



Stormflodsbeskyttelse af Grenaa

Analyse af oplandets kapacitet ved portlukning i Grenåen

Norddjurs Kommune

Dato: 10. april 2026

Indhold

1.	Indledning.....	3
2.	Metode, analyse og resultater.....	4
2.1.	Datagrundlag og metode.....	4
2.2.	Opstuvning	4
2.2.1.	Metode og hydraulisk forudsætninger ved portlukning.....	4
2.2.2.	Volumenanalyse bag porten	5
2.2.2.1.	Usikkerheder og forudsætninger ved terrændata	7
2.2.3.	Tilstrømning i oplandet.....	7
2.2.4.	Beregning af fyldningstider	8
2.3.	Stormflodsvarigheder	9
2.3.1.	Datagrundlag.....	9
2.3.2.	Varighed af stormflodshændelser	10
3.	Sammenligning af fyldningstid og stormflodsvarigheder.....	13
4.	Vurdering af hydrauliske forhold med og uden stormflodsport	15
5.	Konklusion.....	16
6.	Referencer	17
	Bilag 1: Hydraulisk forhold i Grenåen ved stormflod	18

1. Indledning

I forbindelse med stormflodsbeskyttelse af Grenaa og det tilhørende opland arbejdes der med etablering af en portløsning ved Grenåens udmunding. I den sammenhæng er det nødvendigt at vurdere, hvorvidt der er behov for etablering af pumpekapacitet til håndtering af afstrømning fra oplandet i perioder, hvor porten er lukket som følge af forhøjet havvandstand.

Formålet med nærværende analyse er at klarlægge oplandets tilgængelige volumen bag en sluse og vurdere, om denne volumen er tilstrækkelig til at tilbageholde tilstrømmende vand, uden at den kritiske vandstand overskrides i lukkede perioder, og dermed om der er behov for etablering af pumpekapacitet.

Analysen er udarbejdet som et fagligt beslutningsgrundlag til brug for vurdering af behovet for pumpekapacitet i et levetidsperspektiv for portløsningen.

Den kritiske vandstand bag porten er fastsat til kote +1,3 m DVR90, fordi vandstande højere end dette kræver en beredskabsindsats for at beskytte infrastruktur. Analysen omfatter scenarier, hvor porten forudsættes lukket ved havvandstande på henholdsvis kote 1,0 m, 1,1 m og 1,2 m under stormflod.

På baggrund af terrændata beregnes volumen mellem de respektive lukkeniveauer og den kritiske kote. På denne baggrund beregnes fyldningstider for forskellige repræsentative vandføringer i Grenåen. Ved at sammenholde fyldningstiderne med typiske varigheder af stormflodshændelser tilvejebringes et grundlag for vurdering af, hvorvidt oplandet kan tilbageholde de tilstrømmende vandmængder uden aktiv bortledning.

Analysen omfatter ikke en dynamisk modellering af samtidige hændelser med stormflod og forhøjet vandføring i oplandet. I stedet anvendes en forenklet og konservativ tilgang, hvor fyldningstider beregnes for et spænd af relevante vandføringer. Denne tilgang vurderes at give et robust og transparent grundlag for den indledende vurdering.

Analysen er baseret på konservative forudsætninger, hvilket indebærer, at resultaterne vurderes at være på den sikre side i forhold til den hydrauliske belastning bag porten.

På denne baggrund bidrager analysen til at belyse, om der er behov for etablering af pumpekapacitet i forbindelse med en portløsning, og indgår som en del af det samlede beslutningsgrundlag.

2. Metode, analyse og resultater

2.1. Datagrundlag og metode

Analysen baserer sig på følgende datagrundlag:

- Hydrologiske og hydrauliske modelberegninger fra GEUS (Sebok, 2022).
- Målinger af vandføring ved Grenåen (Sønderbro), se Bilag 1.
- Terrænbaserede volumenberegninger (SCALGO).
- Vandstandsmålinger fra Grenaa Havn.

2.2. Opstuvning

2.2.1. Metode og hydrauliske forudsætninger ved portlukning

Til vurdering af oplandets kapacitet ved portlukning er der gennemført en volumenanalyse baseret på terrændata. Volumenet er beregnet mellem de valgte lukkeniveauer (kote 1,0 m, 1,1 m og 1,2 m) og den kritiske vandstand på kote 1,3 m.

I beregningerne er det forudsat, at alle områder under de respektive lukkeniveauer er vandfyldte ved portlukning. På denne baggrund beregnes fyldningstider for det tilgængelige volumen ved forskellige repræsentative vandføringer i Grenåen.

Metoden repræsenterer en konservativ vurdering af oplandets kapacitet. Dels antages et fyldt udgangspunkt under lukkeniveauet, dels anvendes konstante vandføringer.

Modelresultater fra (Sebok, 2022) viser, at der under stormflod opstår en bagudrettet hydraulisk gradient, hvor vand strømmer fra havet ind i oplandet. Figur 2-1 illustrerer en scenarieberegning fra rapporten, hvor havniveauet (rød kurve) stiger fra kote ca. 0 m til kote 3 m over 12 timer, forbliver på dette niveau i 24 timer og herefter falder igen. I scenariet lukkes porten ved kote 1 m, og det fremgår, hvordan vandstanden udvikler sig ved forskellige stationer op gennem oplandet.

Det ses, at vandstanden er højest nær Grenåens udmunding og aftager opstrøms, svarende til en bagudrettet gradient. Efter ca. 4 timer udlignes vandstanden i store dele af systemet, hvorefter gradienten er begrænset, og vandstanden stiger relativt ensartet i oplandet som følge af tilstrømningen.

