



UPPSALA  
UNIVERSITET



UPTEC W 21002

Examensarbete 30 hp  
Februari 2021

# Massbalans av salt, kväve och fosfor i Dynestadsjön

En pilotstudie innefattande flödesmätningar  
och modellering

---

Isak Spett



# Referat

**Massbalans av salt kväve och fosfor i Dynestadsjön** – En pilotstudie innefattande flödesmätningar och modellering

*Isak Spett*

Dynestadsjön i Gamleby, Västerviks kommun, har en historia av kollapsar till följd av syrebrist samt höga halter havssalt, kväve och fosfor. De höga halterna näringsämnen har gett upphov till försämrade levnadsförhållanden för fisk och andra vattenlevande organismer. Då sjön kollapsar stiger syrefritt bottenvatten upp till ytskiktet och orsakar fiskdöd. Vid kollapserna har även en kraftfull stank av svavel spridit sig intill sjön. De ackumulerade mängderna salter i sjön antas uppkommit på grund av inflöde av bräckt vatten från Gamlebyviken till Dynestadsjön. Flertalet åtgärder har utförts för att minska näringsbelastningen från land till sjön för att förbättra vattenkvaliteten. Dessa åtgärder har främst varit anläggning av fosfordammar, tvåstegsdiken samt våtmarker. En mer nytänkande, och därmed mindre beprövad åtgärd är att pumpa vatten från sjöns bottenkikt för att sedan använda detta näringsrika vatten till bevattning av grödor. Tanken är att volymerna som pumpas upp ska återföra näringsämnen till land och skapa en återcirkulation av det näringsrika vattnet. För att kunna utföra detta samt andra eventuella åtgärder i större skala krävs det förståelse om den massbalans av näringsämnen som råder i sjön. Syftet med arbetet har varit att utföra mätningar för att kartlägga de olika flödena som utgör massbalansen och återskapa denna i form av en modell i programmen MATLAB och Simulink. En utvärdering kring effekten av de uttagna volymerna genom pumpning har utförts samt en diskussion kring vad som påverkar in- och utflödet ur Dynestadsjöns utlopp har genomförts.

Resultatet visar att det utbyte av vatten som sker vid sjöns utlopp kraftigt påverkar massbalansen av salt, kväve och fosfor i Dynestadsjön. Vid inflöden av bräckt vatten från Gamlebyviken till Dynestadsjön ökar mängden salt. Tillrinningen från land och andra vattendrag har en relativt låg salthalt och bidrar med en utspädande faktor. Flödet förser däremot sjön med oönskade mängder kväve och fosfor som ett resultat av ett avrinningsområde där markanvändningen till största del består av skogs- och jordbruk. Simuleringarna visar att de uttagna volymerna från bottenkiktet har bidragit till att minska mängden näringsämnen med 25 % relativt de ursprungliga mängderna. Hur stora mängder som tillkommit skiktet genom sedimentation och skiktning är dock oklart. Höga halter av salt har pumpats upp med bevattningsvattnet. Om mängderna anrikas i marken kan det påverka markbördigheten och orsaka problem vid framtida skördar. De ständiga skiftningarna av flödets riktning vid Dynestadsjöns utlopp antas delvis bero av vattenpendling uppkommen vid kusten som ett resultat av kraftiga vindar. Den djupa, långsmala Gamlebyviken anses ha god potential för att detta fenomen ska kunna inträffa. Även variationer i lufttrycket anses påverka flödet. För den undersökta tidsperioden har variationerna av lufttrycket utvärderats. Dessa variationer motsvarar förändringar av vattenståndet av samma storleksordning som sjöns belägna nivå över havet.

**Nyckelord:** Bräckt vatten, fiskdöd, övergödning, miljöpåverkan, Östersjön, lantbruk, SonTek-IQ Plus, MATLAB, Simulink.

*Institutionen för mark och miljö, SLU, Box 7014, SE-750 07 Uppsala, ISSN 1401-5765*

# Abstract

**Mass balance of salt, nitrogen and phosphorus in Dynestadsjön** - A pilot study including flow measurements and modeling

*Isak Spett*

Dynestadsjön in Gamleby, Västervik municipality, has a history of collapses due to lack of oxygen and high levels of salt, nitrogen and phosphorus. The high levels of nutrients have given rise to deteriorating living conditions for aquatic organisms. At the times when a collapse has occurred, the upper water layer has become oxygen-free, which has led to a large part of life in the water being lost. During the collapses, a powerful stench of sulfur was spread. The accumulated amounts of nutrients in the lake are assumed to have arisen due to the inflow of brackish water that occurs at regular intervals from Gamlebyviken. In recent years, numerous measures have been taken to reduce the nutrient load in the lake in order to improve its water quality. A more innovative, and thus less proven measure, has been to pump water from the bottom layer of Dynestadsjön and use these volumes to irrigate crops. The volumes that are pumped contains significant amounts of the undesirable nutrients and thereby reduce the stress of the lake and its organisms. In order to perform this and other possible measures on a larger scale, it is necessary to be aware of the mass balance of salt and nutrients that exists in the lake. The aim of this study has been to map out the various flows that make up the mass balance and recreate it in the form of a simulation model in the programs MATLAB and Simulink. Also, an evaluation of the effects of the withdrawn volumes through pumping has been performed and a discussion of what affects the inflow and outflow from Dynestadsjön's outlet has been made.

From the results it can be stated that the exchange of water that takes place at the lake's outlet strongly affects the mass balance of salt and nutrients in Dynestadsjön. It can also be stated that the change in the amount of nutrients in the lake largely follows the same pattern as its volume. When inflow of brackish water from Gamlebyviken occurs, the amount of salt increases and thus also the salinity. The runoff which contains a relatively low salinity contributes to a diluting factor of salinity. This flow, on the other hand, supplies the lake with undesirable amounts of nitrogen and phosphorus as a result of a catchment area where the land use mainly consists of forestry and agriculture. The volumes extracted from the bottom layer have contributed with a clearly reduced amount of nutrients relative to the starting amounts. The amounts that have been added to the layer through sedimentation and stratifying is however unknown. High levels of salt are pumped out with the irrigation water. If these amounts are enriched in the soil, it may cause problems in future harvests. The constant shifts in the direction of flow at the outlet of Dynestadsjön are assumed to be due to so-called water oscillation arising on the coast because of strong winds. The deep, long, narrow Gamlebyviken with its open inlet towards the sea is considered to have great potential for this phenomenon to occur. Variations in air pressure are also considered to affect the flow. For the time period examined, the variations of the air pressure have been evaluated. These variations correspond to large changes in the water level compared with the lake's location above sea level.

**Keywords:** Brackish water, fish death, eutrophication, environmental impact, the Baltic Sea, agriculture, SonTek-IQ Plus, MATLAB, Simulink.

*Department of Soil and Environment, SLU, Box 7014, SE-750 07 Uppsala, ISSN 1401-5765*

# Förord

Detta examensarbete har utförts inom Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Handledare har varit Ingrid Wesström, ämnesgranskare har varit Abraham Joel. Båda tillhörande Institutionen för mark och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Examinator har varit Monica Mårtensson vid Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala universitet. Ett stort tack till er för all vägledning. Tack till min familj och min kära sambo för allt stöd. Tack till alla klasskamrater och tack till Räkneklubben som förgyllt mina fem år på universitetet, ni är vänner för livet.

Jag ser det som en ära att jag fått förtroendet att utföra detta stundvis krävande men ack så givande arbetet. Jag har utvecklats tekniskt då jag lärt mig mäta vattenflöden med ett avancerat och för mig till en början främmande instrument, även utvärderat och applicerat den uppmätta datan i en simuleringsmodell uppbyggt från grunden. Jag har även fått en ökad förståelse för hur den antropogena övergödningen påverkar vattenlevande organismer och vilka konsekvenserna kan bli om det går för långt. Med kunskaperna från min utbildning och med erfarenheterna från detta examensarbete hoppas jag kliva ut i arbetslivet och vara en del av framtiden. En framtid där vi värnar om inte bara människan och vår levnadsmiljö, utan om alla arter och dess habitat. En framtid där vi ger lika mycket som vi tar.

Isak Spett  
Uppsala, februari 2021

# Populärvetenskaplig sammanfattning

**Massbalans av salt kväve och fosfor i Dynestadsjön** – En pilotstudie innefattande flödesmätningar och modellering

*Isak Spett*

En av Sveriges och resten av världens kanske främsta och mest akuta utmaningar är de miljöförändringar som människan bidrar till. För att få bukt med detta växande problem har Sveriges riksdag beslutat om att införa Generationsmålet. Detta mål är övergripande och riktar sig mot den svenska miljöpolitiken och skall fungera som en vägledning för miljöarbeten på samtliga nivåer i samhället. Grundtanken med generationsmålet är att påvisa den omställning i samhället som krävs för att det ska vara möjligt att överlämna till kommande generationer där de största miljöproblemen är utredda. För att uppfylla generationsmålet krävs det att riksdagens 16 miljömål beaktas. Bland dessa 16 miljömål återfinns flertalet mål kopplade till vatten och djurliv. Några exempel på detta är målen "Ett rikt växt- och djurliv", "Levande sjöar och vattendrag" och även "Hav i balans samt levande kust och skärgård". För flertalet platser i landet återfinns problematik med att uppfylla dessa mål, ett exempel på detta är Dynestadsjön i Gamleby, Västervik kommun. Denna sjö har en historia av problematik gällande höga halter av salt och näringsämnen vilket har resulterat i syrebrist och fiskdöd. En stor del av problematiken antas vara det återkommande inflödet av bräckt vatten från den anslutande Gamlebyviken. Då Dynestadsjöns utlopp är grunt relativt resterande delar av sjön resulterar detta i att endast det ytligaste vattnet i sjön byts ut och mängden näringsämnen på botten ökar. Detta leder i sin tur till syrebrist och försämrade levnadsförhållanden för djur och växter. En relativt ny åtgärd för att motverka detta problem i Dynestadsjön är att pumpa det näringsrika bottenvattnet ur sjön och sedan använda detta till att bevattna grödor. Tanken är att de uttagna volymerna för med sig näringsämnen från sjön och agerar gödande för åkrarna. Om detta utförs storskaligt är förhoppningarna att märkbara mängder av de oönskade näringsämnena avlägsnas och syrehalten i sjön stiger för att främja livet i och runt vattnet. För att möjliggöra denna och andra åtgärder med främsta möjliga resultat krävs det att man har en god uppfattning om sjöns så kallade massbalans, det vill säga hur de olika massorna av näringsämnen rör sig till och från sjön.

Denna studie är utförd i syfte om att kartlägga den rådande massbalansen av salt, kväve och fosfor i Dynestadsjön. En viss vikt har även lagts vid att simulera och utvärdera effekten av årets uttagna volymer genom pumpning av bottenskiktet, samt en diskussion kring vad som påverkar in- och utflödet genom utloppet av sjön har förts. En stor del av arbetet har ägnats åt att planera och utföra mätningar av det flöde som sker vid utloppet. Detta har utförts under månaderna augusti till och med november. För dessa månader har även de tillförda volymerna genom bland annat ytavrinning och nederbörd till sjön tagits fram med hjälp av SMHI:s modell HYPE. Massbalansen har sedan återskapats i form av en simuleringsmodell där de uppmätta flödena använts som indata. Utöver att beräkna mängder av näringsämnena tar modellen även fram koncentrationerna. En av dessa koncentrationer är för salt, det vill säga salthalten. Denna simulerade salthalt har beräknats om till elektrisk ledningsförmåga, konduktivitet. Konduktiviteten har sedan jämförts med faktiska, uppmätta värden, för att redogöra hur väl modellen stämmer överens med verkligheten. Från denna validering kan det konstateras att mönstret i modellens resultat stämmer väl överens med det mönster som syns hos de faktiska värdena, det vill säga att en ökning eller minskning i konduktivitet mellan två uppmätta dagar återspeglas i modellens resultat. Dock är dessa förändringar oftast inte lika kraftiga hos

modellen vilket kan resultera i att denna blir något osäker vid snabba förändringar mellan dagarna. Som störst skiljer sig den simulerade konduktiviteten med ca 10 % av värdet för den uppmätta. Gällande de pumpade volymerna kan slutsatsen dras att årets uttagna volymer förmodligen bidragit med märkbart minskade mängder av de oönskade näringsämnen. Det bör dock beaktas att stora mängder havssalt finns i bevattningsvattnet. Dessa mängder kan anrikas i marken och orsaka problem för framtida skördar. De uttagna mängderna beror dock av hur mycket näring som tillkommit genom sedimentation och skiktning. Denna mängd är dock något som lämnas åt eventuella framtida studier. Angående de ständiga variationerna av riktningen hos flödet vid Dynestadsjöns utlopp antas detta delvis bero så kallad vattenpendling. Vattenpendling är ett relativt vanligt fenomen längs kusten och uppkommer på grund av att kraftiga vindar sätter vattnet i gungning. Gamlebyviken mellan Dynestadsjön och kusten anses ha goda förutsättningar för att detta fenomen ska kunna inträffa. Skiftningarna av flödet antas även bero av variationer i lufttrycket. Då lufttrycket förändras påverkas vattenståndet. Dessa variationer i vattenståndet är av samma storleksordning som Dynestadsjöns belägna nivå över havet.

# Innehållsförteckning

Referat .....	i
Abstract .....	ii
Förord .....	iii
Populärvetenskaplig sammanfattning .....	iv
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.1.1 Gamlebyviken.....	1
1.1.2 Dynestadsjön.....	2
1.2 Tidigare arbeten.....	3
1.2.1 Havsmiljö Gamlebyviken .....	3
1.2.2 Övergödningen som en resurs.....	3
1.2.3 Syremättnad .....	4
1.2.4 Provtagningar och mätningar.....	5
1.3 Problemformulering .....	7
1.4 Syfte.....	7
1.5 Teori och beräkningar.....	7
1.5.1 Skiktning av sjöar.....	7
1.5.2 Östersjön .....	8
1.5.3 Vattenstånd vid havet.....	8
1.5.4 Sjösprång.....	8
1.5.5 Vindvågor.....	9
1.5.6 Vattenbalans.....	9
1.5.7 Massbalans av näringsämnen.....	10
1.5.8 Samband mellan konduktivitet och salthalt.....	10
2 Material och metoder.....	11
2.1 Platsbeskrivning.....	11
2.2 Data .....	15
2.2.1 Konduktivitet.....	15
2.2.2 Pumpade volymer.....	15
2.2.3 Tillrinning .....	15
2.2.4 Flöde vid Dynestadsjöns utlopp .....	16
2.3 Skapandet av massbalansen .....	19
2.3.1 Simulink.....	19
2.3.2 MATLAB.....	22



2.3.3 Ytskiktet.....	23
2.3.4 Bottenskiktet.....	25
2.3.5 Mellanskikten .....	26
2.3.6 Validering av modellen och indata .....	27
3 Resultat.....	28
3.1 Flödesdata.....	28
3.1.1 Tillrinning.....	28
3.1.2 Flöde vid Dynestadsjöns utlopp.....	29
3.1 Simulering.....	30
3.1.1 Ytskiktet.....	30
3.1.2 Bottenskiktet.....	33
3.2 Validering.....	35
4 Diskussion.....	42
4.1 Resultat .....	42
4.1.1 Ytskiktet.....	42
4.1.2 Bottenskiktet.....	43
4.1.3 Validering .....	43
4.2 Effekter av pumpning och bevattning .....	44
4.3 Vad orsakar flödet genom Dynestadsjöns utlopp? .....	45
4.4 Felkällor och osäkerheter.....	45
4.4.1 Flödesmätningar.....	45
4.4.2 Indata till modellen.....	46
4.5 Vidare studier.....	46
4.5.1 Utveckling av modellen.....	46
4.5.2 Utredning om pumpningens effekt.....	46
5 Slutsats .....	47
Referenser .....	48
Bilagor.....	50
Bilaga A.....	50

