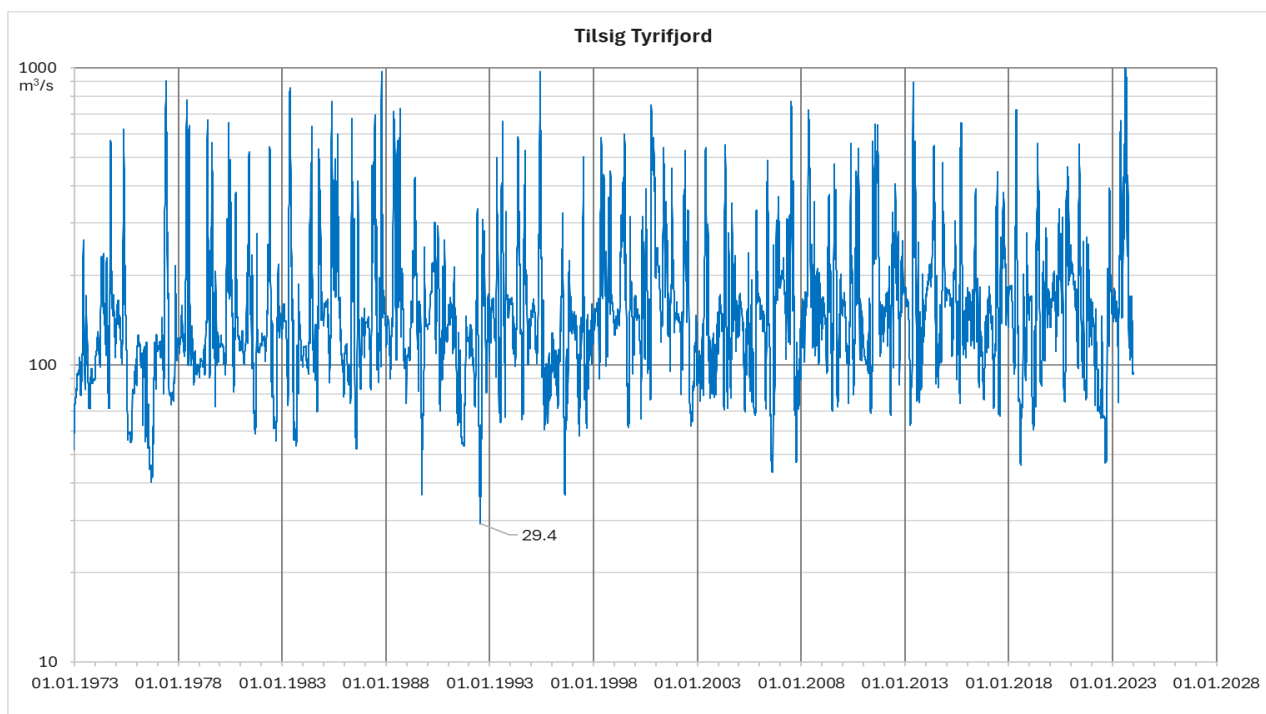
Den resulterende tilsigsserien er vist som figur 5-1. Vertikalaksen er logaritmisk for bedre å visualisere variasjonen i lave verdier.

Tabell 5-1: Middelavrenning for tre stasjoner, to beregningsperioder [m³/s], og beregning av skaleringsfaktor.