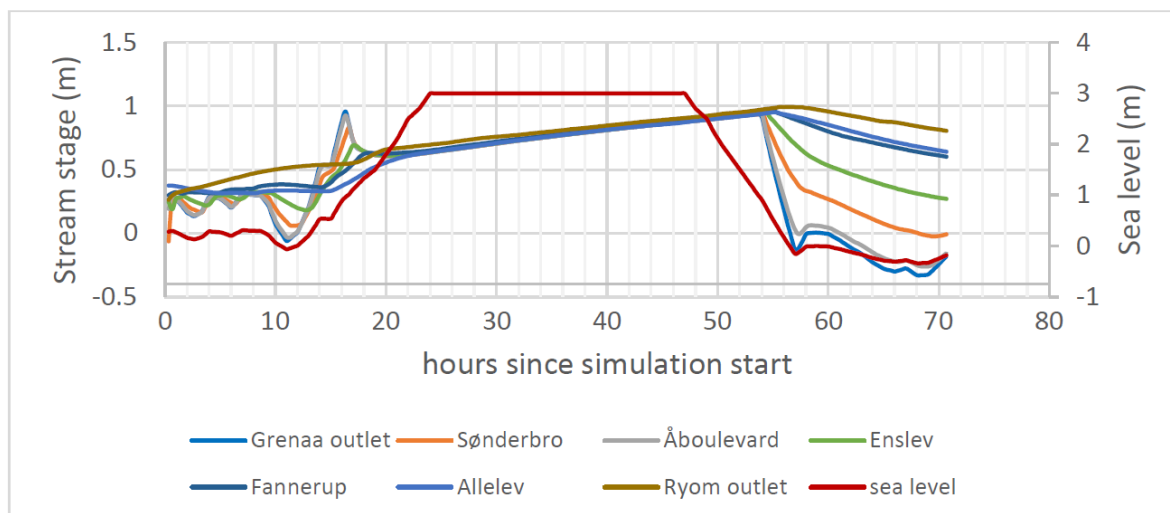


Figure 5-34 Simulated stream water levels in the catchment using both sea dikes and a sluice gate closed at 1 m sea level.

Figur 2-1: Gengivelse af Figur 5-34 fra GEUS [1]: Scenarieberegning med portlukning i kote 1 under stormflod.

I Bilag 1: Hydraulisk forhold i Grenåen ved stormflod fremgår desuden målte vandføringer ved Grenåen (Sønderbro) under udvalgte stormflodshændelser (Bodil (2013), Ingolf (2017), Alfrida (2019), Ciara (2020), Malik (2022), Otto (2023)). Målingerne viser perioder med negativ vandføring, hvilket bekræfter, at strømmingen vender under stormflod.

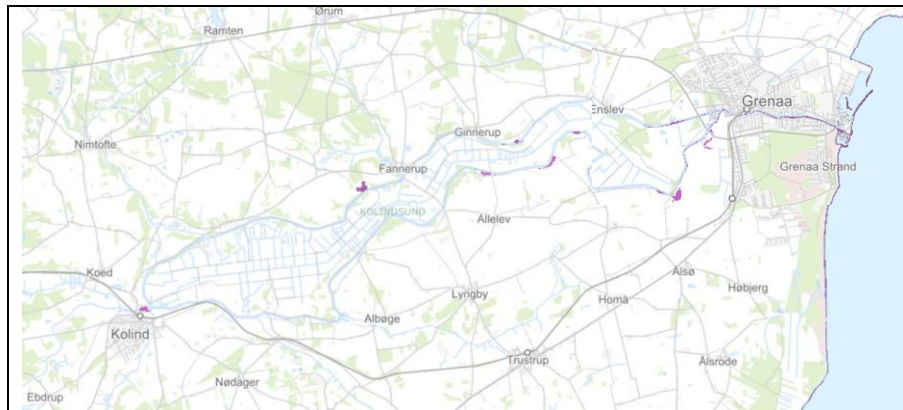
På denne baggrund vurderes det, at den anvendte volumenbetragtning udgør et konservativt og robust estimat af oplandets kapacitet ved portlukning.

2.2.2. Volumenanalyse bag porten

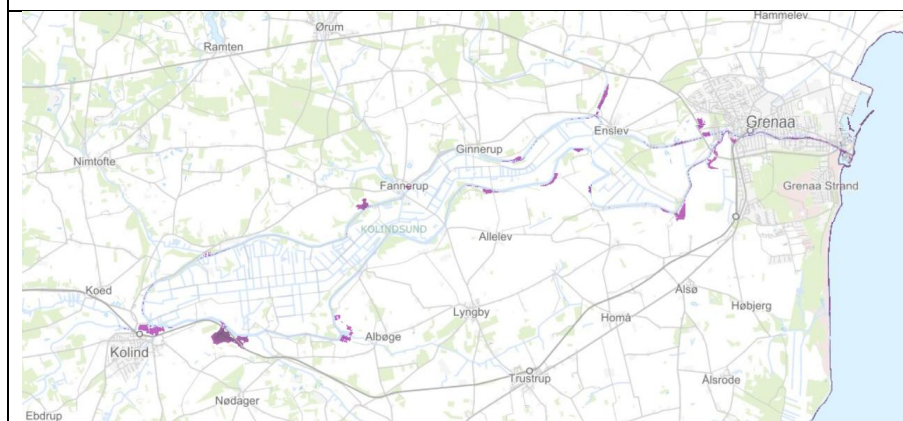
Volumenet bag porten er beregnet med udgangspunkt i terrændata fra SCALGO, baseret på den nationale digitale terrænmodel (DTM). Terrænmodellen er genereret på baggrund af landsdækkende LiDAR-opmålinger med en typisk opløsning på 0,4–1,6 m og en vertikal nøjagtighed i størrelsesordenen ± 5 –10 cm i åbent terræn.

Volumenet er opgjort for tre lukkeniveauer (kote 1,0 m, 1,1 m og 1,2 m) samt den kritiske kote 1,3 m. På Figur 2-2 til Figur 2-5 er vist de områder, der forventes oversvømmet ved de respektive koter.