# 1 Inledning

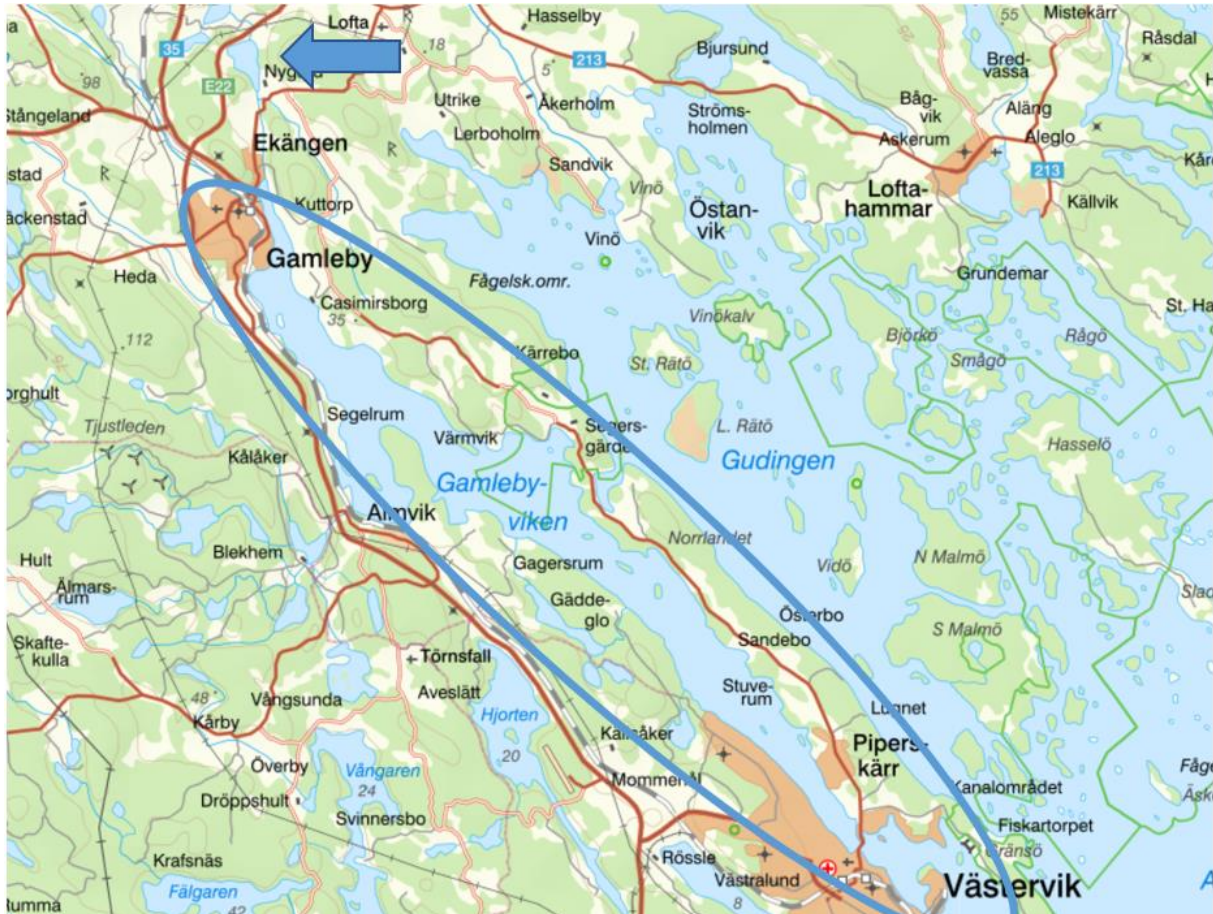
## 1.1 Bakgrund

Dynestadsjön är lokaliserad i Gamleby i Västerviks kommun, Kalmar län. Sjön har en yta på drygt 0,5 km<sup>2</sup> och en altitud på cirka 0,4 m.ö.h (VISS u.å. a). Eftersom sjön ligger lågt belägen relativt havet kan vatten, vid speciella förhållanden, stiga från Östersjön upp i Dynestadsjön genom den förbindelse som finns. Dynestadsjön har ej statusklassats av vattenmyndigheten men från tidigare mätningar vet man att sjön har problem med höga halter havssalt och näringsämnen i form av främst kväve och fosfor, även oroväckande låga halter av syrgas har uppmätts i stora delar av sjön (Västerviks kommun & Västervik miljö & Energi AB 2013).

### 1.1.1 Gamlebyviken

Gamlebyviken är en långsmal vik med en yta på 27 km<sup>2</sup> som sträcker sig från Östersjön upp till Dynestadsjön (VISS u.å. b) Viken är uppdelad i två kustvattenförekomster; Yttre- och Inre Gamlebyviken. Dessa kustvattenförekomster tillhör båda Södra Östersjöns vattendistrikt och ingår i åtgärdsområdet Västervik-Loftahammar. Enligt vatteninformationssystem Sverige erhåller området *måttlig ekologisk* status samt *uppnår ej god* kemisk status (ibid). I februari 2017 beslutades en miljö kvalitetsnorm om att kvalitetskravet *god ekologisk* status ska uppnås senast år 2027 (ibid.). Det är ansvarig vattenmyndighet som fastställer kvalitetskrav för respektive vattenförekomster (Riksdagsförvaltningen 2004). Utsedd vattenmyndighet för Södra Östersjöns vattendistrikt är Länsstyrelsen Kalmar län (Vattenmyndigheterna u.å.).

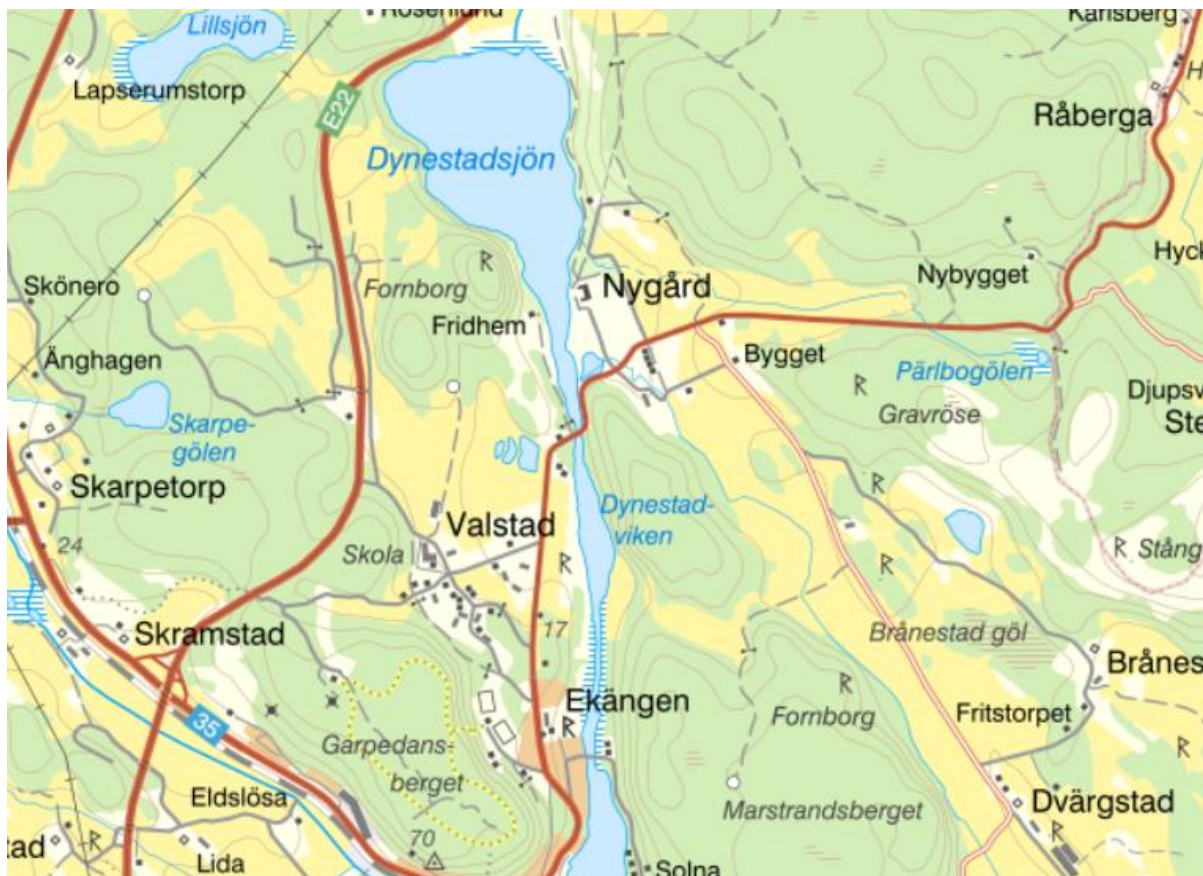
Gamlebyvikens starkt kuperade botten har ett medeldjup på 12 meter med ett maxdjup på 61 meter. Vikens totala volym vatten uppskattas vara cirka 0,35 km<sup>3</sup> (Västervik kommun 2011a). Gamlebyviken har ett tillrinningsområde på totalt 294 km<sup>2</sup> varav 250 km<sup>2</sup> består av land och 44 km<sup>2</sup> vatten. Tillrinningen kommer främst från de fyra åarna Dynestadån, Baggetorpsån, Almviksån och Gamlebyån, men även från Almvik samt Gamleby reningsverk och tätort (ibid.). De fyra vattendragen har höga till mycket höga halter av kväve och klassas som näringsrika eller mycket näringsrika. Abborre, gädda samt ål finns i området och flera av vikens åar är reproduktionslokaler för havsöring (ibid.). Gamlebyvikens utsträckning visas inringad i figur 1, pilen markerar Dynestadsjön.



Figur 1. Gamlebyviken (inringad) som förbinder Dynestadsjön (markerad med pil) med Östersjön. Källa: Topografisk webbkarta © Lantmäteriet

### 1.1.2 Dynestadsjön

Dynestadsjön i Västervik kommun ligger i direkt anslutning till Gamlebyviken och har en area på 0,49 km<sup>2</sup> (VISS u.å. a). Historiskt sett har Dynestadsjön varit en utsatt sjö med stora utmaningar gällande övergödning, syrebrist och kollaps. Vid de djupare delarna av sjön har höga halter kväve, fosfor och salt ackumuleras. Detta på grund av det relativt låga vattenutbytet i det grunda utloppet till Gamlebyviken. Då bräckt vatten från Gamlebyviken går in i Dynestadsjön skiktas vattenmassorna och det salta vattnet lägger sig vid botten. Liknande gäller näringsämnen som transporteras till sjön, dessa sedimenterar och en ackumulation av främst kväve och fosfor uppstår. Sjön har kollapsat ett flertal gånger. Detta hände senast år 2013 då en total syrebrist uppstod på alla djup (Nielsen 2013). Kollapsen resulterade i fiskdöd och att fiskar emigrerade från sjön. Vid en kollaps av Dynestadsjön vänder sig vattenmassorna och det vatten som tidigare legat i botten stiger upp och blandar sig med de övre skikten i sjön. Detta medför att vattnet missfärgas och en kraftig stank av svavel uppkommer (Brandin 2009). Dynestadsjöns utbredning redovisas i figur 2.



Figur 2. Dynestadsjön och den avlånga förbindelsen fram till Gamlebyviken. Källa: Topografisk webbkarta © Lantmäteriet

## 1.2 Tidigare arbeten

### 1.2.1 Havsmiljö Gamlebyviken

År 2009 påbörjades projektet Havsmiljö Gamlebyviken, projektägare var Västerviks kommun med projektledare Dennis Wikström (Västervik kommun 2011b). Projektet inleddes med en förstudie där syftet var att skapa underlag för att möjliggöra prioriteringar och utföra åtgärder som med tiden kan förbättra vattenkvaliteten inom Gamlebyvikens tillrinningsområde samt det omgivande kustvattnet. Målet med de föreslagna åtgärderna var att stärka den biologiska mångfalden samt minska belastningen av fosfor och kväve till Östersjön. Provtagning och analyser av vatten för senare modellering var en del av projektets förstudie. Av studien framgick det att höga nivåer av näringsrikt sediment fanns i Gamlebyvikens bottenvatten och att dessa främst vid låga syrehalter läckte fosfor. Det var därför av stor vikt att undvika syrebrist i bottenvattnet och vidare utredning föreslogs för att undersöka om syresättning var möjlig (ibid.). Utöver detta ansågs det även viktigt att minska tillförseln av fosfor till viken.

### 1.2.2. Övergödningen som en resurs

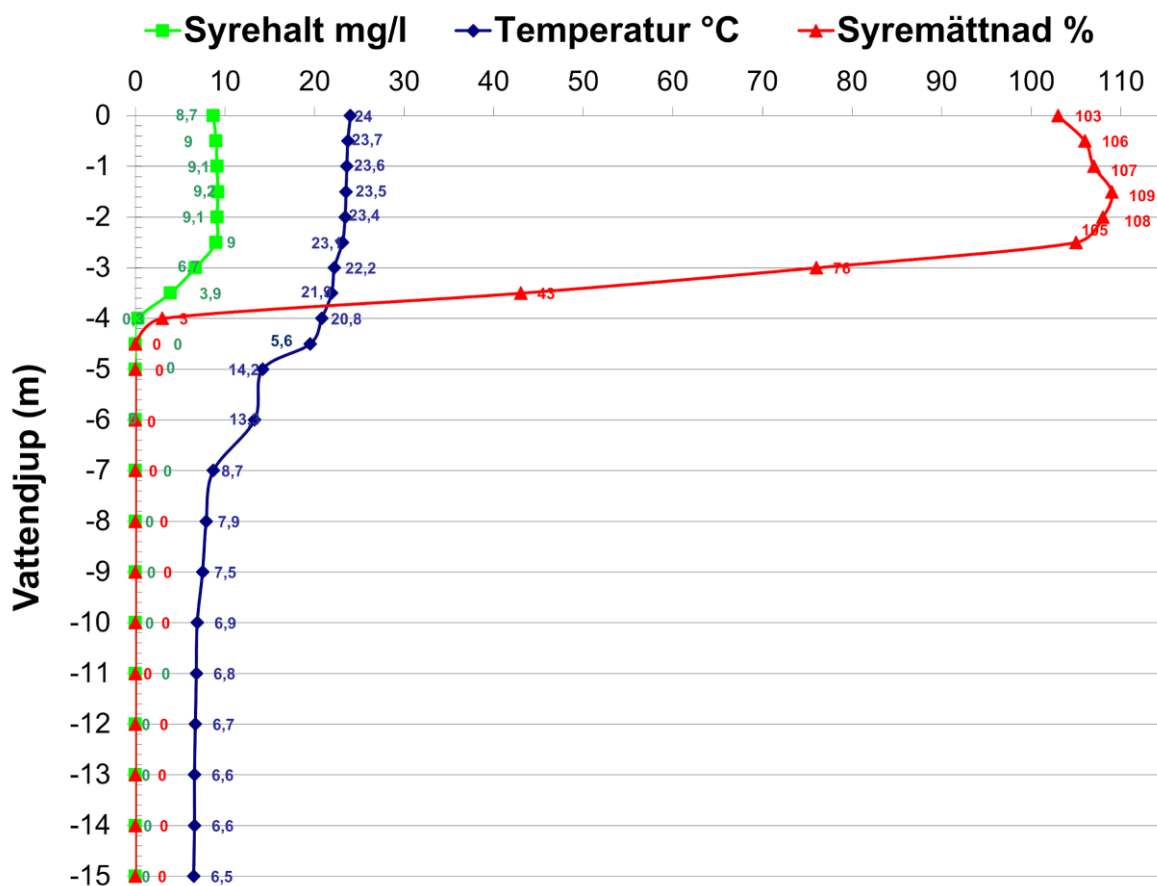
År 2013 påbörjades projektet *Övergödningen som en resurs* vars ändamål var att minska läckaget av näringsämnen till Gamlebyviken genom att bland annat förbättra vattenkvaliteten i Dynestadsjön (Västervik kommun & Västervik miljö & Energi AB 2013). En utredning av eventuell restaurering av sjön visade att det skulle kunna vara möjligt att pumpa upp det näringsrika vattnet och använda det vid bevattning av grödor, på så sätt skulle syresättningen

av sjön öka samt näringsläckaget minska (ibid.). Syftet med projektet *Övergödningen som en resurs* blev därav att pröva denna nya metod samt att begränsa ny tillförsel av näring till sjön främst från lantbruket. Detta främst i form av anläggning av fosfordammar, tvåstegsdiken samt våtmarker. De åtgärder som utfördes inom projektet var en del av arbetet för att uppfylla kraven om miljö kvalitetsnormen God ekologisk status för Gamlebyviken till år 2021 (ibid.).

Resultatet av projektet *Övergödningen som en resurs* visar att bevattningen från Dynestadsjöns bottenskikt har skapat ett kretslopp för näringsämnen där dessa i viss mån kan ersätta konstgödning av åkrarna (Västerviks kommun & Västervik miljö & Energi AB 2013). Det framgår även att pumpningen till viss del har resulterat i att nytt vatten har strömmat ned och berikat de döda bottenarna med syre. De grödor som bevattades påvisade något ökad tillväxt, vid fältförsök utförda under perioderna maj till augusti åren 2014 - 2016 konstaterades en skördeökning mellan 1 % och drygt 1,6 % för samtliga grödor (ibid.).

### 1.2.3 Syremättnad

Under sommarhalvåret år 2020 utförde Västervik kommun fyra mätningar av Dynestadsjöns syrenivåer. Mätningarna genomfördes från ytan ned till botten vid ett djup av 15 meter. Provtagning från ytan ned till fem meters djup togs varje halvmeter och därefter varje meter. Parametrarna som uppmättes var temperatur, syrehalt samt syremättnad. Proverna visade att vattnet från ytan ned till cirka två och en halv meters djup hade en relativt stabil syrehalt mellan 8,5 och 10,0 mg/l med en syremättnad kring 100%. Nedanför denna nivå avtog syrehalten hastigt och var i princip obefintlig från och med fem meters djup. En graf över syrehalt, syremättnad och temperatur uppmätt den tjugoförsta augusti, 2020, redovisas i figur 3.



Figur 3 Syrehalt, temperatur samt syremättnad i Dynestadsjön, 2020-08-21. Källa: Västervik kommun.

### 1.2.4 Provtagningar och mätningar

Mellan år 2010 och 2020 har Västervik kommun utfört provtagningar av vattenkvaliteten vid utloppet av Dynestadsjön. Provtagningarna har genomförts ett flertal gånger per år, undantaget år 2012 då inga prover togs. Analyserna har gjorts av bland annat temperatur, pH-värden, salthalt samt halter av fosfor, kväve, svavel och klor. De senast uppmätta koncentrationerna av kväve och fosfor (vid början av detta arbete) är från juni år 2020. Resultatet från dessa mätningar redovisas i tabell 1. Från dessa provsvar kan det konstateras att Dynestadsjön håller höga koncentrationer kväve och fosfor även år 2020. Västervik kommun har även kartlagt Dynestadsjöns yta och volym för dess olika djup. Denna information kan utläsas i tabell 2.