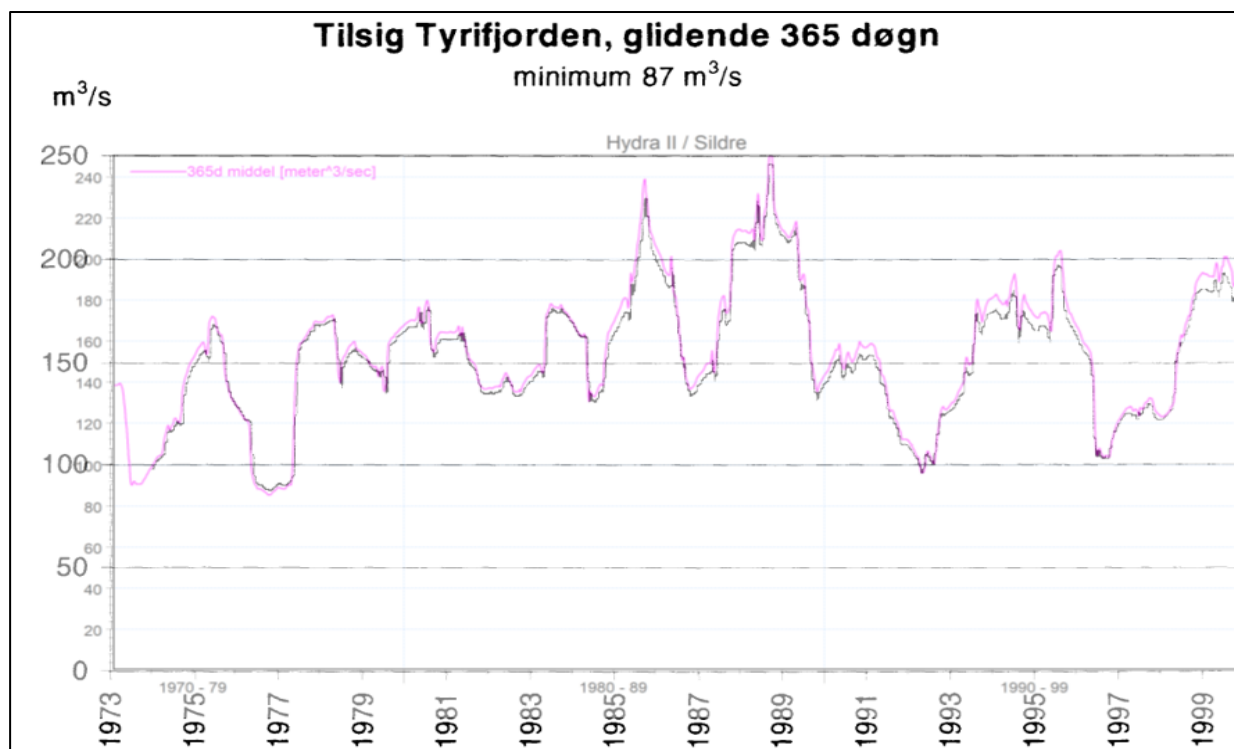
Stasjon / Serie	Middelavrenning 1973-98	Middelavrenning 1973-2023
Geithusfoss (Gravfoss) Kraftverk	152	165
Kistefoss	55	59
Killingstryken (Strømstøa)	84	92
$SF = \frac{\text{Geithusfoss}}{\text{Kistefoss} + \text{Killingstryken}/\text{Strømstøa}}$	1,09	1,10

Figur 5-2 viser en sammenligning av Multiconsults nye-beregnete tilsigsserie og NVEs serie fra 2000, presentert som 365-døgns middel. Det ser ut til å være noe avvik for de store

vannføringene, men det er godt samsvar for lave verdier. Minste verdi av 365-døgnmiddel er $87 \text{ m}^3/\text{s}$ i den gamle NVE-serien og $85 \text{ m}^3/\text{s}$ i Multiconsults oppdaterte serie. Minimumsverdien opptrer i 1976.