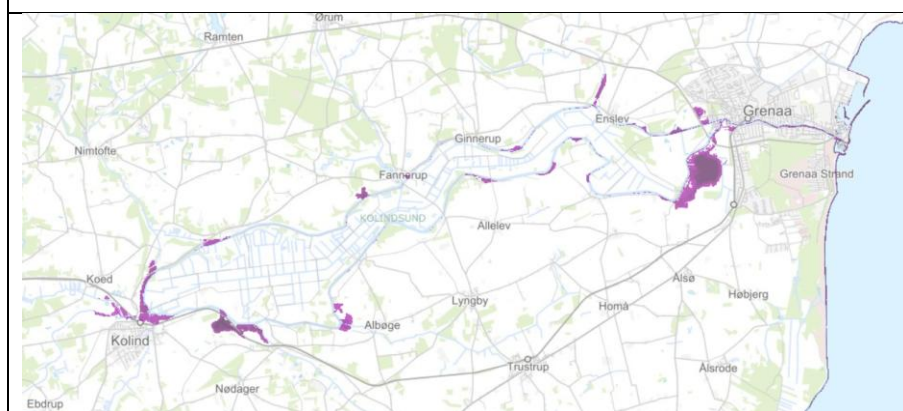
Det samlede oversvømmelsesvolumen bag porten er beregnet ved hjælp af GIS-baserede volumenopgørelser og fremgår af Tabel 2-1. Volumen mellem lukkekote og den kritiske kote er beregnet ved at trække volumen under lukkekoten fra volumen ved den kritiske kote.



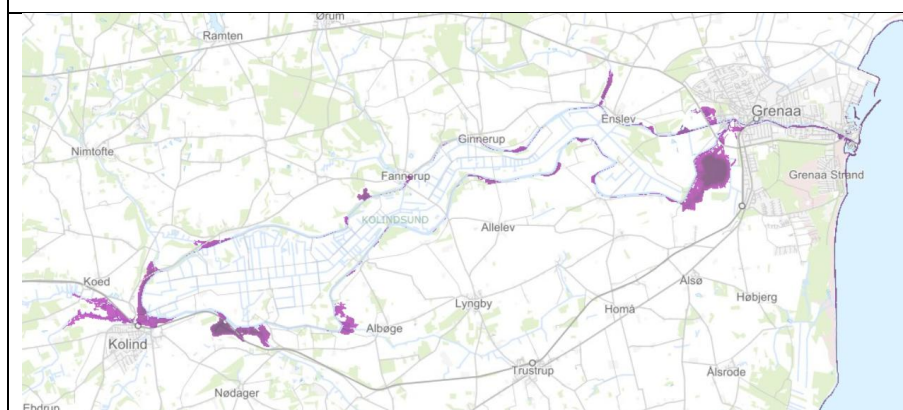
Figur 2-2: Oversvømmelser til kote 1.0 m.



Figur 2-3: Oversvømmelser til kote 1.1 m.



Figur 2-4: Oversvømmelser til kote 1.2 m. Det er oplyst af Norddjurs Kommune, at Kragssø er inddæmmet til kote 1,16 m. Det fremgår derfor at den vil være oversvømmet ved 1,2 m. Der er tilknyttet pumpe.



Figur 2-5: Oversvømmelser til kote 1.3 m (kritisk kote).

Tabel 2-1: Volumener i terræn model under lukkekoter og mellem lukkekoter og kritisk kote.

Lukke kote [m]	Volumen [m ³]	Volumen mellem lukkekote og kritisk kote 1,3 m [m ³]
1,0	330.000	2.060.000
1,1	700.000	1.690.000
1,2	1.900.000	490.00
1,3 (kritisk kote)	2.390.000	0

2.2.2.1. Usikkerheder og forudsætninger ved terrændata

Den anvendte terrænmodel repræsenterer terrænoverfladen på tidspunktet for opmålingen. I områder med vand, herunder vandløb, søer og vådområder, registreres vandspejlet som terræn. Det betyder, at terrænmodellen ikke nødvendigvis afspejler den faktiske bundkote i disse områder.

Som følge heraf er det absolutte volumen under de laveste koter, herunder kote 1,0 m, forbundet med en vis usikkerhed. Denne usikkerhed vurderes dog at være begrænset i nærværende analyse, idet vandspejlet ved opmålingstidspunktet vurderes at have ligget under kote 1,0 m.

Analysen baserer sig desuden primært på volumenforskelle mellem lukkeniveauer og den kritiske kote (1,3 m), frem for de absolutte volumener. Disse volumenforskelle vurderes at være mindre følsomme over for systematiske afvigelse i terrænmodellen.

Volumen ved kote 1,0 m anvendes således alene som reference for beregning af fyldningsvolumen mellem kote 1,0 m og 1,3 m, ved differens mellem de opgjorte volumener.

2.2.3. Tilstrømning i oplandet

Tilstrømningen til oplandet er styret af de hydrologiske forhold og varierer betydeligt afhængigt af nedbør, fordampning og årstid. Særligt ses højere tilstrømning i vinterhalvåret, hvor jorden er vandmættet, mens sommerperioder ofte er præget af lavere afstrømning.

Tilstrømningen er baseret på data fra Vandportalen, som samler målte og modellerede hydrologiske data fra bl.a. kommunale og statslige målestationer. Der er taget udgangspunkt i målestationen 3651-0-1 Sønderbro i Grenå.

Datagrundlaget omfatter en sammenhængende tidsserie på ca. 13 år (23.01.2013 – 19.03.2026) baseret på timeværdier. Værdierne er fremskrevet ved anvendelse af klimafaktorer fra HIP for klimascenariet RCP 8.5 (2071–2100). Der er anvendt middelværdier (mean) af klimafaktorerne. For at tage højde for modelusikkerhed er de fremskrevne vandføringer i de videre beregninger fastlagt som den øvre værdi inden for det angivne usikkerhedsspænd.

På baggrund af analyser af dataserien kan tilstrømningen karakteriseres, som vist i Tabel 2-2.

Tabel 2-2 Observeret og fremskrevet strømninger i Grenåen.

	Nutid Observeret [m ³ /s]	Fremskrevet 2071-2100 [m ³ /s]	HIP klima faktor 2071-2100	Spredning, usikkerhed 2071-2100
Sommermedian, (jun-aug)	2,5	2,4 - 3,1	1,01	±0,05
Efterårsmedian, (sep-nov)	3,9	3,7-4,7	1,07	±0,13
Vintermedian, (dec-feb)	5,8	6,1 - 8,3	1,25	±0,19
Forårsmedian, (mar-maj)	4,2	4,1-5,7	1,16	±0,18
Maks observeret (feb, 2024)	14,6	16,4 - 24,5	1,4	±0,28

De angivne værdier repræsenterer henholdsvis lavvandsforhold i sommerperioden, en typisk medianafstrømning, en karakteristisk vinterafstrømning samt den maksimalt observerede afstrømning i den analyserede periode.