Tabell 1. Uppmätta halter av kväve och fosfor i Dynestadsjön, juni 2020. Källa: Västervik kommun.

Djup [m]	Fosfor [mg/l]	Kväve [mg/l]
1	0,07	0,86
2	0,06	0,83
3	0,07	0,8
4	0,1	0,69
5	0,2	1,3
6	0,33	2,3
7	0,09	0,72
8	0,63	4,4
9	0,85	5,9
10	0,92	6,8
11	1,1	8
12	1,3	9,1
13	1,4	9,9
14	1,5	10,7
15	1,5	10,9
16	-	-

Tabell 2. Uppskattad area och volym för vardera meter djup i Dynestadsjön. Källa: Västervik kommun.

Djup [m]	Area [ha]	Volym [m <sup>3</sup> ]
0	50,5	0
1	48,39	494 450
2	45,8	470 950
3	42,02	439 100
4	36,44	392 300
5	32,26	343 500
6	29,17	307 150
7	26,39	277 800
8	23,49	249 400
9	20,36	219 250
10	17,64	190 000
11	14,76	162 000
12	11,33	130 450
13	8,75	100 400
14	5,14	69 450
15	1,56	33 500
16	0,04	8 000

## 1.3 Problemformulering

Inkommande bräckt vatten med högre densitet, relativt sötvattnet i Dynestadsjön, skapar en skiktning i sjön och salt ackumuleras på sjöns botten. Bottenskiktet är syrefattigt och har höga koncentrationer av kväve och fosfor, vilket har en negativ inverkan på sjöns ekologi och bidrar bland annat till försämrade levnadsförhållanden för många fiskar. Vid tillfällen när vatten från bottenskiktet har blandats med ytvatten har kollaps uppstått och flertalet döda fiskar har påträffats. Man tror att detta är kopplat till syrebrist och den höga mängden närsalter i sjöns nedre skikt.

## 1.4 Syfte

En pågående åtgärd för att minska näringsbelastningen i sjön och därmed förbättra vattenkvaliteten och höja statusklassningen är att pumpa vatten ur bottenskiktet. Då vattnet innehåller höga halter oönskade näringsämnen är tanken att dessa avlägsnas med de pumpade volymerna. Vattnet som pumpas används av bönder till bevattning av grödor. För att kunna utföra pumpningen i större skala krävs det ökad kunskap av den massbalans av näringsämnen och salt som råder i sjön. Syftet med arbetet blir således att uppskatta hur mycket bräckt vatten som tränger upp i Dynestadsjön och hur stora volymer som transporteras tillbaka till Gamlebyviken, detta genom att använda ett mätinstrument baserat på akustik. Det är även av intresse att ta reda på vad som påverkar in- och utflödet samt om årets uttagna volymer genom pumpning bidragit med märkbar minskning av näringsämnen. Den rådande massbalansen ska återskapas i form av en modell i programmen MATLAB och Simulink. Indata till modellen kommer delvis att bestå av värden som mäts under arbetes gång.

## 1.5 Teori och beräkningar

### 1.5.1 Skiktning av sjöar

Skiktningar kan uppstå i en sjö då dess vattenmassor erhåller olika densitet, ofta till följd av skillnader i temperatur eller salthalt (VISS u.å. c). En skiktning som beror på temperaturskillnader varierar ofta under året, detta till skillnad från skiktning på grund av salthalt som är mer permanent (ibid.). Då en skiktning uppstått kommer vattnet i det nedre skiktet av sjön att omblandas betydligt mindre, vilket i sin tur får en direkt påverkan på syrgashalten och ofta även näringshalten. Omblandningen av en sjö och dess konsekvenser gällande förändrade halter av syrgas, salt och näringsämnen är viktiga faktorer för livet i vattnet (Sea Grant Michigan u.å.).

Hur skiktningen ser ut beror till stor del på årstiden; solinstrålning, vindar och isbildning påverkar kraftigt (Skolvision u.å.). Under vintern kan vattnets yta täckas av snö och is som förhindrar omblandning och syresättning av vinden. Det syre som finns i sjön används till att bryta ned tidigare växtproduktion vilket gör att halterna sjunker (ibid.). Det vatten med lägst temperatur lägger sig närmast ytan och det vatten med högst densitet, d.v.s. ca 4°C skiktas nederst (IISD 2018). Detta gäller för sjöar som ej bottenfryser. Under våren tinar isarna och vattnet börjar värmas upp. Vindarna kan nu syresätta och blanda vattnet vilket gör att näringen från botten stiger uppåt och kan användas av plankton vid fotosyntes. Det är vid denna tid



på året som primärproduktionen är som störst (Skolvision u.å.). Framåt sommaren kommer den tidigare skiktningen med varmare vatten nära botten nu att skifta till det motsatta och istället finnas vid ytan. Ytvattnet värms oftast upp så pass mycket relativt bottenvattnet att en tydlig skiktning uppstår. Dessa vattenmassor förbinds av ett så kallat språngskikt där skillnaden i temperatur förändras hastigt i djupled (ibid.). Mot hösten bryts återigen skiktningen och primärproduktionen ökar, detta på grund av att det syrerika ytvattnet kyls ned och sjunker till botten medan det näringsrika bottenvattnet stiger (ibid.).

## 1.5.2 Östersjön

Östersjön är ett innanhav som till allra största del är omgivet av land och dess havsmiljö är därför mycket beroende av den mänskliga aktiviteten som pågår i avrinningsområdet (BalticSea2020 u.å.). På grund av havets stora omgivning av land är vattenutbytet en långsam process. De få förbindelserna som finns till världshaven är via smala sund (Havet.nu 2019). Östersjön är ett hav bestående av bräckt vatten. I dess södra delar är salthalten högre på grund av anslutningen med världshaven medan dess norra delar är sötare som ett resultat av utmynnande floder och älvar (Naturskyddsföreningen 2018).

## 1.5.3 Vattenstånd vid havet

Skillnaden i vattenstånd på grund av tidvattnet, tidvattenhöjden, längs Sveriges västra kust är några decimeter men endast några få centimeter längs östkusten (SMHI 2020e). Vattenståndet i havet beror även på ett flertal andra parametrar; vattnets temperatur, lufttryck, densitet, landhöjning samt vindar (SMHI 2020a). Vid Sveriges kuster är det främst vindar och lufttryck som påverkar vattennivån (ibid.). En förändring av lufttrycket på 1 hPa motsvarar en höjning eller sänkning av vattenytan med 1 cm. Ett högtryck över en vattenyta resulterar alltså i ett sänkt vattenstånd medan ett lågtryck ger ett högre vattenstånd (SMHI 2020c).

Påverkan på vattenståndet kan även komma från så kallad vattenpendling, även kallat seiche. Då kraftigare vindar har pågått kan innanhavet komma i svängning och vattnet skvalpar mellan de motsatta kusterna, stående vågor uppkommer men minskar med tiden på grund av friktionen (SMHI 2020f). Tiden mellan svängningarna beror på områdets djup och längd. Pendlingar mellan södra och norra Östersjön har en period på cirka 27 timmar och kan pågå i flertalet veckor, vid centrala Östersjön märks svängningarna av som minst (ibid.).

## 1.5.4 Sjösprång

Vid vissa specifika förhållanden kan nivån i havet skifta mycket kraftigt på kort tid, ett sådant fenomen kallas sjösprång och uppträder oregelbundet (SMHI 2020d) (Alamaa 2017). För att ett sjösprång ska kunna inträffa krävs det att en lång våg med hastigheten  $v$  existerar enligt ekvation (1), där  $g$  är tyngdaccelerationen och  $h$  är djupet av havet (SMHI 2020d).

$$v = \sqrt{g * h} \quad (1)$$

Om en väderfront rör sig med samma hastighet,  $v$ , som den långa vågen kan denna förstärkas och en resonans skapas (ibid.). Då denna förstärkning blivit tillräckligt stor kommer en serie vågor att fortplantats och vid kollision med en kuststräcka uppstår sjösprång. Detta fenomen

uppfattas, på grund av den långa vågperioden samt den stora våglängden, oftast som en variation i vattenståndet snarare än en våg (ibid.).

### 1.5.5 Vindvågor

All typ av vindrörelse på vattnet ger upphov till vågor. Vid blåst överförs vindens energi vilket oberoende av varandra skapar vågor och ytvattenströmmar (SMHI 2020g). I vågen transporteras mestadels energi och endast liten del massa. Detta betyder att transporten av vatten i vågornas riktning på grund av vågrörelsen är mycket liten (ibid.). Vågornas rörelse är beroende av vattnets djup, blåslängden (den fria sträcka vinden kan blåsa över), samt vindens varaktighet och hastighet (ibid.). Vågor bildas oftast ute på djupare vatten och förändras då djupet avtar närmare land. Vågornas stabilitet minskar och vågen bryts, detta kan dock även ske på djupare vatten om vinden blåser friskt med nog högt tryck för att bryta topparna (ibid.). Om djupet understiger hälften av medelvåglängden resulterar detta i att bottenmaterialet sätts i rörelse och erosion samt transport uppstår.

### 1.5.6 Vattenbalans

Vid utvärdering av ett områdes massbalans är det viktigt att bekanta sig med uttrycket vattenbalans. Vattenbalansen berättar om genom vilka processer som vatten tillförs eller försvinner från ett visst vattenmagasin,  $S$ . Förändringen av vattenmagasinet över ett tidssteg,  $\Delta S$ , definieras som summan av inflöde,  $Q_{in}$ , och utflöde,  $Q_{ut}$ , av området (SMHI 2019).

Inflöden till ett sådant område består ofta av naturliga flöden i form av vattendrag och ytvattenavrinning,  $Q_{tillrinning}$ , samt nederbörden över området,  $Q_P$ . Utflöden kan precis som inflöden bestå av direkta utströmningar i form av naturliga vattendrag eller konstgjorda flöden, men även i form av evapotranspiration,  $Q_E$ , samt infiltration,  $Q_I$ . Vattenmagasinens förändring över ett tidssteg kan skrivas enligt ekvation (2).

$$\Delta S = \Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{ut} \quad (2)$$

$\Delta S$ : förändringen av ett vattenmagasin för givet tidssteg [ $m^3/s$ ]

$Q_{in}$ : all typ av inflöde till området [ $m^3/s$ ]

$Q_{ut}$ : all typ av utflöde från området [ $m^3/s$ ]

Ekvation (2) kan vidareutvecklas till ekvation (3).

$$\Delta S = \Sigma Q_{tillrinning} + \Sigma Q_P - \Sigma Q_{utflöde} - \Sigma Q_E - \Sigma Q_I \quad (3)$$

$Q_{tillrinning}$ : inflödet från naturliga vattendrag och ytvavrinning [ $m^3/s$ ]

$Q_P$ : inflödet från all typ av nederbörd [ $m^3/s$ ]

$Q_{utflöde}$ : utflödet från vattenledningar samt naturliga vattendrag och ytvattenavrinning [ $m^3/s$ ]

$Q_E$ : utflödet i form av evapotranspiration [ $m^3/s$ ]

$Q_I$ : utflödet i form av infiltration [ $m^3/s$ ]

### 1.5.7 Massbalans av näringsämnen

Förändringen av ett vattenmagasin beräknas ofta som summan av inflödet subtraherat summan av utflödet (Steiger et al. 2010). För att beräkna förändringen av näringsämnets massa i vattenmagasinet för givet tidssteg summeras på liknande sätt summan av inflödet och utflödet av näringsämnets massa (ibid.), se ekvation (4).

$$\Delta m_{närning} = \Sigma m_{närning\ in} - \Sigma m_{närning\ ut} \quad (4)$$

$\Delta m_{närning}$ : förändring av näringsämnets massa för givet tidssteg [kg/s]

$m_{närning\ in}$ : inkommande massa av näringsämnet för givet tidssteg [kg/s]

$m_{närning\ ut}$ : utgående massa av näringsämnet för givet tidssteg [kg/s]

Näringsämnets massa per tidsenhet kan tas fram genom att multiplicera vattnets flöde med dess koncentration av näringsämnet för respektive tidssteg (ibid.), se ekvation (5).

$$\Delta m_{närning} = Q \times C_{närning} \quad (5)$$

$Q$ : vattnets flöde [ $m^3/s$ ]

$C_{närning}$ : koncentrationen av näringsämnet för givet flöde [ $kg/m^3$ ]

Ekvation (4) kan därför vidareutvecklas till ekvation (6).

$$\Delta m_{närning} = \Sigma Q_{in} \times C_{närning\ in} - \Sigma Q_{ut} \times C_{närning\ ut} \quad (6)$$

### 1.5.8 Samband mellan konduktivitet och salthalt

För att beräkna salthalten i en volym av vätska kan det vara fördelaktigt att mäta den specifika ledningsförmågan, den s.k. elektriska konduktiviteten, och sedan omvandla denna till salthalt. Konduktiviteten anger en lösnings förmåga att transportera elektrisk ström och beror av antalet lösta joner i volymen och anges i enheten mS/m (Kreuger & Håkansson 1986). Då konduktiviteten understiger 1000 mS/m (eller 10 000  $\mu S/cm$ ) råder ett linjärt samband mellan denna och salthalten (Kreuger & Håkansson 1986) (Corwin & Yemoto 2017). Detta samband kan förklaras med ekvation (7). Sambandet beror av vilken typ av salt det handlar om samt lösningens temperatur, sambandet är därför inte exakt (NSW Government - Department of Primary Industries 2017).

$$salthalt \left[ \frac{g}{m^3} \right] = 0,64 \times konduktivitet \left[ \frac{\mu S}{cm} \right] \quad (7)$$

För att omvandla konduktivitet angiven i  $\mu S/cm$  till salthalt angiven i  $g/m^3$  gäller omvänt, se ekvation (8).

$$konduktivitet \left[ \frac{\mu S}{cm} \right] = \frac{1}{0,64} \times salinitet \left[ \frac{g}{m^3} \right] \quad (8)$$

## 2 Material och metoder

### 2.1 Platsbeskrivning

Platsen där mätningarna utfördes var nära utloppet av Dynestadsjön under en vägbro. Platsen valdes eftersom tvärsnittet för vattendraget ansågs vara likformig med rätt förhållande mellan djup och bredd, samt att den var lättillgänglig för montering av mätaren. Vattendragets botten intill bron består till största del av sten och block. Uppströms samt nedström bron är botten dyg och tvärsnittets sidor är kraftigt bevuxna med vass. Omgivningen vid och kring platsen för mätning visas i figur 4 - 7. Vid platsbesök kunde det konstateras att vägbron är måttligt trafikerad av fordon och i vattendraget passerar flertalet mindre båtar dagligen. Platsen används även som rekreationsområde där fiske bedrivs. Sjön har sitt största djup i mitten och övergår till grundare vatten i kraftiga branter utmed sidorna. Från sjöns mitt sträcker sig ett avsmalnande utlopp där djupet avtar ju närmare bron man kommer. Sjöns djupkarta redovisas i figur 8, platsen för mätning var vid dess sydligaste ände.