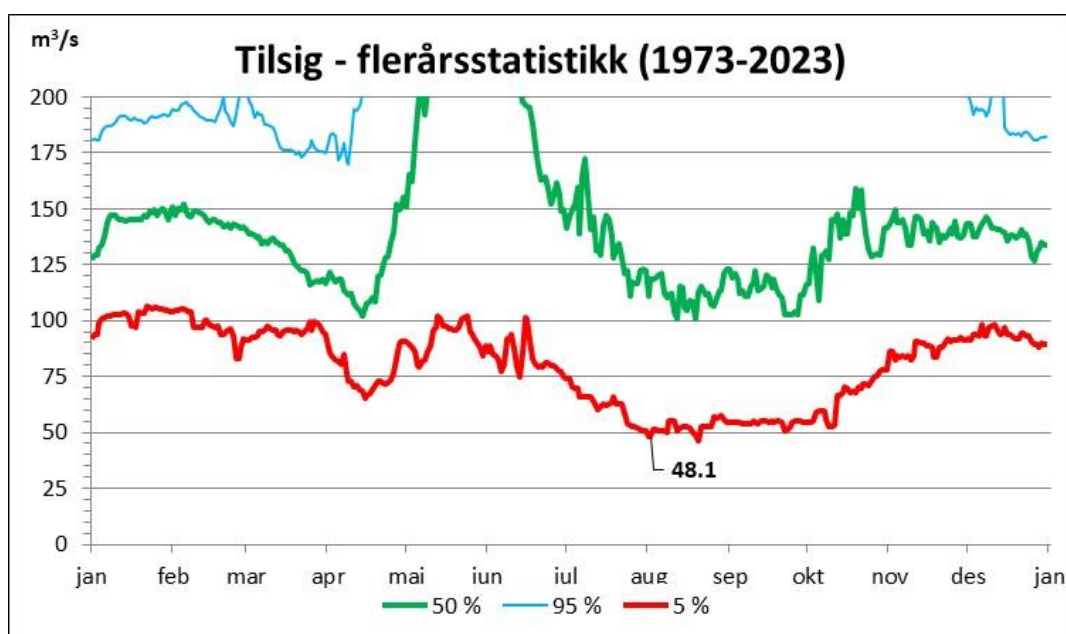
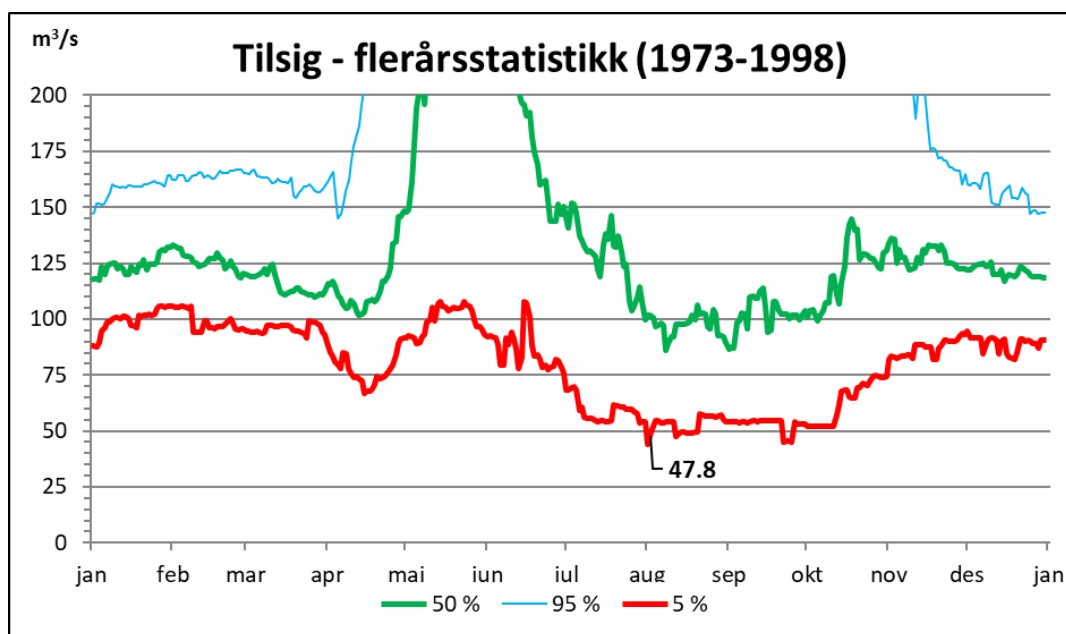
Figur 5-1: Døgnserie av beregnet tilsig til Tyrifjorden (NB! logaritmisk vertikalakse).



Figur 5-2: Kontrollsammenligning av ny tilsigsserie med NVEs serie fra 2000.