2.2.4. Beregning af fyldningstider

Fyldningstiden for volumen bag porten er beregnet som: $T = \frac{Vol}{Q}$

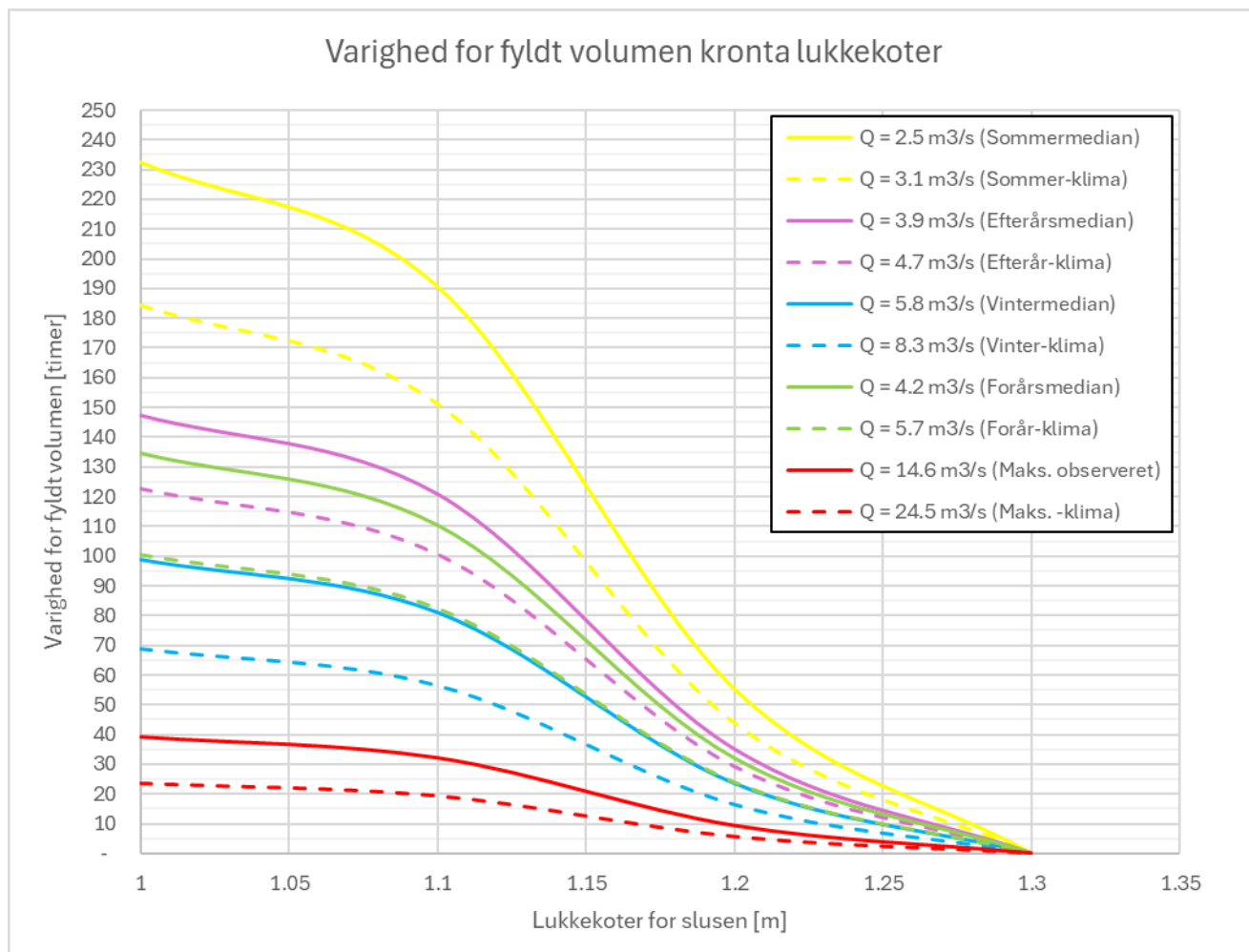
Hvor T er tiden til opfyldning, Vol er det tilgængelige volumen mellem lukkeniveau og kritisk kote, og Q er tilstrømningen fra oplandet.

I Tabel 2-3 er vist beregnede fyldningstider for de forskellige lukkeniveauer og tilstrømningsscenarier.

Tabel 2-3 Resultater af varighed (timer) til opfyldning af volumen bag porten.

Tilstrømning fra opland	Lukkekotter			
	1,0 m	1,1 m	1,2 m	1,3 m
Q = 2.5 m³/s (Sommermedian)	233 t	191 t	55 t	0 t
Q = 3.1 m³/s (Sommer-klima)	185 t	151 t	44 t	0 t
Q = 3.9 m³/s (Efterårsmedian)	147 t	121 t	35 t	0 t
Q = 4.7 m³/s (Efterår-klima)	123 t	101 t	29 t	0 t
Q = 5.8 m³/s (Vintermedian)	99 t	81 t	24 t	0 t
Q = 8.3 m³/s (Vinter-klima)	69 t	56 t	16 t	0 t
Q = 4.2 m³/s (Forårsmedian)	135 t	111 t	32 t	0 t
Q = 5.7 m³/s (Forår-klima)	101 t	82 t	24 t	0 t
Q = 14.6 m³/s (Maks. observeret)	39 t	32 t	9 t	0 t
Q = 24.5 m³/s (klimafremskrevet)	23 t	19 t	6 t	0 t

Fyldningstiderne er desuden illustreret grafisk på Figur 2-6, hvor sammenhængen mellem lukkeniveau, tilstrømning og opfyldningstid fremgår.



Figur 2-6: Sammenhæng mellem lukkeniveau, tilstrømning og fyldningstid for volumen bag porten.

Resultaterne viser, at fyldningstiden varierer betydeligt afhængigt af tilstrømningen og det valgte lukkeniveau. Fyldningstiderne skal sammenholdes med varigheden af stormflodshændelser, som typisk strækker sig over timer til få døgn.

2.3. Stormflodsvarigheder

2.3.1. Datagrundlag

Til analyse af varighed for lukning pga. høj havvandstand er vandstandsmålinger hentet for Grenaa Havn. Data er tilgængelige fra 01-01-2012 til 25-10-2025 i form af timeværdier. Tidsserien er manuelt rensset for fejlbehæftede målinger. Hvor der ikke er målinger, er perioden ikke med i analysen.