*Figur 4. Vattendraget vid brons södra sida. Fotografi: Isak Spett*



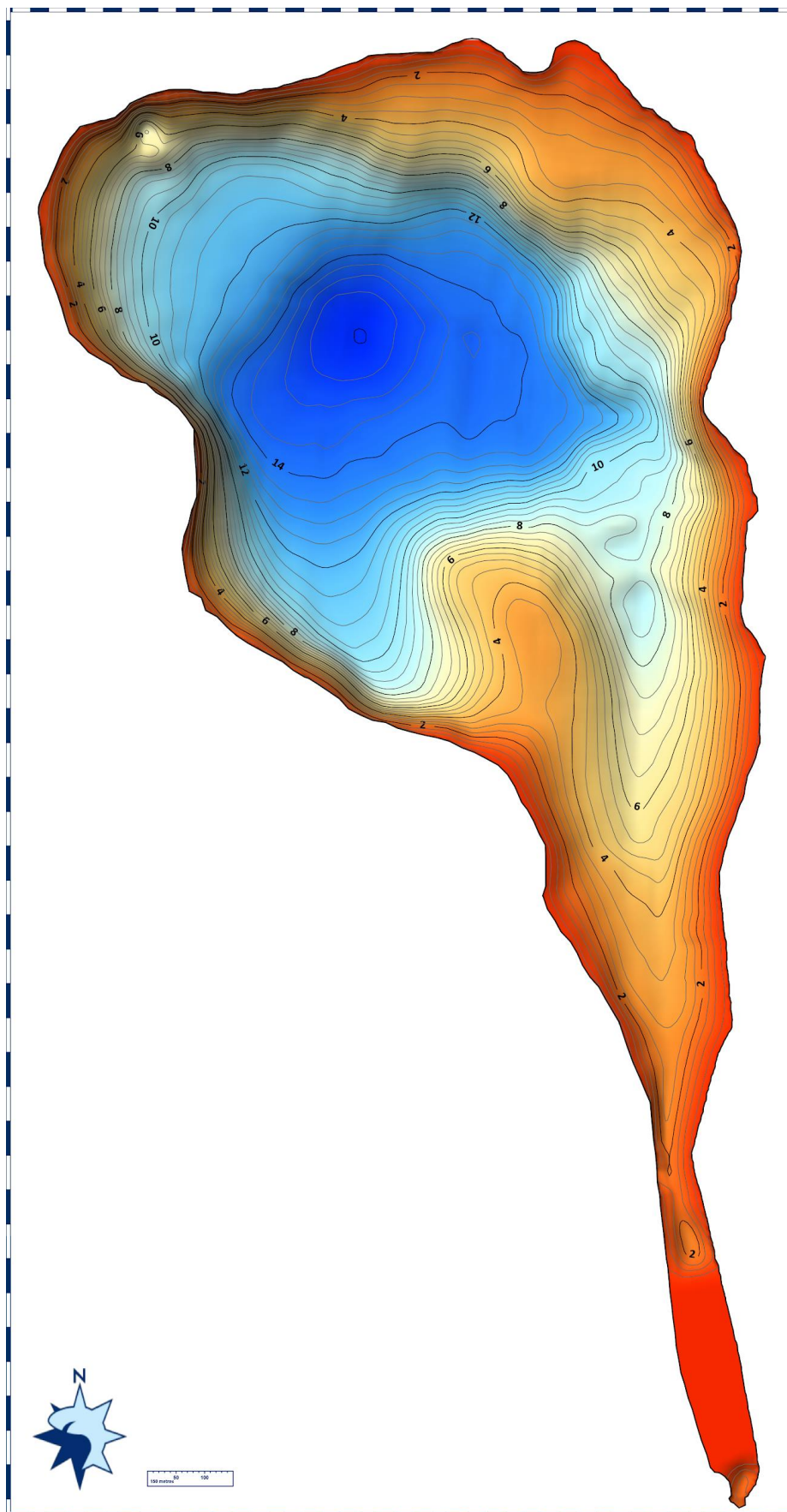
*Figur 5. Vattendraget vid bronns norra sida. Fotografi: Isak Spett*



*Figur 6. Vattendraget vid bronns södra sida. Bild tagen från bron. Fotografi: Isak Spett*



*Figur 7. Vattendraget vid brons norra sida. Bild tagen från bron. Fotografi: Isak Spett*



Figur 8. Djupkarta över Dynestadsjön, mätplatsen var vid dess sydligaste ände. Källa: Ola Helmerson, Fiskerikonsulent Hushållningssällskapet Kalmar-Kronoberg-Blekinge

## 2.2 Data

In- och utflödet i Dynestadsjöns utlopp uppmättes med instrumentet SonTek-IQ Plus. Mätningarna pågick kontinuerligt under hösten och data laddades ned från mätaren månadsvis. Utöver uppmätt flödesdata användes även mätvärden av konduktivitet, halter av kväve och fosfor samt pumpade volymer, även simulerade värden av tillrinning och dess koncentrationer av näringsämnen användes.

### 2.2.1 Konduktivitet

Konduktivetsdata som används i arbetet kommer från kontinuerliga mätningar som utförs av SLU. Mätningarna sker från en flotte uppströms utloppet, längre in mot sjöns mitt. Givarna som mäter konduktiviteten är placerade på 2, 4, 6, 8, 10 samt 14 meters djup. Mätningarna utförs en gång i timmen, dygnet runt. I detta arbete har dygnsmedelvärden använts. Vid simuleringarna har dygnsmedelvärden av månadernas första dag använts, dessa värden för mätaren på 2 meters djup återfinns i tabell 3. För de månader då bottenskiktet undersökts har dygnsmedelvärdet för första dagen i maj använts, detta värde är 5504  $\mu\text{S/cm}$ .

Tabell 3. Medelvärden av den uppmätta konduktiviteten för första dagen i månaderna.

Månad	Augusti	September	Oktober	November
Konduktivitet [ $\mu\text{S/cm}$ ]	6758	-	6627	5585

### 2.2.2 Pumpade volymer

Tidsserierna för pumpningen baserades på data från systemet raindancer, ett övervakningssystem som nyttjats för de olika bevattningsanläggningarna (Viby Teknik 2020). Den givna data angav tid och datum då varje bevattningstillfälle påbörjades och avslutades, även den totala bevattnade volymen. Dessa volymer sparades i en Excel-fil med en daglig upplösning. För de tillfällen då bevattningen pågått flertalet dagar i rad användes ett medelvärde av dessa dagar. För månaderna maj och juni fanns inte de pumpade volymer registrerade per dag, endast total volym per månad. För dessa månader användes ett dygnsvis medelvärde, detta påverkar inte osäkerheten i resultatet eftersom det är de totala pumpade volymerna som utvärderas. För totala pumpade volymer per månad, se tabell 4.

Tabell 4. Totala uttagna volymer vid bevattning angivna per månad.

Månad	Maj	Juni	Juli	Augusti
Volym [ $\text{m}^3$ ]	13 000	37 500	12 823	22 492

### 2.2.3 Tillrinning

Dataserier av tillrinningen till sjön baserades på dygnsvärden framtagna med hjälp av SMHI:s tjänst HYPE (HYdrological Predictions for the Environment). Detta utfördes av Hannah Berk, SLU. HYPE är ett verktyg som används för att simulera vattenflöden och dess innehåll av olika näringsämnen baserat på bland annat ett avrinningsområdes markanvändning, topografi och



jordart (SMHI 2017). I tillrinningen ingår samtliga inflöden till Dynestadsjön bortsett från det inflöde som sker från Gamlebyviken. Tillrinningen omfattar ytavrinning, inflöde från åar och bäckar samt inflöde i form av nederbörd, även förlusten av vatten i form av evapotranspiration ingår. Resultatet för tillrinningens halter av kväve och fosfor redovisas i tabell 5.

Tabell 5. Månadsvis simulerade halter kväve och fosfor. Källa: SLU.

Månad	Kväve [ $\mu\text{g/l}$ ]	Fosfor [ $\mu\text{g/l}$ ]
Augusti	669	35,4
September	639	35,4
Oktober	804	41,1
November	1220	54,9

Medelvärden för koncentrationerna av näringsämnen beräknades baserat på tabell 5 för att användas i modellen. Dessa uppskattades till 833  $\mu\text{g/l}$  för kväve och 42  $\mu\text{g/l}$  för fosfor. Värdena antogs förenklat vara konstanta för de simulerade månaderna. I det verkliga fallet ökar halterna under vinterhalvåret. Tillrinningens salthalt antogs förenklat vara 0,1 g/l, detta baserat på att flödet består av sötvatten vilket per definition är som högst 0,5 g/kg vilket kan uppskattas till 0,5 g/l (VISS u.å. d).

## 2.2.4 Flöde vid Dynestadsjöns utlopp

### 2.2.4.1 SonTek-IQ Plus

SonTek-IQ Plus är en mätare designad för att mäta vattenflöden i öppna kanaler i både mänskligt skapta och naturliga miljöer (SonTek u.å.). Tekniken är baserad på akustik och mätningarna sker genom ljudvågor där dopplereffekten utnyttjas, denna typ av mätare benämns ofta ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) (Woods Hole Oceanographic Institution u.å.). Med fem sensorer mäter den vattnets hastighet i vattendragets båda riktningar. Denna hastighet omvandlas sedan till flöde baserat på angiven tvärsnittsarea (ibid.). Vid den främre delen av apparatens ovansida finns en sensor riktad lodrätt uppåt samt en sensor lutad 25° framåt från den vertikala axeln, en sådan sensor finns även vid mätarens bakre del. Vid den främre delen av mätarens sida finns även två sensorer med en lutning på 60° från den vertikala axeln samt 60° från den horisontella axeln. Ovanpå IQ Plus finns även en trycksensor.

IQ Plus kan mäta hastigheter inom ett spann av  $\pm 5$  m/s med en upplösning av 0,0001 m/s samt en noggrannhet på  $\pm 1$  % av den uppmätta hastigheten (SonTek u.å.). Vattennivån, som mäts av trycksensorn tillsammans med den lodräta sensorn, erhåller en noggrannhet på 0,1 % av det uppmätta djupet och klarar av att mäta mellan 0,5 och 5,0 meters djup. Mätaren kan kommunicera via SDI-12, RS232 samt Modbus. Data som uppmäts lagras i ett internt minne av en storlek på 4 GB, vilket uppskattningsvis räcker för ett år av mätningar beroende på mätningarnas intensitet (ibid.) I den tillhörande mjukvaran definieras vattendragets geometri samt mätningarnas specifikationer. Programmet används till att konfigurera, visualisera samt exportera den uppmätta data (SonTek u.å.). SonTek-IQ Plus är relativt ny på marknaden men anses utföra flödesmätningar av god kvalitet (Jones 2014). Mätaren har använts i tidigare studier för uppmätning av variationer i in- och utflödet samt vattenståndet i en bäck (Wang et al. 2016).

#### 2.2.4.2 Installation av SonTek-IQ Plus

Mätaren installeras på botten av vattendragets mitt, detta krävde en specialbyggd ställning. Denna ställning bestod av två cirka 1,5 meter långa stålrör av fyrkantsprofil sammansvetsade med stag. I mitten av denna fästes, en upphöjning tillverkad på liknande sätt, med skruv och bult. På denna upphöjning monterades SonTek-IQ Plus. Tre liknande bitar av järnrör fästes i vardera ände med skruv och bult. Detta för att förlänga ställningen till en total längd av cirka 10,5 meter. Efter ca åtta veckor av mätningar förkortades ställningen ca 1,5 meter, detta för att motverka sabotage. På mätaren monterades en kabel iklädd ett plaströr i syfte att skydda denna mot fysiska skador. Kabeln drogs längs med ställningen och fästes vid denna med buntband på jämna mellanrum. Den andra änden av kabeln försågs med en split; ett uttag för SDI-12 varifrån strömförsörjningen sker och ett uttag med RS-232 för hantering av data och inställningar av mjukvara. Strömförsörjningen bestod av två seriekopplade 12 v batterier vardera med 14 Ah placerade i en plastlåda inuti en större trälåda försedd med hänglås. Detta för att skydda mot regn och fukt men även vandalism. Mätaren installerad på ställningen visas i figur 9.

I den tillhörande mjukvaran, IQ, angavs de olika måtten för vattendragets tvärsnitt. Tvärsnittet antogs förenklat vara i formen av en trapetsoid, det vill säga en likbent parallelltrapets. Bredden på botten kunde inte mätas upp för hand men enligt en ritning för bron är denna cirka 1,5 meter. Bredden på tvärsnittets övre del uppskattades till 12 meter och djupet ned till botten 3,5 meter. Noterbart är att dessa mått inte definierar tvärsnittet som är fyllt av vatten, utan kanalens totala tvärsnitt som maximalt kan fyllas med vatten. Även mätningarnas intervall och varaktighet bestämdes. I detta fall definierades varje mätning till att pågå i 60 sekunder samt att dessa mätningar utförs en gång i timmen varje heltimme. Efter cirka åtta veckor av mätningar ändrades denna inställning och varje mätning pågick därefter i 120 sekunder och utfördes var femtonde minut. Denna förändring utfördes med avsikt att höja noggrannheten i mätningarna.



*Figur 9. Mätaren SonTek-IQ Plus monterad på ställningen.*

### 2.2.4.3 Insamling och utvärdering av data från SonTek-IQ Plus

Drygt fyra veckor efter installationen hämtades den första serien med data. Denna och kommande dataserier utvärderades i den tillhörande mjukvaran IQ. För att evaluera tillförlitligheten i mätningarna begrundades flertalet olika parametrar. Två av dessa parametrar är *pitch* och *roll*, dessa anges i grader och beskriver hur mätaren lutar i förhållande till dess lodräta (*pitch*) och vågräta (*roll*) axel. Enligt tillverkarens manual bör inte någon av dessa överstiga fem grader (SonTek u.å.). För augusti förändras dessa parametrar kraftigt under månadens gång. Till en början varierar denna parameter några hundradelar mellan de olika mätningarna, detta är ingen stor förändring och bör ej påverka mätningarna nämnvärt. Vid vissa tidpunkter sker dock kraftiga förändringar i både *pitch* och *roll* vilket tyder på att mätaren tydligt rubbats. En sådan rubbning kan bero på att något objekt i vattnet har stött till mätaren och fått den att vrida på sig eller att någon dragit i ställningen till mätaren. Det sistnämnda är mest troligt eftersom ställningen till mätaren vid tillfället stack upp ur vattnet på båda sidor av vattendraget. Läget för ställningen tycktes även vara något förändrad vid platsbesöket. Att mätaren troligen varit lutad kan även utläsas av de låga värdena för parametrarna *VB percent good* och *system in water*. Den förstnämnda variabeln talar om hur väl mätarens vertikala givare har lyckats att mäta vattenståndet, angivet i procent. Om denna procentsats är låg talar det för att givaren på något sätt varit störd, antagligen på grund av att den varit lutad. Parametern *system in water* anger hur många procent av tiden som mätaren varit under vatten vid insamlandet av data. För detta projekt bör värdet vara lika med eller mycket nära 100% vid samtliga mätningar. Detta eftersom mätaren hela tiden är nedsänkt på botten av vattendraget. Om värdet inte är 100% tyder det på att mätningarna på något sätt är störda. På grund av detta bör användandet av insamlad data för augusti utföras med försiktighet.

Vid det andra besöket, för insamlandet av mätdata för september, syntes det att mätarens ställning var rubbad. Någon hade dragit i ställningens ena ände och förflyttat hela mätaren en bit upp mot vattendragets sida. Detta framgick även tydligt då mätdata undersöktes i mjukvaran. Bara några få timmar efter att mätaren startats har parametern *roll* hastigt ökat med 15 grader, denna förändring orsakade att värdena för parametrarna *VB percent good* och *system in water* kraftigt sänkts. Ett beslut togs om att data för september är allt för osäker för att användas i arbetet. För att motverka framtida sabotage förkortades ställningen genom att avlägsna en del av den på vardera sida av ändarna. Detta sådant att ingen del av ställningen stack upp ur vattnet.

Vid evaluering av uppmätta data för oktober och november månad kunde slutsatsen tas att mätningarna höll god kvalitet. Detta eftersom värdena för parametrarna *pitch* och *roll* var stadigt under fem grader och varierade som högst endast några få tiondelar. Dessutom var parametern *system in water* lika med 100% för samtliga mätningar. Även parametern *VB percent good* höll ett högt värde för den allra största delen av mätningarna. För november månad finns mätningar fram till och med den 22:a, därefter togs beslutet att avsluta mätningarna.

### 2.2.4.4 Databehandling av mätvärden från SonTek-IQ Plus

Innan mätvärdena användes i modellen rensades felaktiga värden bort. Detta var ett fåtal mätvärden som ansågs vara orimligt höga i förhållande till andra tidsmässigt närliggande värden. Då modellens tidssteg är dygnsvis framtoogs tidsserier med totala flödade volymer per

24-timmar. Dessa flöden delades därefter upp i olika dataserier i Excel, en med inflöde från viken och en med utflöde till Gamlebyviken.

## 2.3 Skapandet av massbalansen

För att skapa massbalansen användes MathWorks program MATLAB och Simulink. Dessa två program används gemensamt för att skapa och behandla indata i en dynamisk modell som representerar den massbalans som finns i sjön och dess olika skikt. Den dynamiska modellen byggs upp i Simulink där indata behandlas med hjälp av så kallade block som representerar olika matematiska operationer alternativt källor eller sänkor för data. Teorin bakom massbalansen i simuleringen är grundad på avsnitt 1.5.7.

### 2.3.1 Simulink

För att ladda in data från arbetsytan i MATLAB till Simulink används blocket 'simin'. Detta block hämtar en tidsserie där ett värde i taget laddas in och används i modellen. Data skickas därefter mellan de olika blocken med hjälp av pilar. Dessa pilar innehåller data i form av vektorer och en enskild pil kan därför innehålla data för flertalet parametrar. Då data behandlats färdigt i Simulink används blocket 'simout' där de slutgiltiga värdena sparas i en ny tidsserie i arbetsytan i MATLAB. Tidsserien kan därefter hanteras direkt i MATLAB.

Modellen delades upp i sex olika delar, där varje del representerar en viss volym av sjön. Valet av uppdelning grundar sig på de pågående konduktivitetmätningarna som utförs i Dynestadssjön. För att enklare kunna verifiera modellens trovärdighet kan modellens resultat för varje skikt jämföras med respektive konduktivitetmätningar. Modellens skikt blev därför indelat till 0-3 m, 3-5 m, 5-7 m, 7-9 m, 9-11 m samt 11-16 m, detta för att stämma överens med djupet av konduktivitetsgivare. Varje skikt blev tilldelad en total volym lika stor som summan av sjöns volym för samtliga djup som ingick i skiktet, se tabell 6. Dessa volymer grundades på tabell 2. Det översta skiktet kommer att benämnas som ytskiktet och det understa som botten-skiktet.

Skikten tilldelades även en viss koncentration av salt, kväve och fosfor vid start av simuleringen, dessa redovisas i tabell 6. Valet av andel salt i respektive skikt grundades på tidigare nämnda konduktivitetmätningar (se tabell 3) där den elektriska ledningsförmågan omvandlats till salthalt enligt ekvation (8). Då ytskiktet simulerats har den uppmätta konduktiviteten för augusti använts. Då botten-skiktet simulerats har den uppmätta konduktiviteten för maj månad använts. Gällande kväve och fosfor användes ett medelvärde av de senast uppmätta koncentrationerna (se tabell 1) för respektive skikt i sjön, dessa värden kan ses i tabell 6.

Tabell 6. Begynnelsevärden för skiktens volym samt koncentration kväve, fosfor och salt.