5.2 Flerårsstatistikk

Figur 5-3 viser flerårsstatistikk² for gammel hhv. oppdatert tilsigsserie. Man ser at medianen (grønn) ligger litt høyere i den oppdaterte serien, særlig tydelig i f.eks. februar med en økning på 20-25 m³/s fra rundt 125 til 150 m³/s. For 95-persentilen ser økningen ut til å være enda større, hvilket er av liten interesse i denne sammenhengen. Viktigste observasjon er at 5-persentilen er lite forandret, dog litt større i desember i den oppdaterte serien (varmere vintre/senere inntreffende vinterkulde?).



Figur 5-3: Flerårsstatistikk for tilsigsserie Tyrifjorden (døgnverdier). Øverst gammel serie, nederst oppdatert serie.

² Flerårsstatistikk viser karakteristiske persentiler for hver av årets dager. Dvs at for hver dag i året viser f.eks. 5-persentilen av tilsiget for hele årrekken.

6 Ekstremverdianalyse

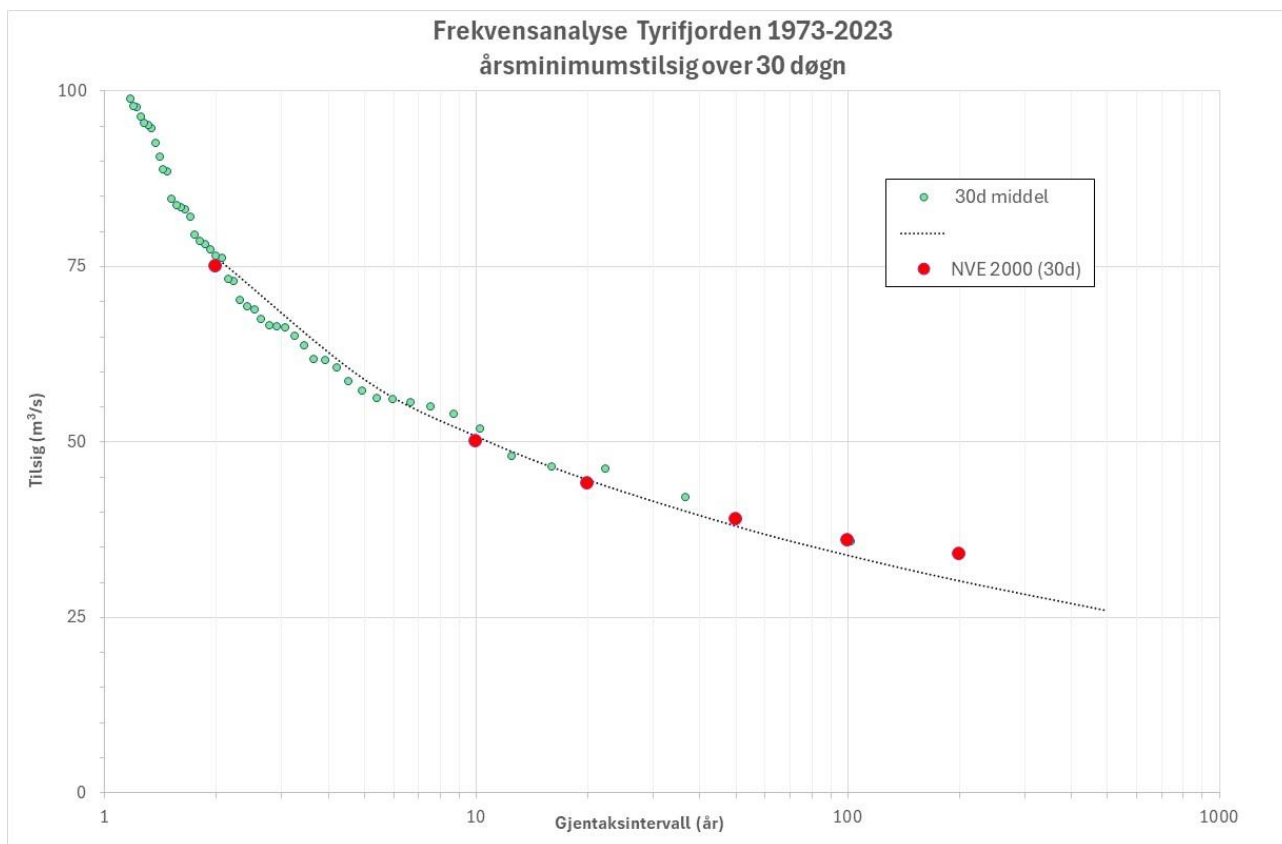
Som i NVEs utredning fra år 2000, er det utført frekvensanalyse for tørrårstilsig. Analysen er utført for 4 varigheter, fra 7 døgn opp til 365 døgn. Analysen er i praksis utført ved å beregne glidende gjennomsnitt for hver varighet, deretter utdra årsminimumsverdier og så kjøre frekvensanalyse på denne. Frekvensanalysen er kjørt i EVA (Extreme Value Analysis)-modul i MikeZero.