For at se på hyppigheder af lukninger ses der både på de rå måledata som svarende til nutiden samt en tidsserie hvor den forventede havspejlsstigning på 0,56 m er lagt til målingerne svarende til at middelvandstanden er hævet. Havspejlsstigningen svarer til den forventede stigning frem mod år 2100 (som beskrevet i (NIRAS, 2026)).

2.3.2. Varighed af stormflodshændelser

Baseret på den lange tidsserie for nutidens vandstandsvariationer og den fremskrevne tidsserie for variationer i år 2100, kan der etableres en analyse af hvornår vandstanden er over en given tærskel. Der er analyseret for hændelser over 0,9 til 1,4 m DVR90 á 0,1 m steps.

I analysen ses der ikke på at det kan være meget små overskridelser af de givne tærskler.

Beslutning om at lukke porten skal træffes på basis af varslet om stormflodens størrelse og varighed og hastigheden den kommer med. Den vurdering kan kobles sammen med aktuell afstrømning i åen, så der vælges en optimal sammenhæng og der opnår mest robusthed for at vandet kan opmagasineres på bagsiden.

I analysen er alle hændelser over den givne lukkekote inkluderet. Dvs. at små hændelser der kun akkurat overstiger tærskelhændelsen, også tæller for en hændelse. Når man ser på historiske data, vurderes det let at se, om der bør åbnes for porten eller ikke bør lukkes, men i praksis når det sker, vil det være en svær beslutning.

Derudover er der set på hvor lang tid der går, inden vandstand igen er over den givne tærskel. Her vil det skulle vurderes, om der er tid nok til at åbne og igen lukke porten. Det kan være en beslutning baseret på drift og vedligehold af porten. Analysen dækker to tidsrum, 12 og 24 timer imellem hændelser.

Tabel 2-4: Analyse af lukkehyppighed og varighed svarende til nutiden.

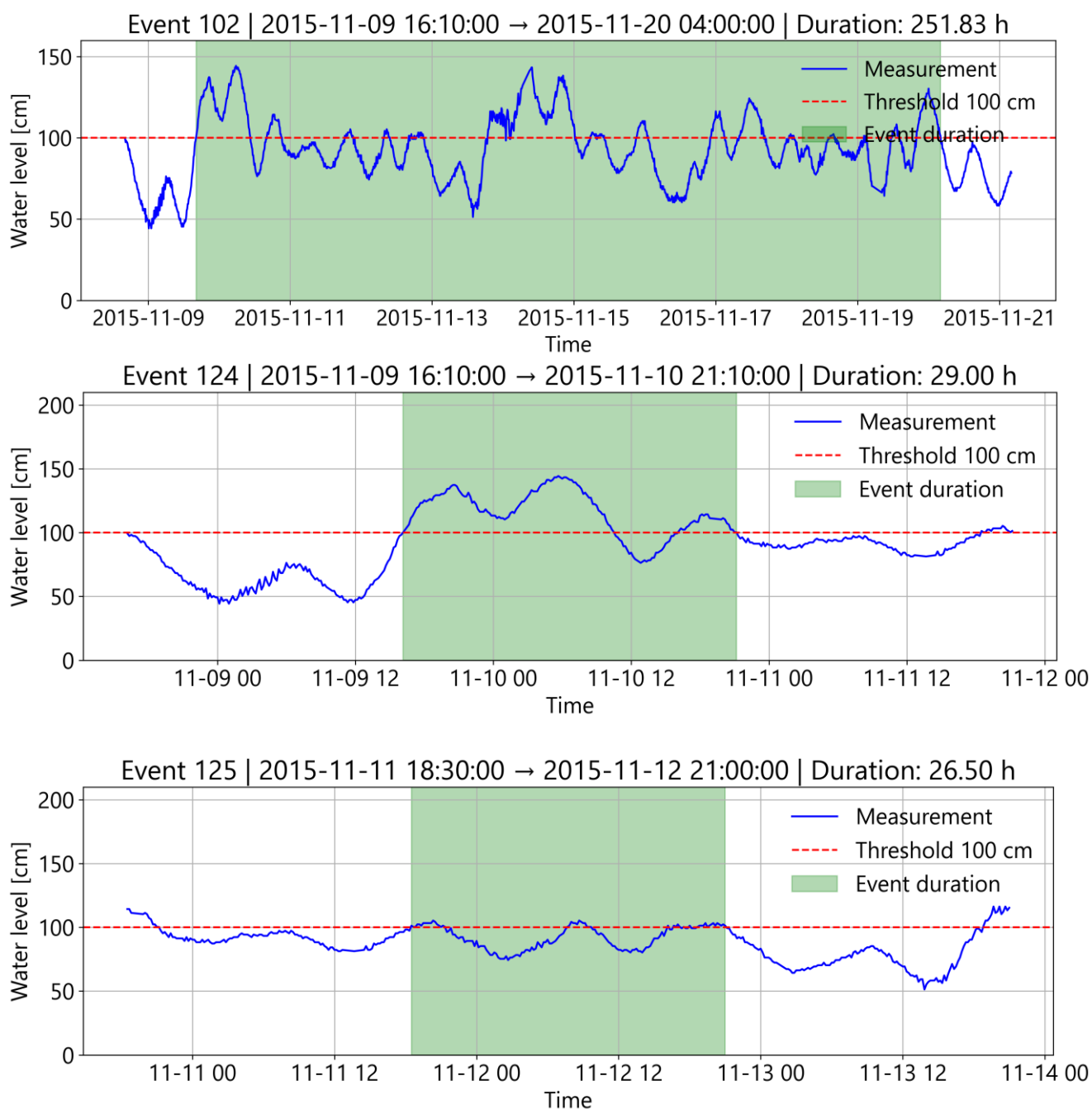
Overskridelse af vandstand (m)	Antal hændelser (-)	Antal hændelser (pr. år)	Maksimal varighed (t)	Gennemsnitlig varighed (t)
0,9	43	3.1	29.0	8.1
1,0	25	1.8	22.2	7.7
1,1	15	1.1	21.8	9
1,2	10	0.7	19.5	8.2
1,3	6	0.4	17.8	7.6
1,4	2	0.1	16.2	11.2

Tabel 2-5: Analyse af lukkehyppighed og varighed svarende til en fremskreven middelvandstand i år 2100. I analysen er anvendt en afstand mellem overskridelse af vandstanden på mindre end 24t.