Skikt	Volym [m <sup>3</sup> ]	Kväve [mg/m <sup>3</sup> ]	Fosfor [mg/m <sup>3</sup> ]	Salt [g/m <sup>3</sup> ]
Ytskiktet	1 404 500	830	67	4 324
Botten-skiktet	341 800	10 150	1 425	3 523

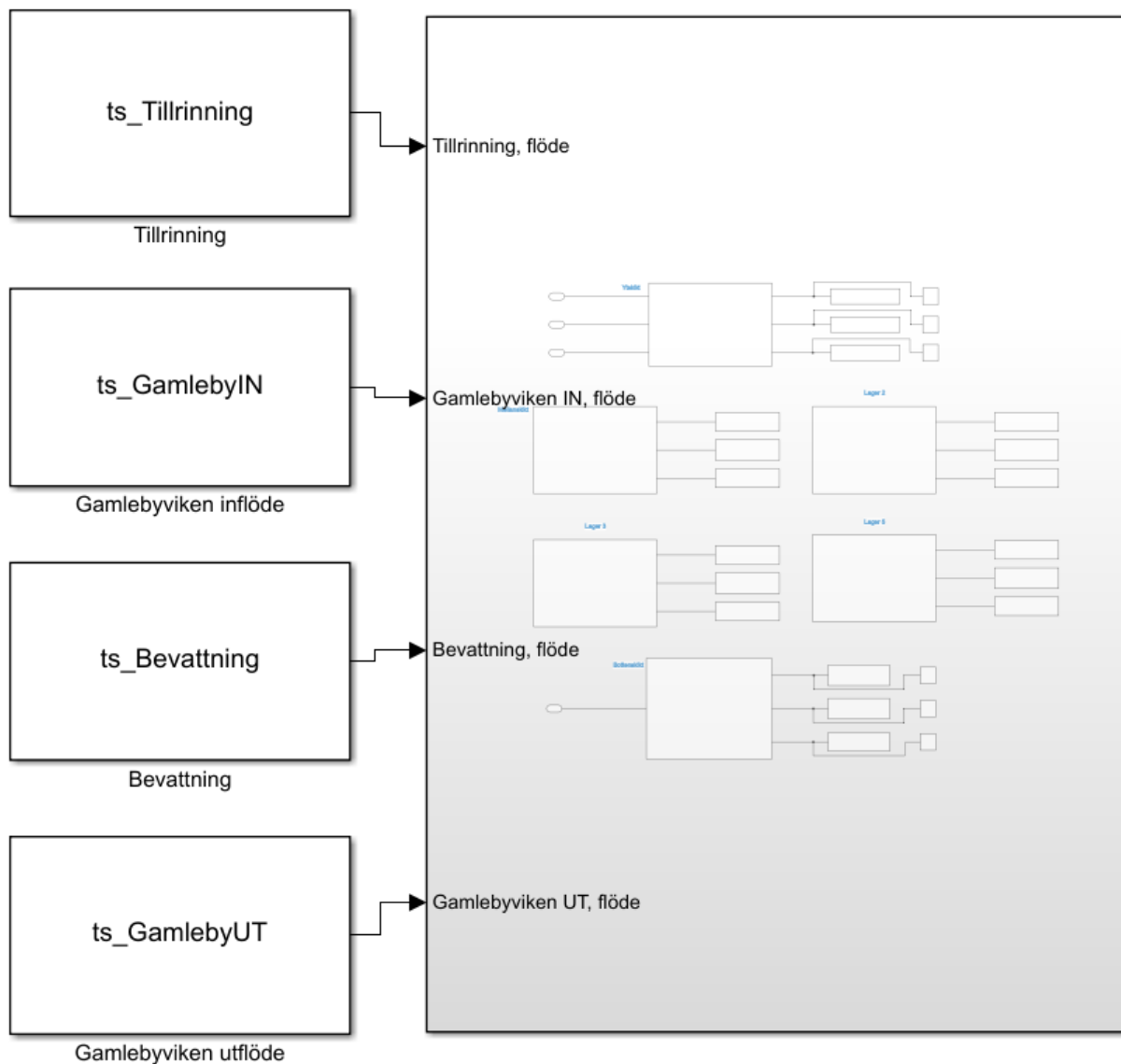
De använda halterna för salt och näringsämnen i tillrinningen och i flödet från Gamlebyviken presenteras i tabell 7. Halterna för tillrinningen beskrivs i avsnitt 2.2.3. Halterna salt i

Gamlebyviken antas vara något högre än för ytskiktet i Dynestadsjön. Detta eftersom Gamlebyviken är i direkt anslutning till Östersjön och ett ständigt inflöde av saltvatten sker. Halterna av kväve och fosfor i Gamlebyviken antas vara märkbart lägre än för ytskiktet i Dynestadsjön. Detta baserat på att inflödet från Östersjön erhåller lägre koncentrationer av näringsämnen och därmed späder ut koncentrationerna i viken.

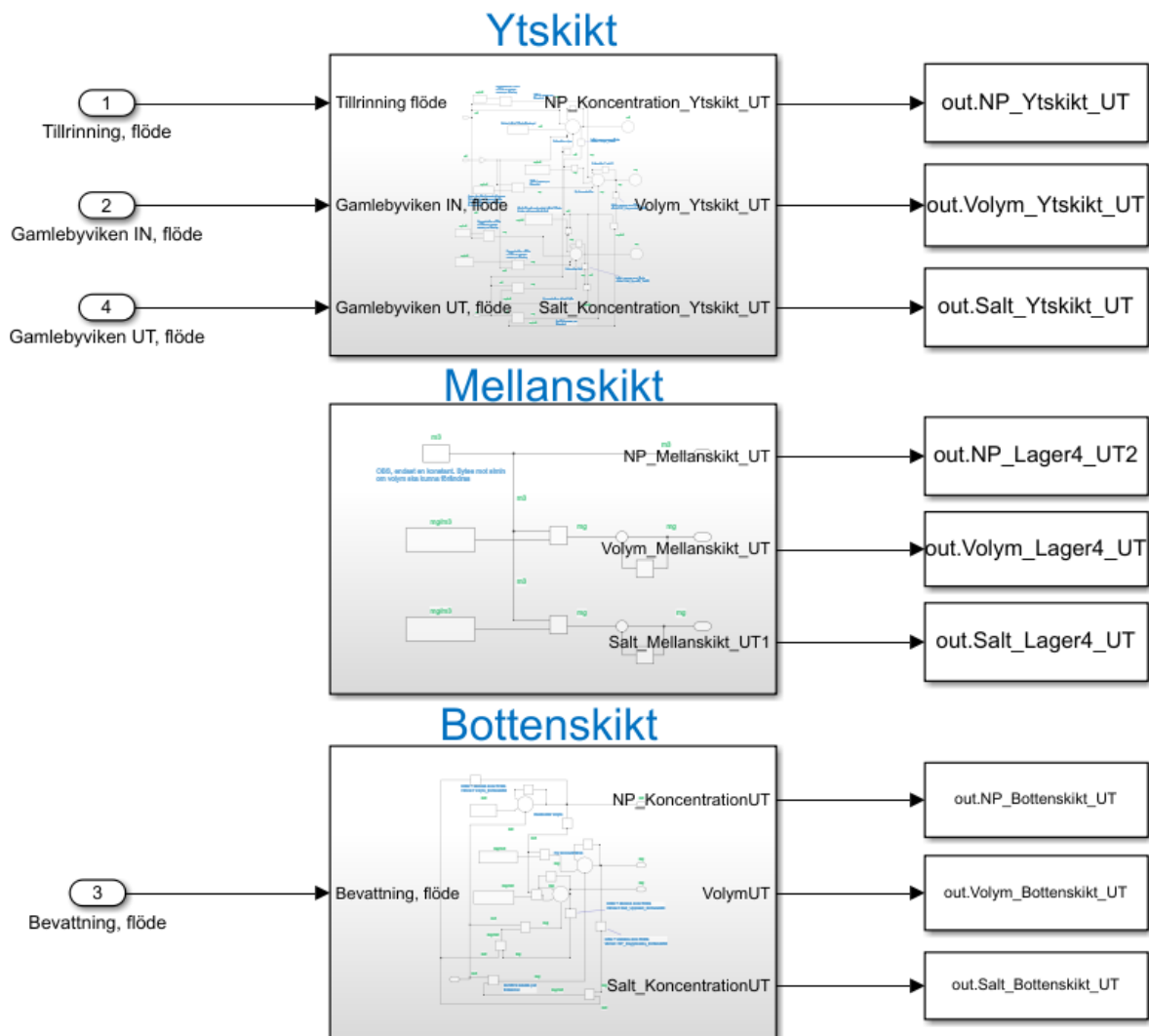
*Tabell 7. Koncentrationer av kväve, fosfor och salt i tillrinningen och i inflödet från Gamlebyviken.*

<i>Flöde</i>	<i>Kväve [mg/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Fosfor [mg/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Salt [g/m<sup>3</sup>]</i>
<i>Tillrinning</i>	<i>833</i>	<i>42</i>	<i>100</i>
<i>Gamlebyviken</i>	<i>600</i>	<i>30</i>	<i>4 800</i>

För att enklare koordinera de olika delarna i modellen används ett antal olika undersystem. Den yttersta delen av modellen redovisas i figur 10. Blocken till vänster representerar data för de fyra olika flödena som används i simuleringarna. Det stora blocket till höger innehåller resterande undersystem. Det första undersystemet visas i figur 11. Detta undersystem innehåller ytskiktet, mellanskiktet samt bottenskiktet.



Figur 10. Det yttersta lagret av modellen. Rutorna till vänster innehåller data i form av de olika vattenflödena. Det stora blocket till höger innehåller undersystemen för ytskiktet, mellanskikten samt bottenskiktet.



Figur 11. Det första undersystemet av modellen, innehållande de tre olika skikten. Från ovan: ytskiktet, mellanskiktet och bottenskiktet. De tre blocken till höger om vardera skikt representerar vektorer där data sparas och lagras i MATLAB.

### 2.3.2 MATLAB

All Indata till Simulink skapas i eller laddas in via MATLAB. Den data som laddas in via MATLAB är de fyra flödena till och från sjön, d.v.s. tillrinningen, bevattningen samt in- och utflödet via utloppet till Gamlebyviken. Dessa serier finns sparade i Excel-filer och laddas in till MATLAB med kommandot 'xlsread' och sparas i separata matriser. Samtliga begynnelsevärden för parametrarna som används i Simulink är i form av dataserier av samma längd som indata från Excel. Det första värdet i serien representerar det initiala värdet och resterande värden är noll. Dessa serier skapas genom att först bygga en matris bestående av nollor av samma längd som indata från Excel. Detta genom kommandot 'zeros' kombinerat med kommandot 'length'. Den första nollan i serien ersätts med önskat begynnelsevärde för respektive parameter i vardera dataserie. För att serierna ska kunna laddas in och användas i Simulink krävs det att dessa är i formatet av en tidsserie. Detta erhålls genom att samtliga dataserier behandlas med kommandot 'timeseries'.

Vissa funktioner i modellen kräver användning av ett minnesblock. Detta block sparar det senast inkomna värdet och skickar det vidare vid nästa tidssteg. Det initiala värdet för dessa

olika block kan bestämmas manuellt och istället för att ange ett bestämt värde kan dessa tilldelas en variabel. Värdet för denna variabel definieras sedan i MATLAB-koden och laddas in i Simulink då koden exekveras. MATLAB-koden presenteras i bilaga A.

### 2.3.3 Ytskiktet

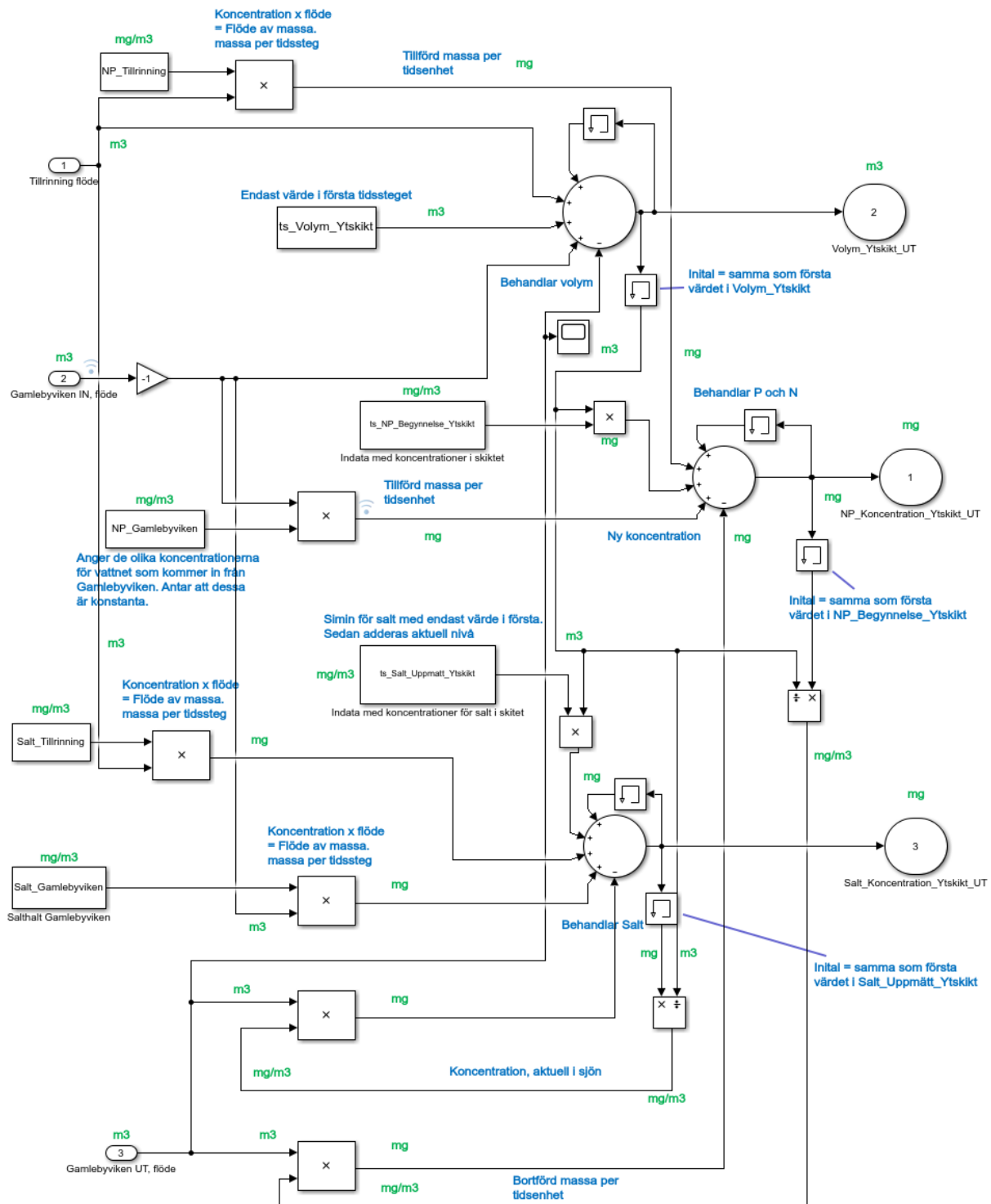
De tre översta metrarna av Dynestadsjön representeras av denna del i modellen. Detta skikt behandlar flöden i form av tillrinning samt in- och utflöde via utloppet. Dessa tre flöden samt begynnelsevärdena för skiktet laddas in från MATLAB i form av tidsserier, likaså konstanterna för halterna av näringsämnen i tillrinningen och inflödet från viken. För varje tidssteg summeras volymerna från inflöden och utflöden med den aktuella volymen av sjön. Denna summering sker i ett summationsblock där tillrinningen, inflödet från viken samt den aktuella volymen adderas medan utflödet till viken subtraheras. Begynnelsevärdet för skiktets volym adderas till summationen endast vid det första tidssteget, därefter adderas den aktuella volymen tillbaka till summationen. För att möjliggöra addition av det aktuella värdet av volymen används en så kallad respons-loop där värdet av volymen adderas tillbaka i summationen. För att undvika beräkningsfel i summationen används samma metod som i 2.3.2. Efter varje tidssteg sparas resultatet av summationen i en tidsserie som skickas till MATLABs arbetsyta där data kan behandlas.

Två liknande summationer finns även för beräkningen av de totala mängderna näringsämnen för varje tidssteg, en summation för salt samt en som behandlar både kväve och fosfor. Här adderas mängderna av näringsämnena för tillrinningen och inflödet från Gamlebyviken, mängden för utflödet till viken subtraheras. Efter varje tidssteg sparas resultatet av summationen i en tidsserie som skickas till MATLABs arbetsyta där data senare kan behandlas. Då dessa summationer behandlar mängder krävs det att varje flöde multipliceras med aktuell koncentration av näringsämnet. Denna multiplikation utförs med ett produktblock. Multiplikeringen sker elementvis. Detta betyder att för vektorer innehållandes värden för flertalet parametrar kommer dessa att multipliceras med flödet var för sig och resultatet är fortfarande en vektor. För tillrinningen och inflödet från Gamlebyviken anses dessa koncentrationer vara konstanta och definieras direkt i MATLAB-koden. Att dessa värden är konstanta i verkligheten är inte troligt, detta är en nödvändig förenkling då kunskapen om dess förändringar är liten. Den initiala mängden av vardera näringsämne adderas till summationsblocket genom att multiplicera begynnelsevärdet för koncentrationen med den initiala volymen av skiktet. Detta sker endast för det första tidssteget, sedan adderas den aktuella koncentrationen tillbaka med en respons-loop och ett minnesblock. Detta med samma resonemang som för volymen.