Best tilpasning til observerte verdier fås for fordelingsfunksjonen Weibull (moment-metoden), mens NVE fikk best tilpasning for GEV-fordelingen. Årsaken til denne forskjellen kjennes ikke, men samsvar mellom observasjoner og fordelingsfunksjonen i den nye analysen vurderes som bra for varigheter opptil 90 døgn, noe som også NVE konstaterte i 2000. Resultatene er vist i grafisk fremstilling i **Vedlegg 2**.

Frekvensanalysens resultat for varighet 30 døgn er vist som figur 6-1. Observasjonene (minimum fra hvert enkelt år) er vist som grønn prikk, mens den statistiske fordelingsfunksjonen er vist som en stiplet linje. Denne er bestemt av EVA-programmet i Mike.

Resultatene av NVEs analyse fra år 2000 er vist som røde prikker for sammenligning. Opp til og med T=50 år er det et godt samsvar mellom NVE 2000 og Multiconsult 2024, men over 50 år er Multiconsults oppdaterte estimer noe mindre. Denne forskjellen ses imidlertid ikke for de andre tre varighetene og kan være tilfeldig.

Nøkkelresultatene er trukket ut og vist i tabell 6-1.



Figur 6-1: Frekvensanalyse tørrårstilsig Tyrifjorden. Varighet 30 døgn. NVEs resultater fra 2000 vist som røde prikker for sammenligning.

Tabell 6-1: Resultater av frekvensanalyse av tørrårstilsig, Multiconsult 2024.

Varighet:	Middel m ³ /s	10 år m ³ /s	20 år m ³ /s	50 år m ³ /s	100 år m ³ /s	200 år m ³ /s	Laveste obs. m ³ /s	År
7 døgn	69	48	42	35	31	27	31	1992
30 døgn	78	51	45	38	34	30	36	1992
90 døgn	100	70	62	54	49	44	49	1976
365 døgn	143	(106)	(97)	(87)	(80)	(74)	85	1976

Tabell 6-2: Resultater av frekvensanalyse av tørrårstilsig, NVE 2000.

Varighet:	Middel m ³ /s	10 år m ³ /s	20 år m ³ /s	50 år m ³ /s	100 år m ³ /s	200 år m ³ /s	Laveste obs. m ³ /s	Dato for laveste
7 døgn	69	47	41	34	30	27	35	15–21.7.1992
30 døgn	75	50	44	39	36	34	39	4.7–2.8.1992
90 døgn	98	70	62	54	49	45	54	27.7–24.10.1976
365 døgn	152	(100)	(90)	-	-	-	87	Nov. 1975–okt. 1976

Tabell 6-3: Årstall for forekomst av de fem tørreste periodene. Røde tall angir forekomst i senere år etter 1998.