Overskridelse af vandstand (m)	Antal hændelser	Antal hændelser pr. år	Maksimal varighed (t)	Gennemsnitlig varighed (t)
0,9	677	48.6	299.2	31.8
1,0	467	33.5	251.8	22.9
1,1	293	21	189.8	18.2
1,2	187	13.4	77	12.6
1,3	97	7	43.3	9.5
1,4	61	4.4	30.2	7.7

Tabel 2-6: Analyse af lukkehyppighed og varighed svarende til en fremskreven middelvandstand i år 2100. I analysen er anvendt en afstand mellem overskridelse af vandstanden på mindre end 12t.

Overskridelse af vandstand (m)	Antal hændelser	Antal hændelser pr. år	Maksimal varighed (t)	Gennemsnitlig varighed (t)
0,9	899	64.5	168.7	19
1,0	582	41.7	116.8	14.5
1,1	342	24.5	86.2	12.7
1,2	203	14.6	53.7	10
1,3	98	7	40.7	9.2
1,4	61	4.4	30.2	7.7



Figur 2-7: Eksempel på hændelse der tæller i analysen. Den øverste figur svarer til at der må gå op til 24t mellem hændelser for at porten vedvarende er lukket. De to nederste viser effekten af at reducere til maksimalt 12t mellem hændelserne (den lange tidsperiode bliver reduceret til i alt 5 mindre hændelser). Derudover ses det at små hændelser også tæller med som lukning.

3. Sammenligning af fyldningstid og stormflodsvarigheder

Resultaterne viser, at oplandet under nutidige forhold har tilstrækkelig kapacitet til at tilbageholde tilstrømningen under portlukning, mens der i et fremskrevet klimascenarie kan forekomme længerevarende hændelser, hvor kapaciteten udfordres.

Den centrale vurdering i analysen består i at sammenholde fyldningstiden for volumenet bag porten med varigheden af stormflodshændelser, hvor porten må forventes lukket. Da porten forudsættes lukket ved varslings om havvandstand højere end kote 1,0 m, tager sammenligningen udgangspunkt i hændelser, hvor vandstanden ved Grenaa Havn overstiger denne tærskel.

Fyldningstiden er beregnet som forholdet mellem det tilgængelige volumen mellem lukkekote og den kritiske kote 1,3 m og tilstrømningen fra oplandet, jf. afsnit 2.2. Stormflodens varighed er bestemt ud fra målte vandstande for nutidige forhold og fremskrevne forhold, jf. afsnit 2.3.2. Sammenligningen udgør dermed en screening af, om oplandet kan tilbageholde tilstrømmende vand i den periode, hvor porten er lukket.

For nutidige forhold viser analysen, at hændelser over kote 1,0 m har en gennemsnitlig varighed på ca. 7,7 timer og en maksimal varighed på ca. 22,2 timer. Sammenholdt med de beregnede fyldningstider fremgår det, at volumenet bag porten er tilstrækkeligt til at rumme tilstrømningen fra oplandet i hele lukkeperioden. Selv ved høje tilstrømninger er fyldningstiden generelt på niveau med eller længere end de længste observerede hændelser. På den baggrund vurderes det, at der under nutidige forhold er en god robusthed i forhold til portlukning ved kote 1,0 m.

For fremskrevne forhold i år 2100 øges både hyppighed og varighed af hændelser over kote 1,0 m. Ved en analyse, hvor hændelser med mindre end 24 timers mellemrum sammenkobles, fås en gennemsnitlig varighed på ca. 22,9 timer og en maksimal varighed på op til ca. 251,8 timer. Ved en analyse med 12 timers mellemrum fås en gennemsnitlig varighed på ca. 14,5 timer og en maksimal varighed på op til ca. 116,8 timer.

De store maksimale varigheder skal ses i lyset af den anvendte metode, hvor hændelser sammenkobles, hvis vandstanden igen overstiger tærsklen inden for en given tidsperiode. Resultaterne repræsenterer derfor ikke nødvendigvis én sammenhængende stormflodshændelse, men et samlet lukkeinterval, som er relevant i forhold til drift af porten.

Sammenligningen viser, at oplandet fortsat i mange tilfælde vil have tilstrækkelig kapacitet til at tilbageholde tilstrømningen under kortere og moderate hændelser. Imidlertid kan der ved længerevarende og sammenkoblede hændelser opstå situationer, hvor fyldningstiden for de højeste tilstrømninger er kortere end det samlede lukkeinterval.

På denne baggrund vurderes det, at volumenet bag porten under nutidige forhold generelt er tilstrækkeligt ved lukning i kote 1,0 m, mens der for fremskrevne forhold i år 2100 kan forekomme situationer, hvor længerevarende lukkeforløb stiller øgede krav til drift, varslings og eventuel supplerende håndtering.

Det skal bemærkes, at der ikke er set på sandsynlighed for samhørende hændelse med stormflod og stor tilstrømning på samme tid. Det vurderes, at det er en konservativ tilgang. Det anbefales at monitorere flow og optimere drift af porten så der kan lukkes vand ud bag porten når det overstiger niveau på havsiden.

4. Vurdering af hydrauliske forhold med og uden stormflodsport

Formålet med dette afsnit er at vurdere, hvorvidt etablering af en port som højvandslukke ved Grenåens udmunding kan medføre en forværring af de hydrauliske forhold opstrøms under stormflodshændelser. Særligt ønskes det belyst, om portlukning kan give anledning til højere vandstande i oplandet sammenlignet med en situation uden et højvandslukke.

Ved stormflod er vandstanden i havet forhøjet i forhold til vandstanden i Grenåen. Dette medfører en bagudrettet hydraulisk gradient, hvor vand strømmer fra havet og ind i å-systemet. Målinger fra Grenaa (Sønderbro), jf. Bilag 1, dokumenterer perioder med negativ vandføring under stormflod, hvilket bekræfter, at strømmingen i åen reelt vender.