För att veta hur stort bortfallet av näringsämnen är från sjön på grund av utflödet till Gamlebyviken krävs det att den aktuella koncentrationen av näringsämnena för ytskiktet multipliceras med utflödet för det aktuella tidssteget. Anledningen att endast ytskiktet beaktas vid denna beräkning är på grund av att utloppets djup sammanfaller inom ytskiktets djup. Det vill säga inom tre meter räknat från ytan. För att kunna beräkna koncentrationen i skiktet krävs det att den totala halten av vardera näringsämne divideras med den totala volymen vid respektive tidssteg. Denna division utförs med ett divisionsblock. För att denna operation ska kunna utföras krävs det att man använder sig av minnesblocket efter de två aktuella summationerna, detta för att undvika ett beräkningsfel av samma slag som tidigare diskuterat, d.v.s. ett beräkningsfel orsakat av att man försöker använda sig av ett värde som summationen



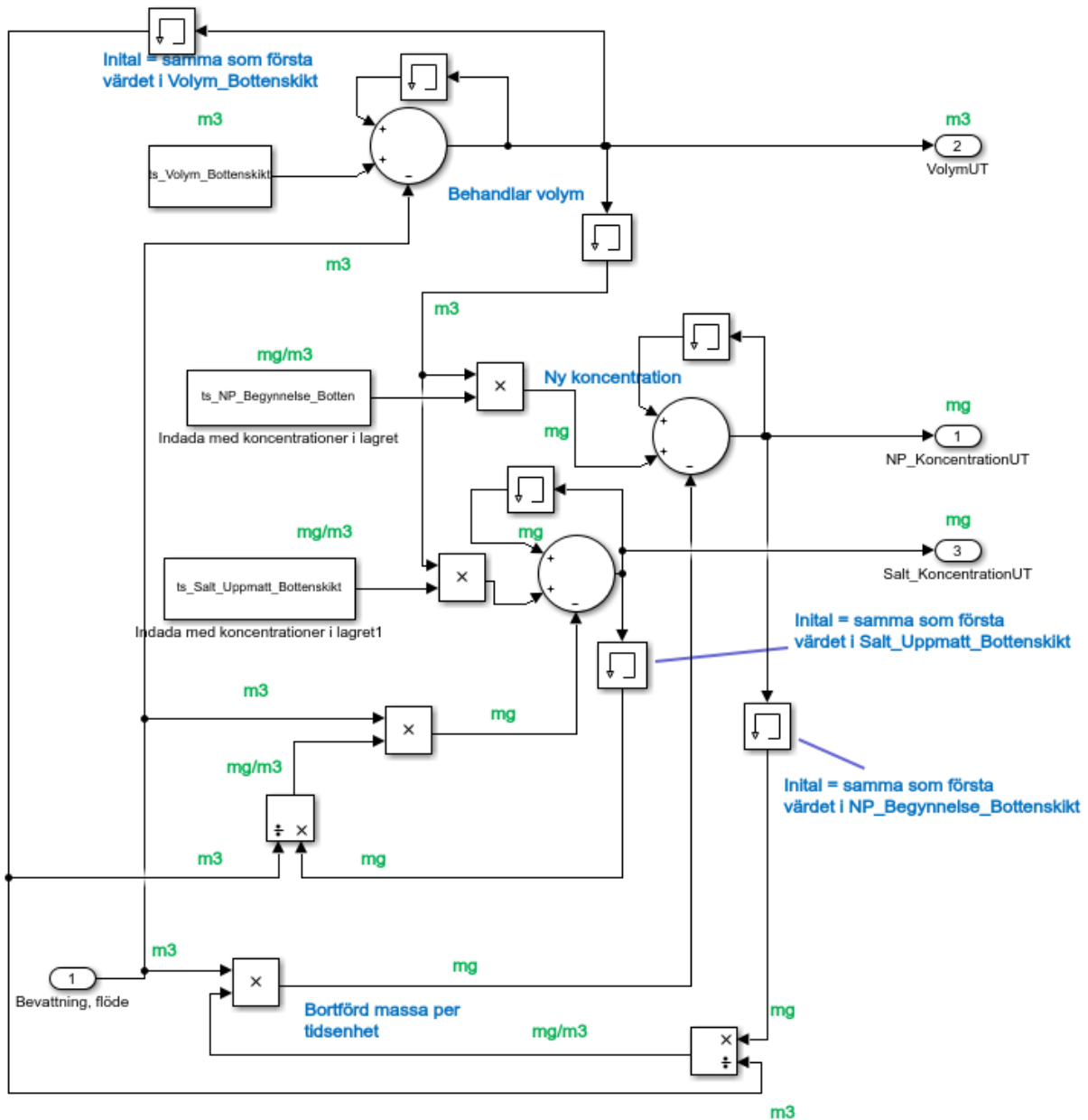
ännu inte beräknat. Dessa block tilldelas initiala värden lika som det begynnelsevärdet för tillhörande parameter. Dessa värden sparas automatiskt i MATLAB och laddas in i Simulink då koden exekveras. Ytskiktets modellupbyggnad redovisas i figur 12.



Figur 12. Modellupbyggnad av undersystemet som beskriver ytskiktet. Inflöden adderas och utflöden subtraheras i de olika summationerna.

### 2.3.4 Bottenskiktet

De fem nedersta metrarna av Dynestadsjön representeras av denna del i modellen. Detta skikt behandlar endast ett flöde, pumpning av bevattningsvatten. Slangen som används för att pumpa upp vattnet har sin ände placerad på cirka 12 meters djup och antas endast pumpa vatten från bottenskiktet. Tidsserien med pumpade volymer laddas in till Simulink från en Excel-fil via MATLAB. Även tidsserierna innehållande begynnelsevärdena för skiktets volym samt halter av näringsämnen laddas in från MATLAB. Detta skikt innehåller precis som ytskiktet tre olika summationer; en för volym, en för total mängd salt samt en för total mängd kväve och fosfor. Vid det första tidssteget adderas begynnelsevärdet för volymen, även de totala halterna för näringsämnena. Detta genom att multiplicera begynnelsevärdet för koncentrationerna med den initiala volymen. För varje tidssteg subtraheras den mängd volym som pumpats ut och även den mängd näringsämnen denna volym innehåller. Mängden näringsämnen som försvinner med det pumpade vattnet beräknas genom att multiplicera de aktuella halterna med den pumpade volymen för varje tidssteg. De aktuella halterna av näringsämnena beräknas på liknande sätt som för ytskiktet, d.v.s. den totala mängden av näringsämnet divideras med den rådande volymen av skiktet. Efter varje summation sparas värdena i minnesblock för att sedan adderas tillbaka i summationen i en respons-loop. Även i detta fall används minnesblocken för att undvika beräkningsfel. Efter varje tidssteg sparas resultatet av summationerna i olika tidsserier som skickas till MATLABs arbetsyta där data senare kan behandlas. Bottenskiktets modelluppbyggnad redovisas i figur 13.

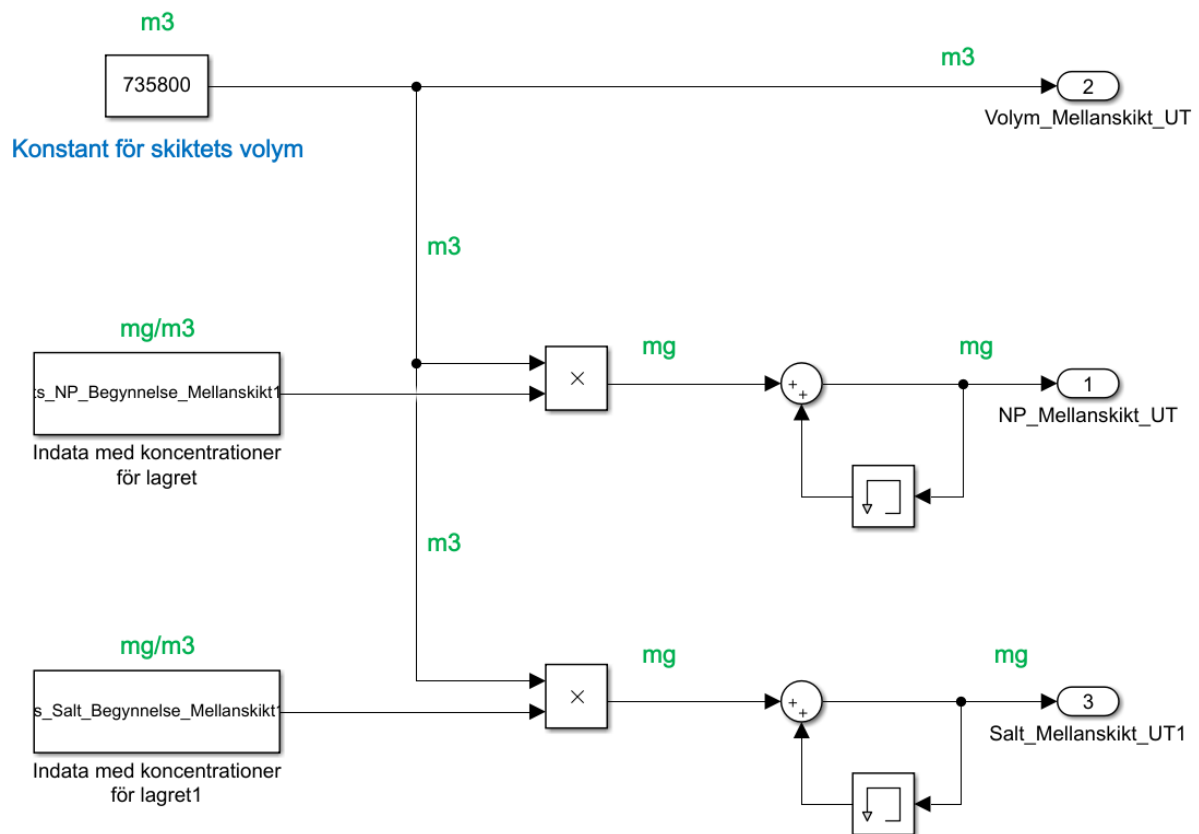


Figur 13. Modellupbyggnad av undersystemet som beskriver bottenskiktet.

### 2.3.5 Mellanskikten

Utöver yt- och bottenskiktet var det planerat att modellen även skulle innehålla fyra mellanskikt. Skikten ska behandla flöden av volymer och näringsämnen till följd av sedimentation, skiktningar och pumpning av bottenskiktet. Mellanskikten kan på så sätt fungera som en transportsträcka mellan ytskiktet och bottenskiktet. Dessa skikt behandlar dock i nuläget inga flöden och bidrar därför inte med någon direkt nytta till modellen. Denna del av modellen har ändå valts att presenteras då den kan vara intressant vid eventuella framtida studier. Anledningen till att dessa skikt inte applicerats i modellen är på grund av att detta ansågs vara för komplext för att utföra inom tidsramen. Av de olika mellanskikten finns i nuläget ingen funktionell skillnad, endast begynnelsevärden av volym och näringsämnen skiljer dem åt.

Dessa begynnelsevärden laddas in och behandlas på samma sätt som för yt- och bottenskiktet. Mellanskiktets modelluppbyggnad redovisas i figur 14.



Figur 14. Undersystemet som beskriver mellanskikten.

### 2.3.6 Validering av modellen och indata

För att utvärdera modellens trovärdighet jämfördes de simulerade mängderna salt för ytskiktet med de uppmätta värdena för konduktivitet för respektive månad. Varje månad simulerades var för sig och begynnelsevärdet var tidigare nämnda dygnsmedelvärden av den uppmätta konduktiviteten (se tabell 3) som omvandlats till salthalt enligt ekvation (8). Dessa värden visas i tabell 8. För att sedan omvandla de simulerade mängderna salt till konduktivitet dividerades den totala mängden salt med den totala volymen av skiktet för respektive tidssteg, detta ger halterna av salt. Därefter utnyttjades ekvation (7) för att omvandla halterna till konduktivitet, angiven i  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . För att överskåda skillnader mellan den uppmätta och simulerade konduktiviteten ritades grafer. För att se om det finns ett linjärt samband mellan den simulerade och den uppmätta data skapades grafer där respektive datapunkt ritades mot varandra. En regressionslinje skapades och en determinationskoefficient,  $R^2$ , beräknades. Detta för att veta hur stor andel av den uppmätta konduktiviteten som kan förklaras av modellen. Även residualerna ritades ut.

Tabell 8. Begynnelsevärden för salthalter i ytskiktet vid validering.

Månad	Augusti	September	Oktober	November
Salthalt [g/m <sup>3</sup> ]	4325	-	4242	3574

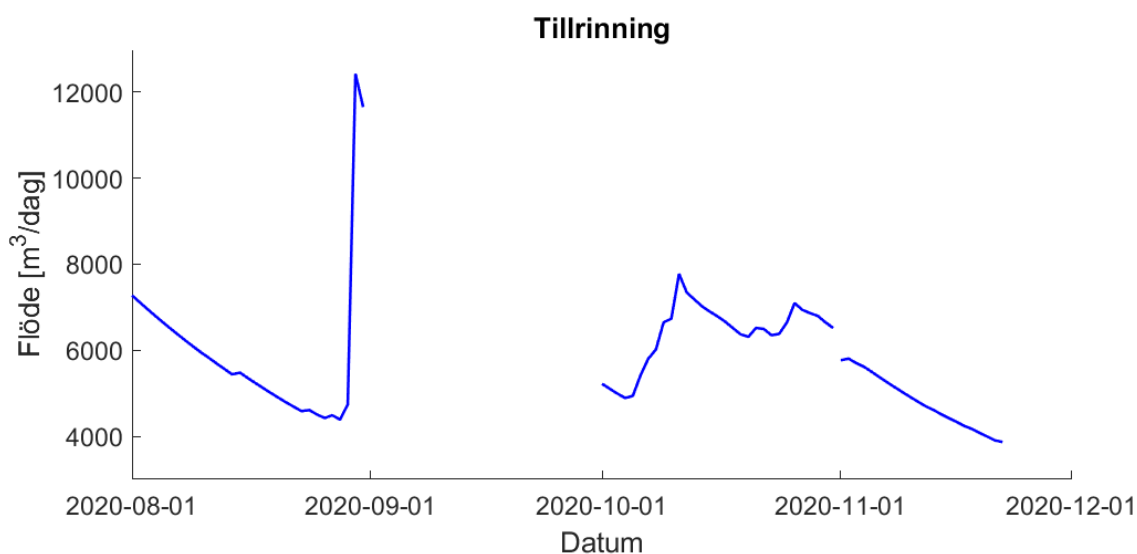
## 3 Resultat

Nedan presenteras resultatet från simuleringarna, även de olika valideringarna av modellen presenteras. För ytskiktet illustreras simuleringar för de månader där mätdata för in- och utflöde till viken existerar, det vill säga för augusti, oktober och november. För bottenskiktet presenteras simuleringar för de månader där pumpning utförts, detta är för månaderna maj till och med augusti. Resultaten presenteras i form av figurer ritade i MATLAB.

### 3.1 Flödesdata

#### 3.1.1 Tillrinning

Den simulerade tillrinningen med daglig upplösning redovisas i figur 15. För totala värden månadsvis, se tabell 9. I tillrinningen ingår samtliga inflöden till Dynestadsjön bortsett från inflödet vid Dynestadsjöns utlopp. Tillrinningen omfattar ytavrinning, inflöde i form av mindre vattendrag samt nederbörd, även förlusten av vatten i form av evapotranspiration ingår. Tillrinningen för augusti avtog någorlunda jämnt fram tills de sista dagarna på månaden då flödet ökade mycket kraftigt och plötsligt. För oktober månad var den totala volymen av tillrinningen som störst, detta kan utläsas ur tabell 9. För november månad var flödet generellt lägre än föregående månader. Noterbart är att det angivna värdet för total tillrinning november månad i tabell 9 endast är fram till den 22: a.



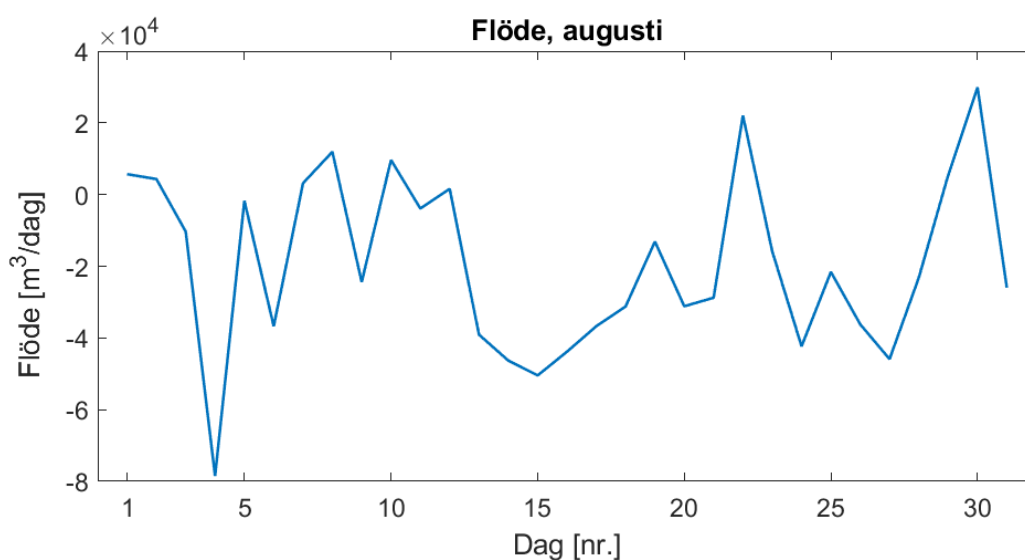
Figur 15. Simulerade värden av tillrinningen till sjön för augusti, oktober och november månad.