	7 d	30 d	90 d	365 d
1 (tørrest)	1992	1992	1976	1976
2	1996	1976	1973	1977
3	1976	1996	1975	1973
4	2006	2006	1991	1992
5	1989	2022	2022	1974

7 Vurdering

Det gjøres følgende observasjoner og vurderinger:

- NVEs opprinnelige tilsigsserie 1973–1998 (26 år) har blitt forlenget med 25 år (1999–2023) slik at det foreligger en 51 år tilsigsserie.
- Forekomsten av årlig lavvannføring beskrives godt med standard statistiske fordelingsfunksjoner, for varigheter fra 7 til 90 dager. For 365 døgns varighet passer fordelingen mindre godt.
- For alle fire betraktete varigheter opptrer de laveste lavvannføringene i årene i den «gamle» perioden 1973–1998, se tabell 6-3. Først på 4. og 5. plass ser man de «nye» årene representert, for noen varigheter, nemlig 2006 og 2022. Med andre ord, uvanlig tørre år forekommer mindre hyppig i de siste 25 årene enn i de første 26 årene. Det *kan* være et resultat av våtere klima.
- For en 30 dagers periode vil en 200 års ekstremtørke tilsvare et tilsig på 30 m³/s.
- For en 365 dagers periode vil en 200 års ekstremtørke tilsvare et tilsig ca. 74 m³/s (estimatet er dog usikkert for denne varigheten).
- Resultatene av lavvannsanalysen avviker ikke vesentlig fra NVEs analyse fra 2000.

VEDLEGG 1: Nedbørfeltparametre (NEVINA)

NEDBØRFELTPARAMETRE STRØMSTØA

Nedbørfeltparametere

Vassdragsnr.: 012.F52
Kommune.: Ringerike
Fylke.: Buskerud
Vassdrag.: Drammensvassdraget

Feltparametere	
Areal (A)	4649 km²
Effektiv sjø (A _{SE})	1.2 %
Elvleengde (E _L)	203.5 km
Elvegradient (E _G)	6.4 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	2.1 m/km
Helning	9.8 ‰
Dreneringstetthet (D _T)	1.5 km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	152.2 km

Arealklasse	
Bre (A _{BRE})	0 %
Dyrket mark (A _{JORD})	2.7 %
Myr (A _{MYR})	9.1 %
Leire (A _{LEIRE})	0 %
Skog (A _{SKOG})	52.5 %
Sjø (A _{SJO})	7.4 %
Snaufjell (A _{SF})	21.9 %
Urban (A _U)	0.1 %
Uklassifisert areal (A _{REST})	6.3 %

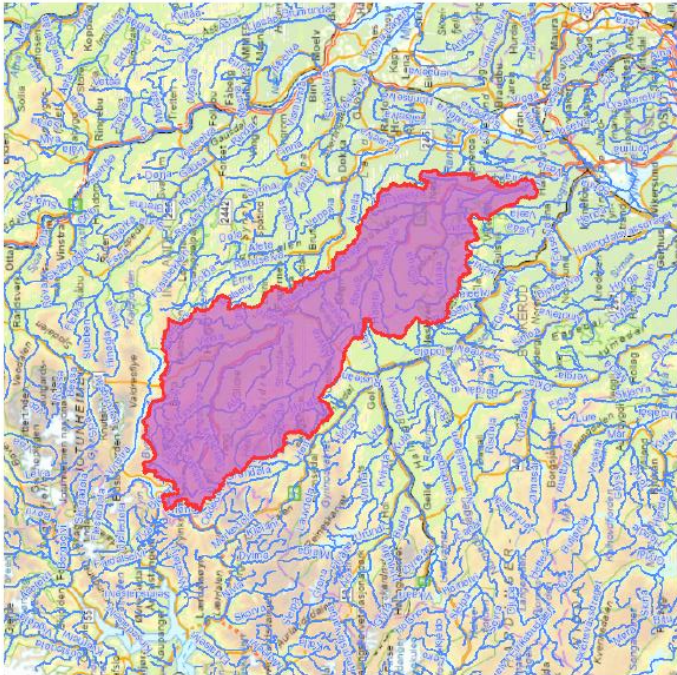
Hypsografisk kurve	
Høyde _{MIN}	145 m
Høyde ₁₀	533 m
Høyde ₂₀	692 m
Høyde ₃₀	834 m
Høyde ₄₀	918 m
Høyde ₅₀	970 m
Høyde ₆₀	1059 m
Høyde ₇₀	1117 m
Høyde ₈₀	1226 m
Høyde ₉₀	1453 m
Høyde _{MAX}	1901 m