I en situation uden højvandslukket vil vandstanden i Grenåen være påvirket af både tilstrømning fra oplandet og indstrømning af havvand som følge af stormflod. Den samlede vandtilførsel til åen vil dermed være større end oplandstilstrømningen alene, hvilket medfører en øget opstuvning og højere vandstande i de lavtliggende områder langs åen.

Ved etablering af en port, som lukkes under stormflod, afskæres indstrømningen fra havet. I denne situation vil vandstanden bag porten alene være bestemt af tilstrømningen fra oplandet. Selvom der fortsat sker en opfyldning af volumen bag porten, vil den samlede vandtilførsel være reduceret sammenlignet med situationen uden højvandslukket.

Det følger heraf, at:

- Den hydrauliske belastning af oplandet reduceres ved portlukning.
- Den maksimale vandstand bag porten vil være lavere end i en situation med fri indstrømning fra havet.
- Opstuvningen i å-systemet begrænses til et bidrag fra oplandet alene.

Da havvand under stormflod udgør den dominerende faktor for høje vandstande i Grenåen, jf. både modelresultater og observationer, vil en sluse, der effektivt afskærer denne påvirkning, ikke kunne forværre situationen opstrøms. Tværtimod vil porten reducere den samlede vandpåvirkning.

På denne baggrund vurderes det, at etablering af et højvandslukke ved Grenåen ikke vil medføre øgede vandstande eller forværrede oversvømmelsesforhold i oplandet under stormflod. Porten bidrager derimod til at begrænse påvirkningen fra havet og dermed reducere risikoen for opstuvning i å-systemet.

5. Konklusion

Volumenanalysen viser, at der er betydelig opmagasineringskapacitet bag porten. Beregningerne er baseret på konservative forudsætninger, hvilket medfører, at det faktiske volumen i praksis må forventes at være større end det beregnede.

Analysen viser, at vandstanden i Grenåen under stormflod i høj grad er styret af havvand, som medfører en bagudrettet strømning i å-systemet. Dette er dokumenteret både ved modelresultater og ved målinger, der viser perioder med negativ vandføring. Havvandet udgør således den dominerende påvirkning af vandstanden i systemet under stormflod.

Et højvandslukke ved Grenåens udmunding vil effektivt afskære denne påvirkning. Derved reduceres den samlede vandtilførsel til oplandet under stormflod fra både hav og opland til alene at bestå af tilstrømningen fra oplandet. På den baggrund vurderes det, at et højvandslukke ikke vil forværre forholdene opstrøms, men tværtimod reducere risikoen for opstuvning i å-systemet.

Sammenligningen mellem fyldningstid og stormflodsvarigheder viser, at oplandet under nutidige forhold generelt har tilstrækkelig kapacitet til at tilbageholde tilstrømningen i den periode, hvor porten er lukket. Selv ved relativt høje tilstrømninger, svarende til vintermedian under fremtidige klimaforhold, er fyldningstiden i størrelsesordenen 70 timer, hvilket overstiger de fleste observerede stormflodshændelser.

Der er i analysen også betragtet meget høje tilstrømninger svarende til maksimalt observerede og klimafremskrevne værdier. Disse repræsenterer imidlertid ekstreme hændelser, og samtidig forekomst af både stormflod og så høje afstrømninger vurderes at have en lav sandsynlighed. Anvendelsen af disse scenarier bidrager således til en konservativ vurdering af systemets kapacitet.

For fremskrevne forhold i år 2100 viser analysen, at varigheden af perioder med forhøjet havvandstand kan øges, hvilket kan medføre længere sammenhængende lukkeperioder. I sådanne tilfælde kan der opstå situationer, hvor fyldningstiden nærmer sig varigheden af lukkeperioden, særligt ved høje tilstrømninger. Dette peger på, at drift og håndtering af porten vil få øget betydning under fremtidige klimaforhold.

Samlet set vurderes det, at en portløsning ved Grenåen kan etableres uden behov for pumpekapacitet under nutidige forhold, og at løsningen ikke forværrer de hydrauliske forhold opstrøms. Analysen viser desuden, at resultaterne er baseret på konservative forudsætninger, hvilket understøtter robustheden af konklusionen.

Det anbefales, at der frem mod år 2100 jævnlige skal dokumenteres at basisantagelserne for dette dokument ikke er ændret og forventningerne til både havspejlsstigning og stormflodshændelser ikke forværres.

6. Referencer

CC), C. t. (2022). *Klimatilpasning i Grenåens opland – Strategisk plan og løsningskatalog.* . Norddjurs Kommune og Syddjurs Kommune.

NIRAS. (2026). *SBG_A4_K99_C01 Projektforslag.* NIRAS.

Sebok, E. &. (2022). *Climate change and adaptation options in the Grenaa catch-ment, Denmark.* Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS).

Bilag 1: Hydraulisk forhold i Grenåen ved stormflod

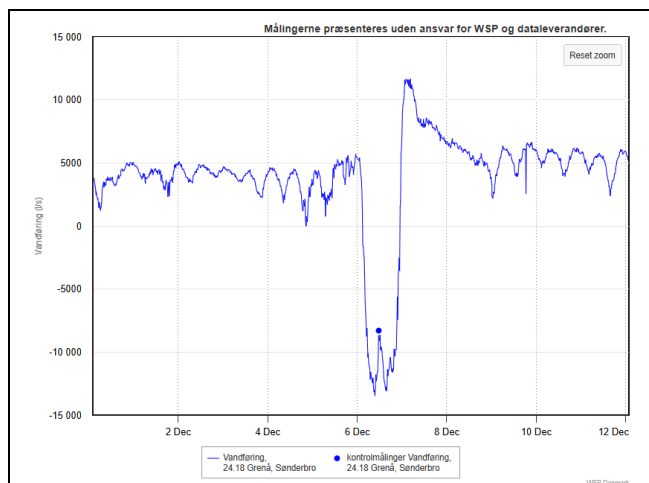
Grenåens opland er karakteriseret ved et meget lavt fald fra Kolind til udløbet i Kattegat, hvilket medfører, at havvand ved stormflod let kan trænge op i å-systemet.