Tabell 9. Totala simulerade volymer per månad för tillrinningen.

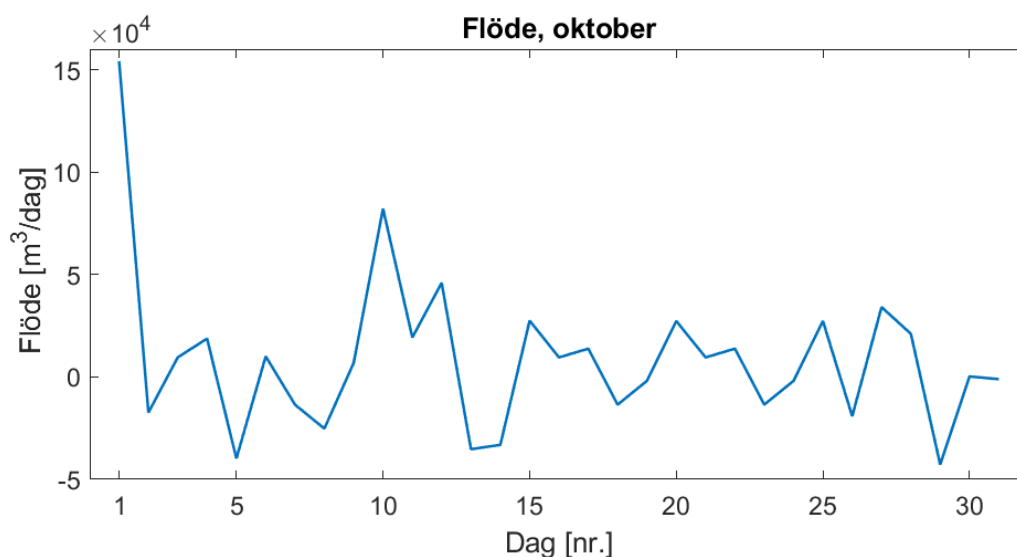
Månad	Augusti	September	Oktober	November
Volym [m <sup>3</sup> ]	184 482	-	197 910	105 780

### 3.1.2 Flöde vid Dynestadsjöns utlopp

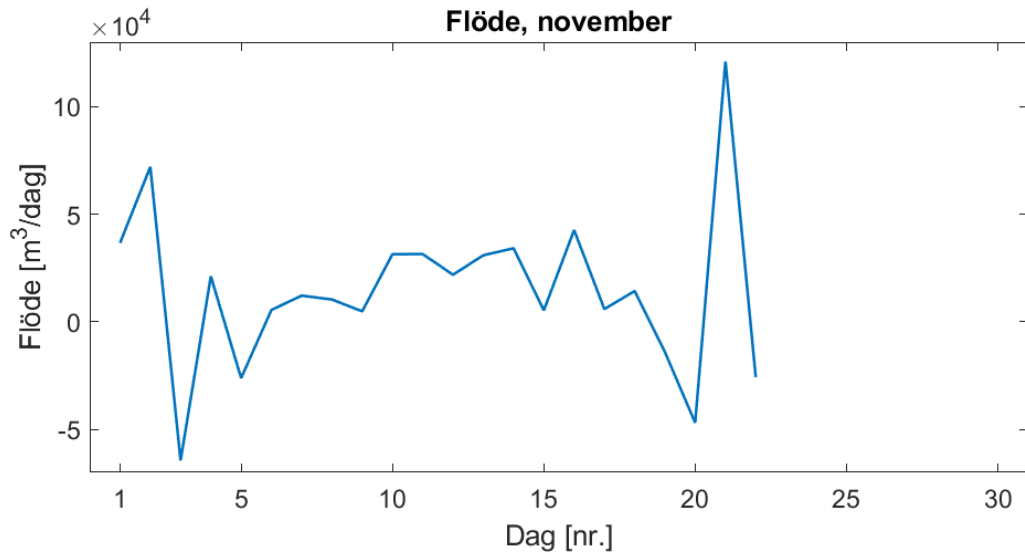
Då modellens tidssteg är dygnsvis framtogs tidsserier med totala flödade volymer per 24-timmar. Dessa flöden visas i form av diagram i figur 16–18. Negativt flöde representerar inflöde till sjön och positivt flöde anger utflöde från sjön till Gamlebyviken. Flödet under augusti bestod till största delen av inflöde till sjön. Kraftiga variationer av flödet storlek kan utläsas. Under oktober skiftade riktningen av flödet ofta men bestod till största delen av utflöde. För november månad var flödet något mer stabilt och skiftade inte lika ofta eller kraftigt.



Figur 16. Dygnsmedelvärden av uppmätta volymer genom utloppet av Dynestadsjön, augusti månad.



Figur 17. Dygnsmedelvärden av uppmätta volymer genom utloppet av Dynestadsjön, oktober månad.

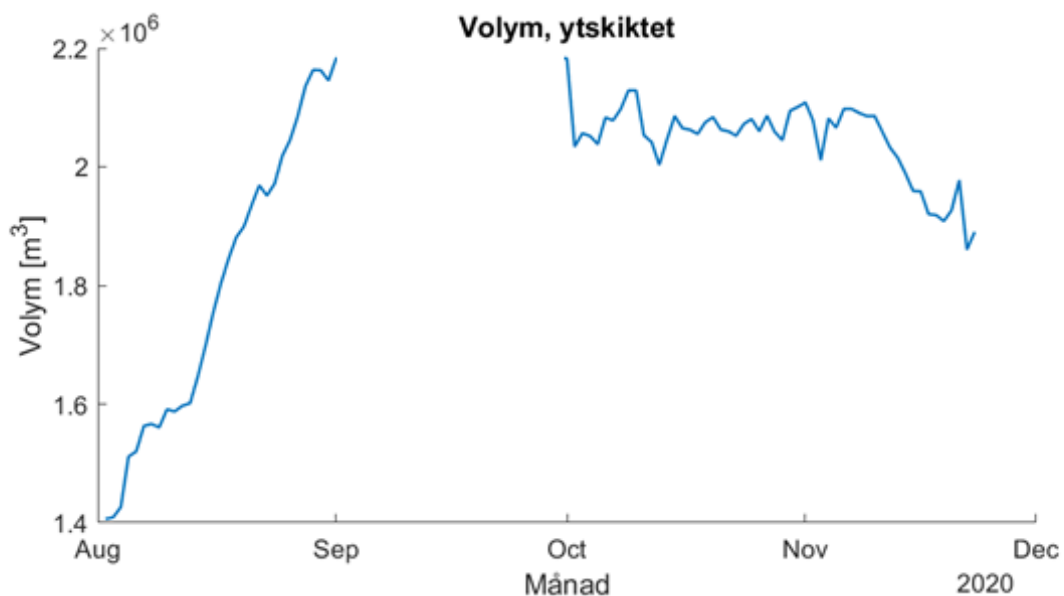


Figur 18. Dagnsmedelvärden av uppmätta volymer genom utloppet av Dynestadsjön, november månad.

## 3.1 Simulering

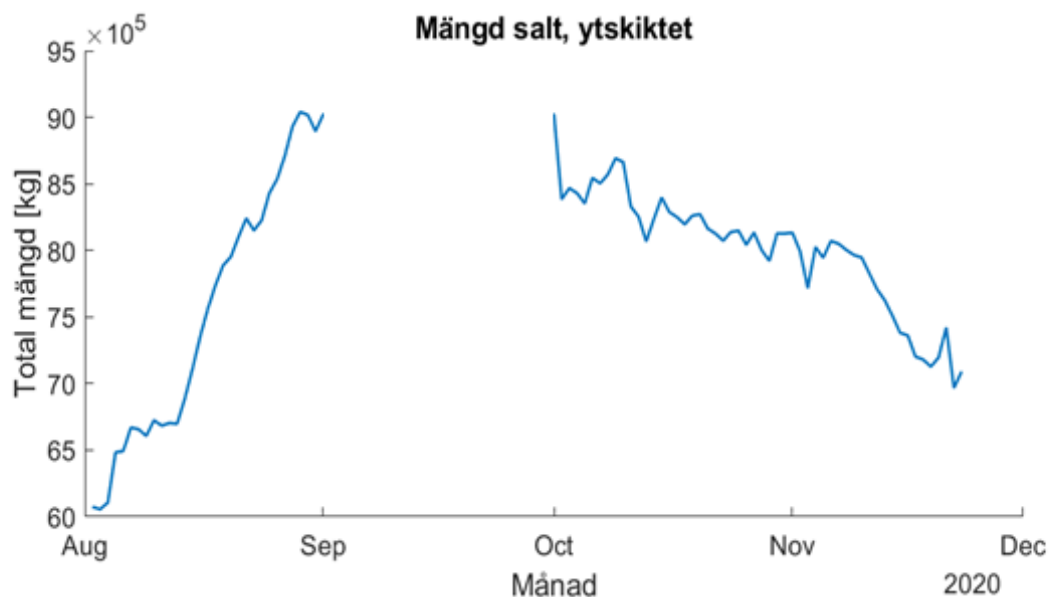
### 3.1.1 Ytskiktet

Den totala volymen av ytskiktet ökade drygt 60 % under augusti till följd av det stora inflödet från Gamlebyviken, detta kan ses i figur 19. Under oktober skiftade inflödet vid Dynestadsjöns utlopp ofta vilket resulterade i ständig ökning och minskning av den totala volymen i ytskiktet. För november minskade den totala volymen av ytskiktet, troligtvis till en följd av minskad mängd tillrinning jämfört med augusti och oktober samt att flödet vid sjöns utlopp till största del bestod av utflöde.



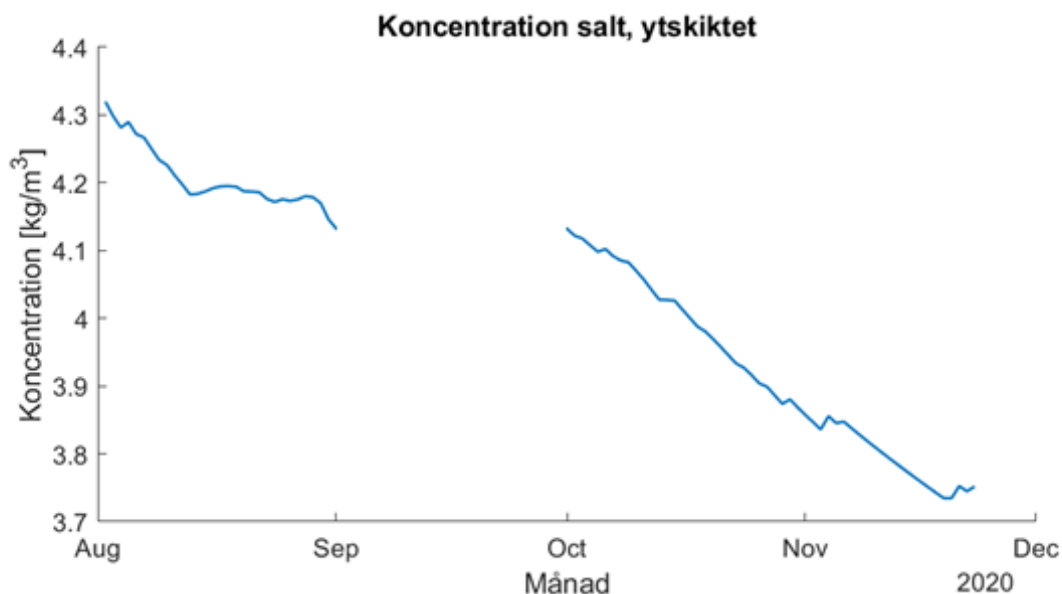
Figur 19. Volymen av ytskiktet för de simulerade månaderna.

Mängden salt i ytskiktet redovisas i figur 20. Från denna figur kan utseendet av grafen liknas vid den för mängden volym. Då det bräckta vattnet tränger upp i Dynestadsjön ökar mängden salt och minskar då ytskiktets volym minskar genom utflöde.



Figur 20. Mängden salt i ytskiktet för de simulerade månaderna.

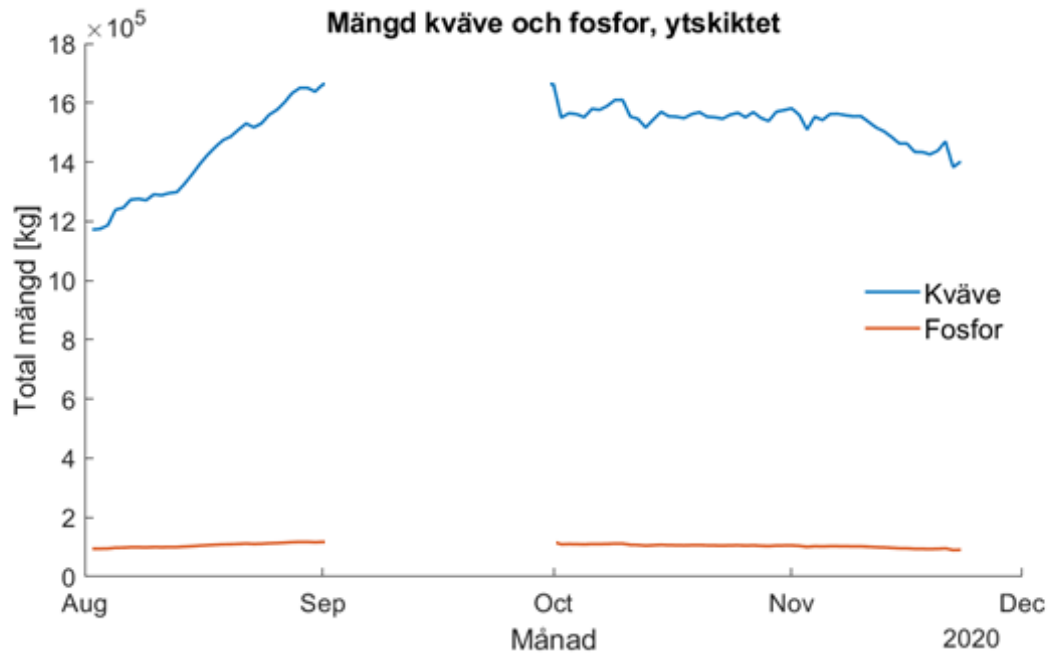
Koncentrationen av salt i ytskiktet avtar generellt för de tre månaderna, detta kan avläsas i figur 21. För augusti avtar koncentrationen salt till en början för att sedan plana ut mot slutet av månaden. I oktober avtar koncentrationen någorlunda jämnt under hela månaden. I november sker stundvis ökning av koncentrationen men med en övervägande tidsperiod där den minskar.



Figur 21. Koncentrationen av salt i ytskiktet för de simulerade månaderna.

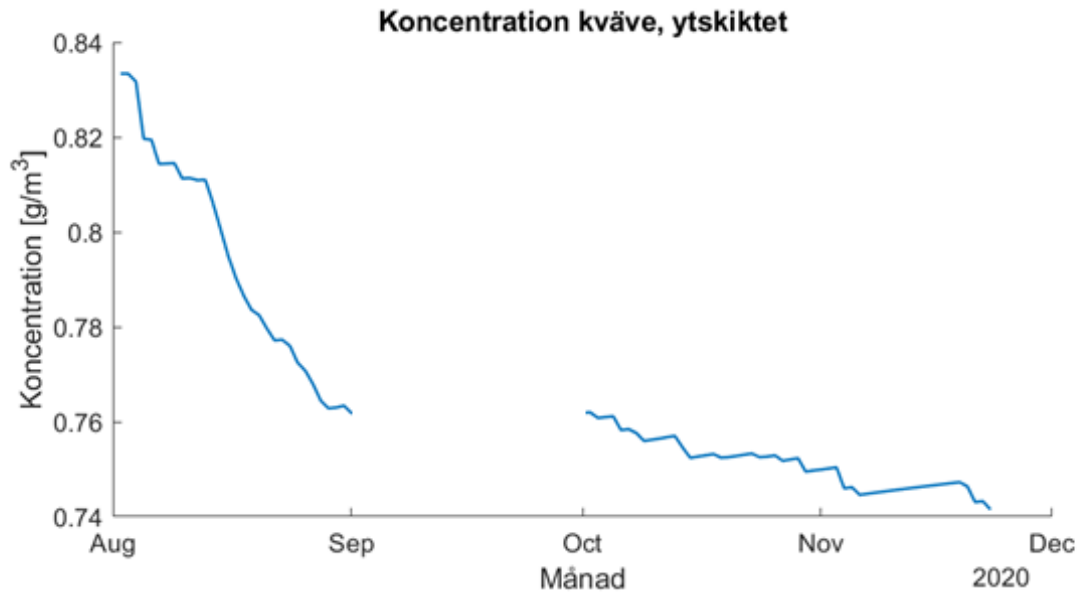


Förändringen av den totala mängden kväve och fosfor redovisas i figur 22. Utseendet av denna kurva liknar även den utseendet av den totala volymen i figur 19. En ökning av mängderna sker i augusti. För oktober månad ökar och minskar mängderna till och från för att sedan avta under november.