Klima- /hydrologiske parametere (1991-2020)	
Årlig middellavrenning (Q _N)	20.2 l/s*km²
Årlig middellavrenning	637 mm
Usikkerhet middellavrenning	2.3 %
Nedbør juni - august	320 mm
Nedbør desember - februar	195 mm
Årstemperatur	-0.1 °C
Sommertemperatur	9.8 °C
Vintertemperatur	-7.1 °C

© nevina.nve.no

Rapportdato: 7/17/2024

GUID: 60cf18fd-04c5-4171-96df-d56c2921d4d0



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregn.punkt: 231665 E
6696384 N



Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil.
Resultatene må kvalitetssikres.

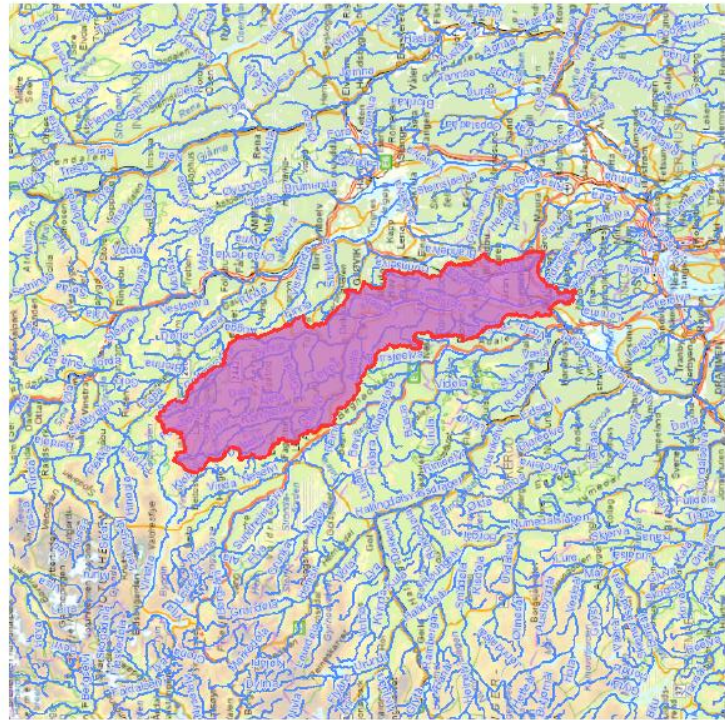
NEDBØRFELTPARAMETRE KISTEF OSS

Nedbørfeltparametere

Vassdragsnr.: 012.EA71
Kommune.: Ringerike
Fylke.: Buskerud
Vassdrag.: Randselva

Feltparametere	
Areal (A)	3702 km²
Effektiv sjø (A _{SE})	3.8 %
Elvleengde (E _L)	184.2 km
Elvegradient (E _G)	5.6 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G1085})	5.2 m/km
Helning	7.6 ‰
Dreneringstetthet (D _T)	1.4 km ⁻¹
Feltleengde (F _L)	138.2 km
Arealklasse	
Bre (A _{BRE})	0 %
Dyrket mark (A _{JORD})	5.2 %
Myr (A _{MYR})	9.6 %
Leire (A _{LEIRE})	0 %
Skog (A _{SKOG})	64.4 %
Sjø (A _{SJO})	7.5 %
Snauffjell (A _{SF})	6.9 %
Urban (A _U)	0.3 %
Uklassifisert areal (A _{REST})	6 %

Hypsografisk kurve	
Høyde _{MIN}	124 m
Høyde ₁₀	310 m
Høyde ₂₀	443 m
Høyde ₃₀	530 m
Høyde ₄₀	590 m
Høyde ₅₀	756 m
Høyde ₆₀	810 m
Høyde ₇₀	894 m
Høyde ₈₀	1005 m
Høyde ₉₀	1061 m
Høyde _{MAX}	1681 m
Klima- /hydrologiske parametere (1991-2020)	
Årlig middellavrenning (Q _N)	16.3 l/s*km²
Årlig middellavrenning	515 mm
Usikkerhet middellavrenning	3.1 %
Nedbør juni - august	279 mm
Nedbør desember - februar	188 mm
Årstemperatur	1.1 °C
Sommertemperatur	11.3 °C
Vintertemperatur	-6.2 °C



Kartbakkgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregn.punkt: 243669 E
6685122 N

Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil.
Resultatene må kvalitetssikres.