Modelresultater og observationer viser, at der under stormflod opstår en bagudrettet hydraulisk gradient, hvor vandstanden ved udmundingen overstiger vandstanden opstrøms. Dette medfører, at strømmingen i åen vender, og vand strømmer fra havet ind i oplandet.

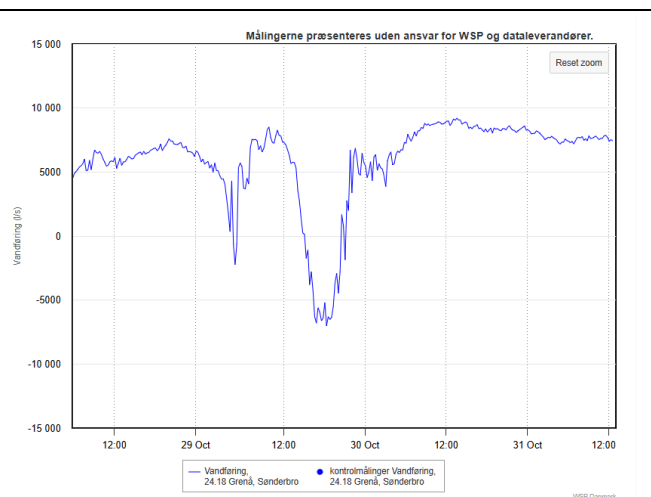
Denne effekt er dokumenteret ved flere historiske stormflodshændelser, herunder:

- Bodil (2013)
- Ingolf (2017)
- Alfrida (2019)
- Ciara (2020)
- Malik (2022)
- Otto (2023)

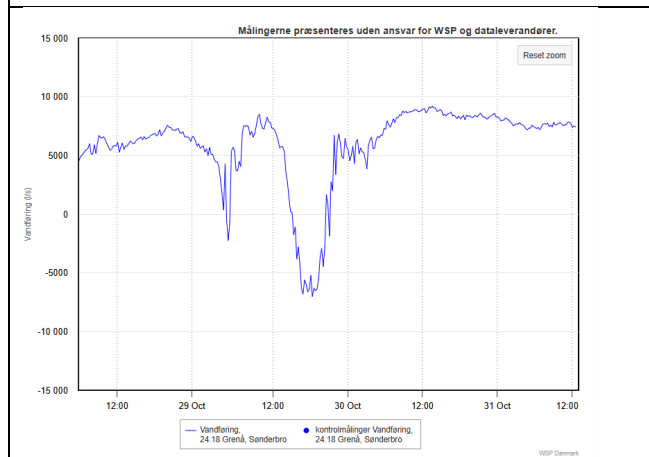
Disse observationer viser, at havvand under stormflod er den dominerende påvirkning af vandstanden i Grenåen. På figurerne nedenfor fremgår vandføringen i Grenåen for ovenstående stormfloder, hvor negativ vandføring betyder at vand strømmer op i Grenåen fra havet.



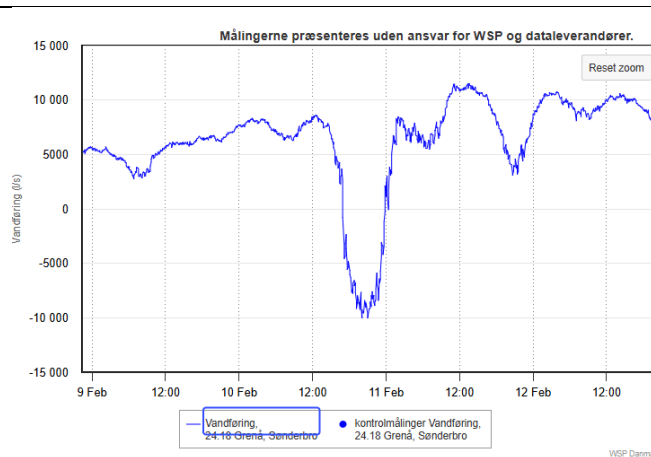
Figur 0-1: Vandføring i Grenåen under Bodil (2013).



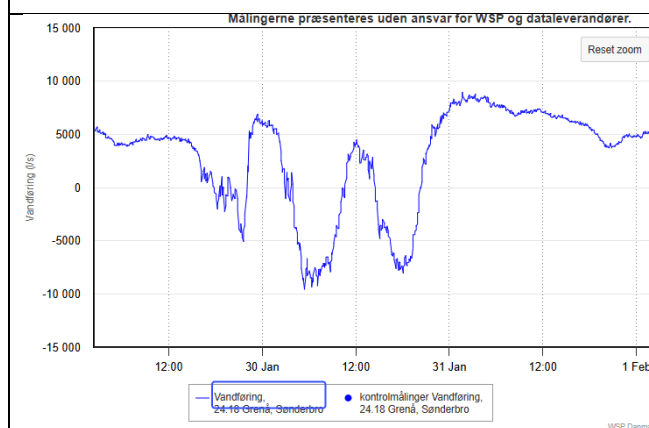
Figur 0-2: Vandføring i Grenåen under Ingolf (2017).



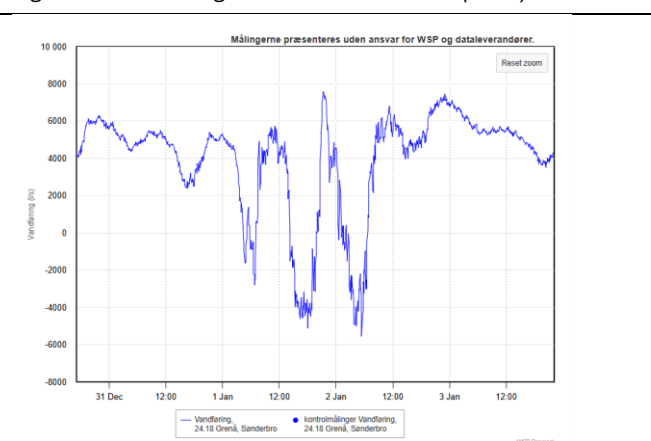
Figur 0-3: Vandføring i Grenåen under Alfrida (2019).



Figur 0-4: Vandføring i Grenåen under Ciara (2020).



Figur 0-5: Vandføring i Grenåen under Mallik (2022).



Figur 0-6: Vandføring i Grenåen under OTTO (2023).