NEDBØRFELTPARAMETRE GRAVFOSS

Nedbørfeltparametere

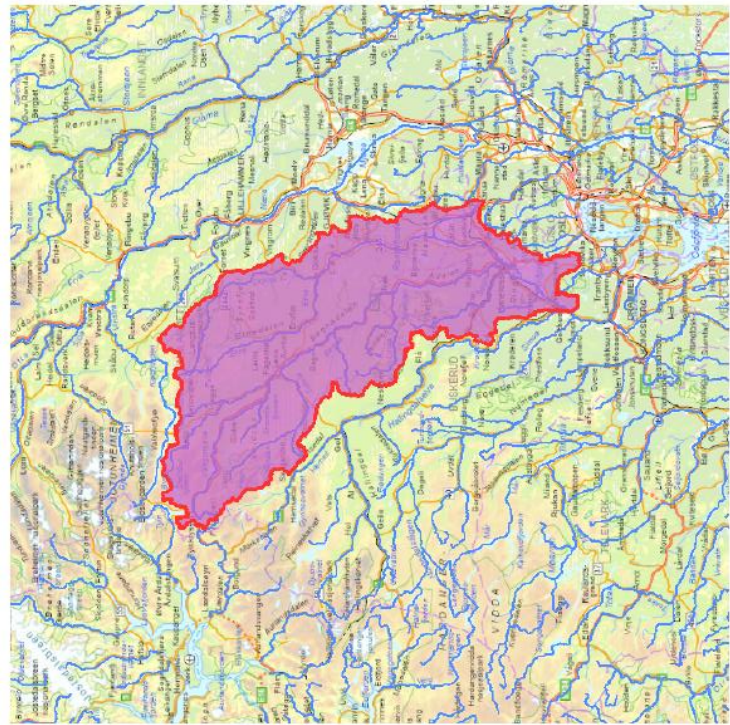
Vassdragsnr.: 012.D22
Kommune.: Modum
Fylke.: Buskerud
Vassdrag.: Drammensvassdraget

Feltparametere		
Areal (A)	9967	km²
Effektiv sjø (A _{SE})	2.1	%
Elvleengde (E _L)	269.3	km
Elvegradient (E _G)	5.2	m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	2	m/km
Helning	8.8	°
Dreneringstetthet (D _T)	1.5	km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	179	km

Arealklasse	
Bre (A _{BRE})	0 %
Dyrket mark (A _{JORD})	4.3 %
Myr (A _{MYR})	8.1 %
Leire (A _{LEIRE})	1.8 %
Skog (A _{SKOG})	60.4 %
Sjø (A _{SJO})	8.2 %
Snauffjell (A _{SF})	13.1 %
Urban (A _U)	0.3 %
Uklassifisert areal (A _{REST})	5.6 %

Hypsografisk kurve	
Høyde _{MIN}	40 m
Høyde ₁₀	280 m
Høyde ₂₀	456 m
Høyde ₃₀	587 m
Høyde ₄₀	665 m
Høyde ₅₀	834 m
Høyde ₆₀	926 m
Høyde ₇₀	1001 m
Høyde ₈₀	1117 m
Høyde ₉₀	1268 m
Høyde _{MAX}	1901 m

Klima- /hydrologiske parametere (1991-2020)	
Årlig middellavrenning (Q _N)	18 l/s*km²
Årlig middellavrenning	568 mm
Usikkerhet middellavrenning	1.9 %
Nedbør juni - august	297 mm
Nedbør desember - februar	189 mm
Årstemperatur	0.9 °C
Sommertemperatur	11.0 °C
Vintertemperatur	-6.4 °C



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregn.punkt: 217805 E
6654551 N



Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil.
Resultatene må kvalitetssikres.

VEDLEGG 2: Frekvensanalyse