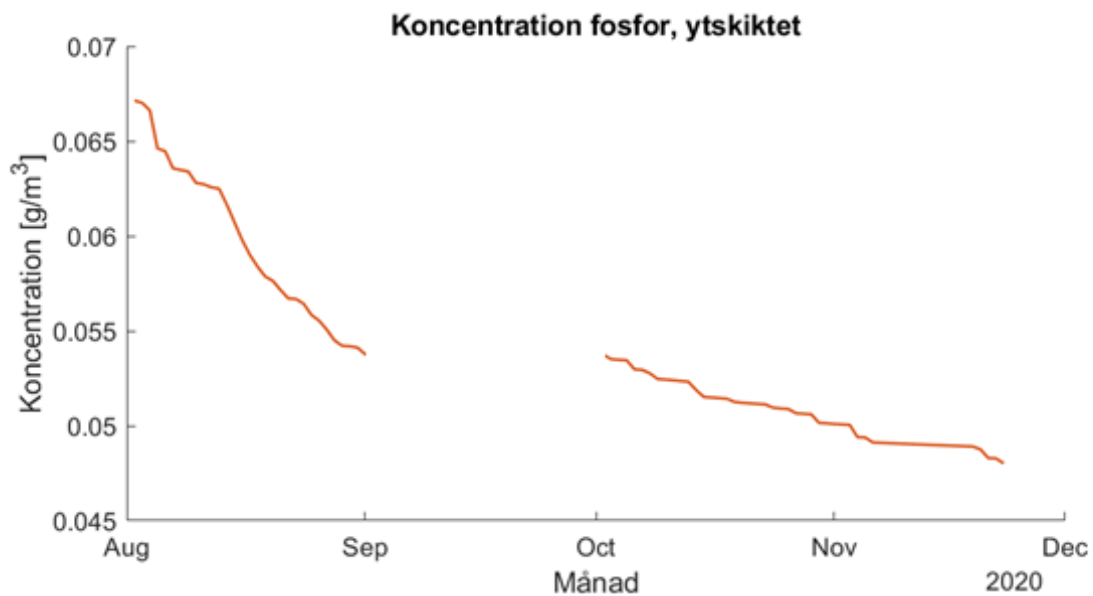


Figur 22. Mängden kväve och fosfor i ytskiktet för de simulerade månaderna.

Gällande koncentrationen av kväve och fosfor redovisas dessa i figur 23 respektive figur 24. För augusti månad avtar dessa koncentrationer relativt hastigt. Även under oktober avtog koncentrationerna, dock ej lika hastigt. För november avtog koncentrationen till en början för att sedan svagt öka och sedan minska igen.



Figur 23. Koncentrationen kväve i ytskiktet för de simulerade månaderna.

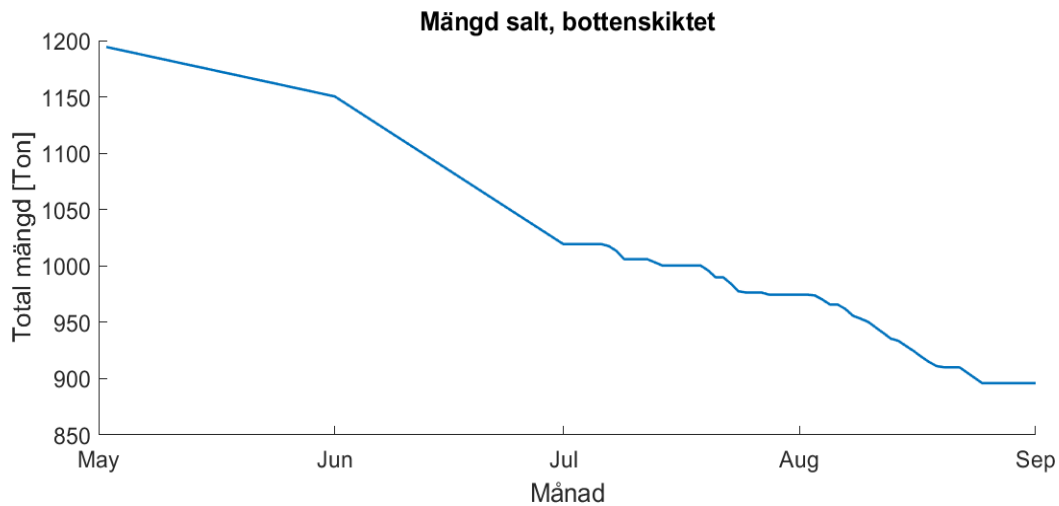


Figur 24. Koncentrationen av fosfor i ytskiktet för de simulerade månaderna.

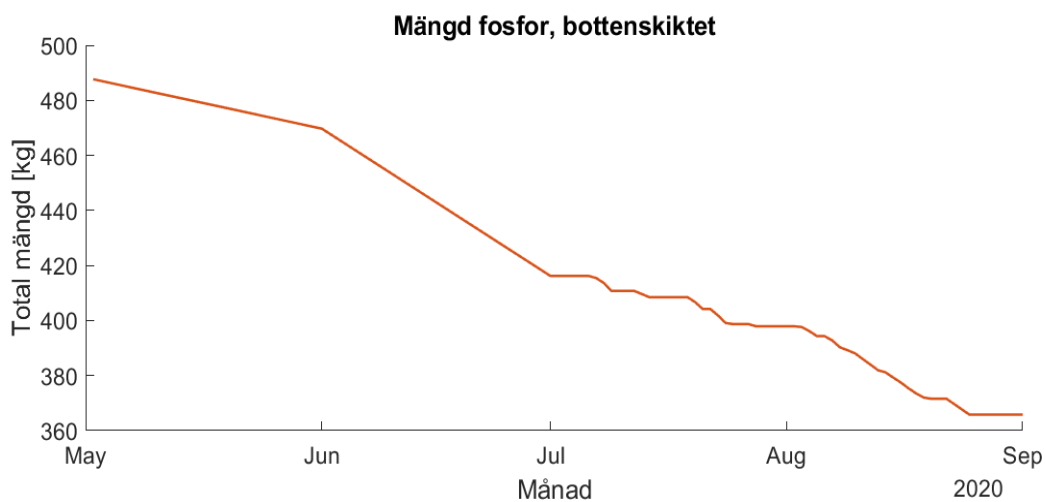
### 3.1.2 Bottenskiktet

Figur 25 - 27 visar hur de totala mängderna av salt, kväve och fosfor minskar för de olika månaderna då pumpning pågått. För maj och juni finns ingen daglig upplösning av de uttagna volymerna och värdena för vardera dygn är därför ett medelvärde baserat på den totala volymen per månad. Då dessa dygnsvärden är av samma storlek för samtliga dagar i vardera

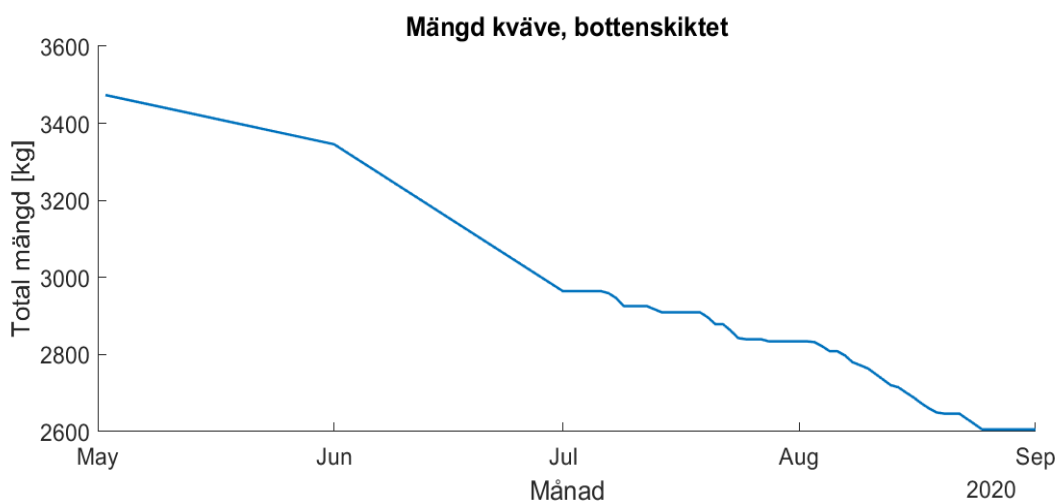
månad blir kurvan rät. För juni och augusti avtar kurvorna i snabbast och något mindre för maj och juli.



Figur 25. Mängden salt i bottenskiktet för de simulerade månaderna.



Figur 26. Mängden fosfor i bottenskiktet för de simulerade månaderna.

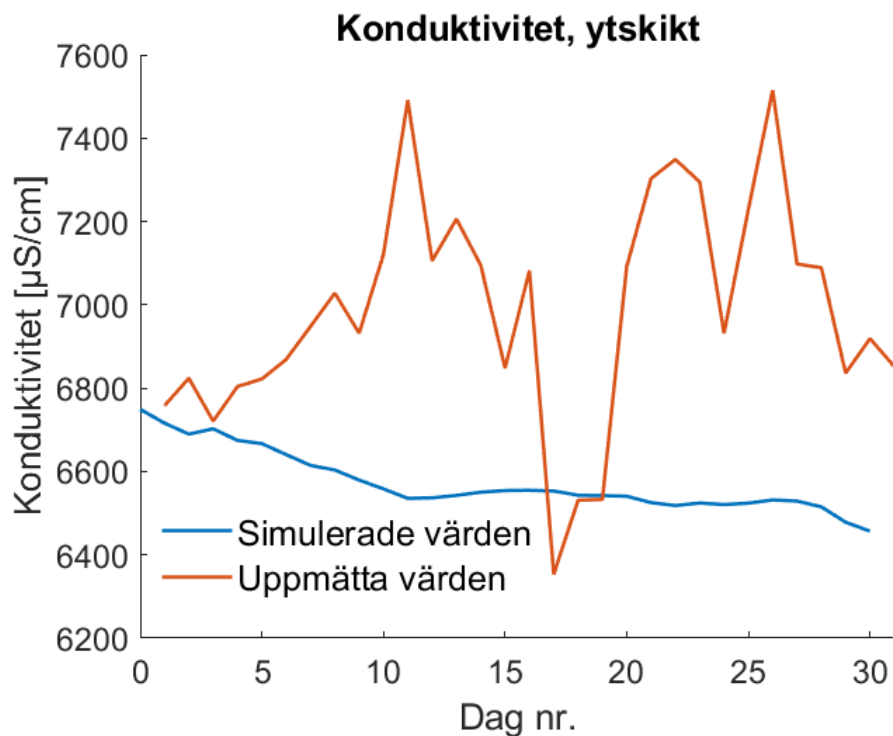


Figur 27. Mängden kväve i bottenskiktet för de simulerade månaderna.

## 3.2 Validering

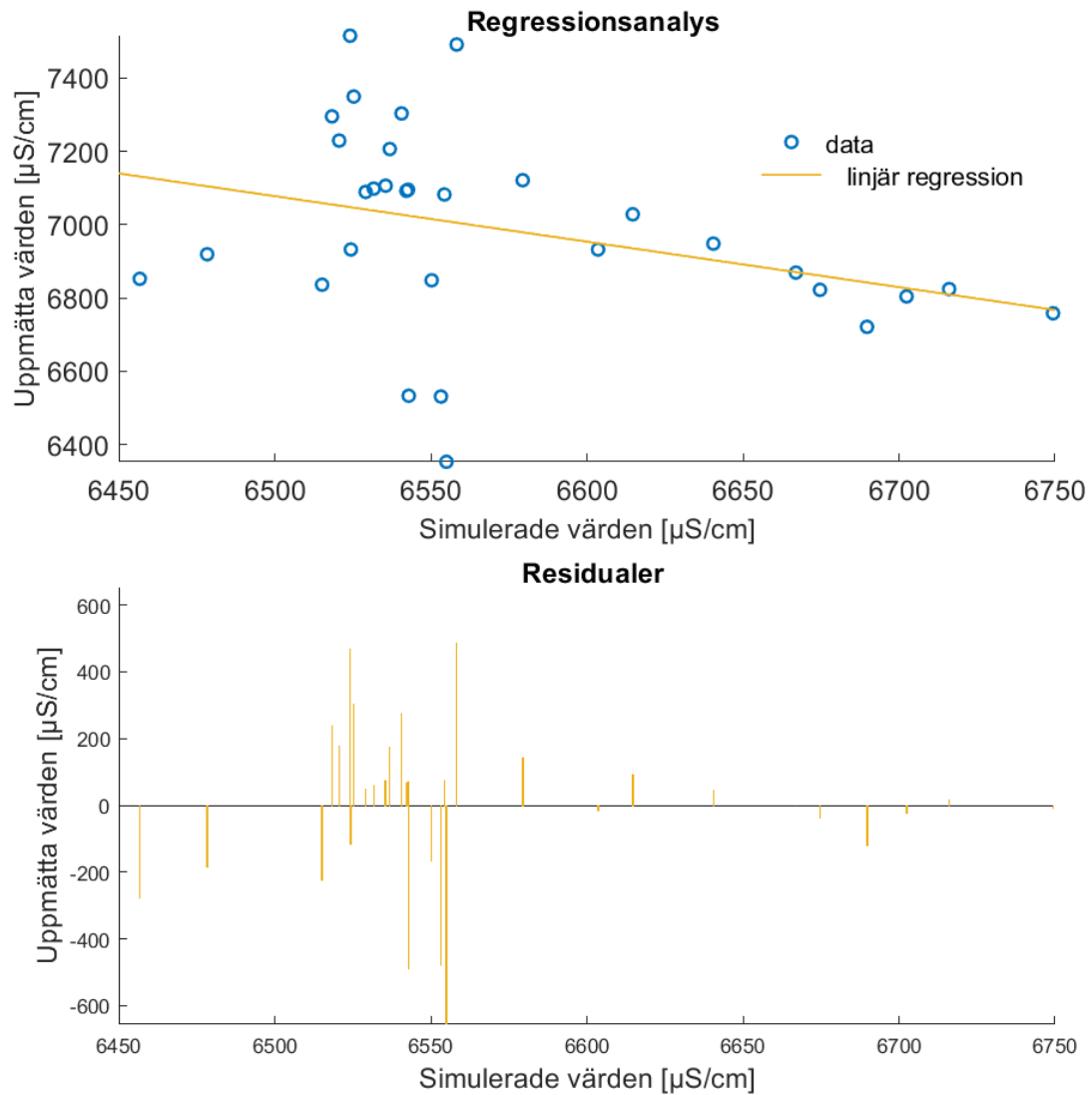
För att belysa skillnaderna mellan den simulerade och den uppmätta konduktiviteten ritades grafer över data. Jämförelsen skedde både månadsvis och för hela tidsperioden och kan avläsas i figur 28, 30, 32, 34. Även en regressionsanalys utfördes, dessa redovisas i figur 29, 31, 33, 35.

En jämförelse mellan den simulerade och uppmätta konduktiviteten för ytskiktet under augusti månad redovisas i figur 28. Den simulerade konduktiviteten avtar något under de tio första dagarna för att sedan stabiliseras. Den uppmätta konduktiviteten varierar med kraftiga ökning och sänkning under månadens gång.



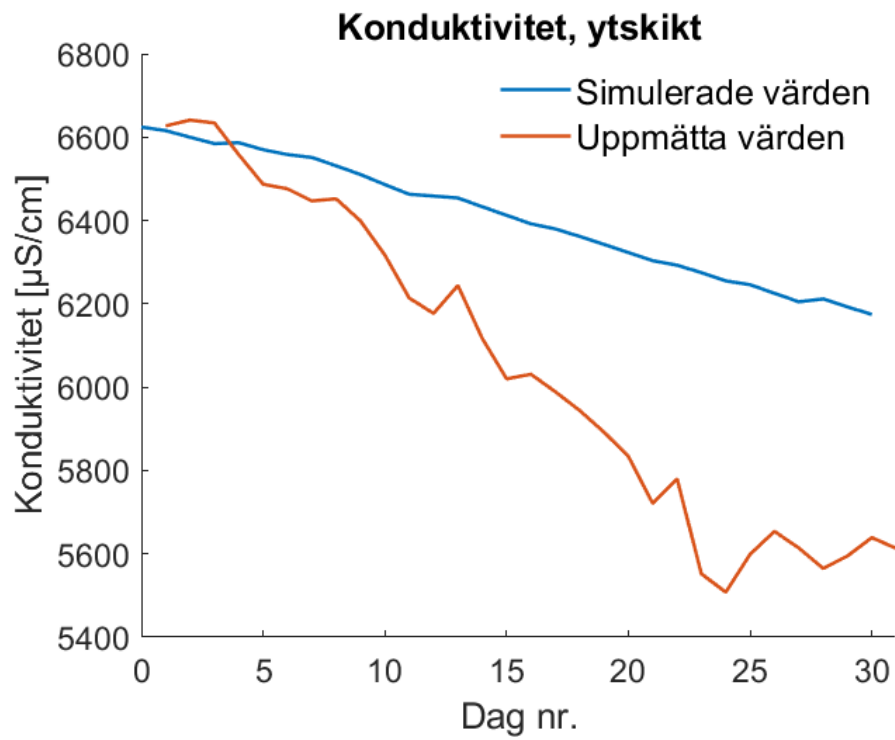
Figur 28. Simulerad och uppmätt konduktivitet för ytskiktet, augusti månad.

Valideringen av konduktiviteten för augusti visas i figur 29. Avståndet mellan en blå cirkel och den gula linjen representeras av dess residual. Låga residualer antyder därför högre passning. För augusti månad kan man utläsa att determinationskoefficienten har ett värde strax över 0,11.



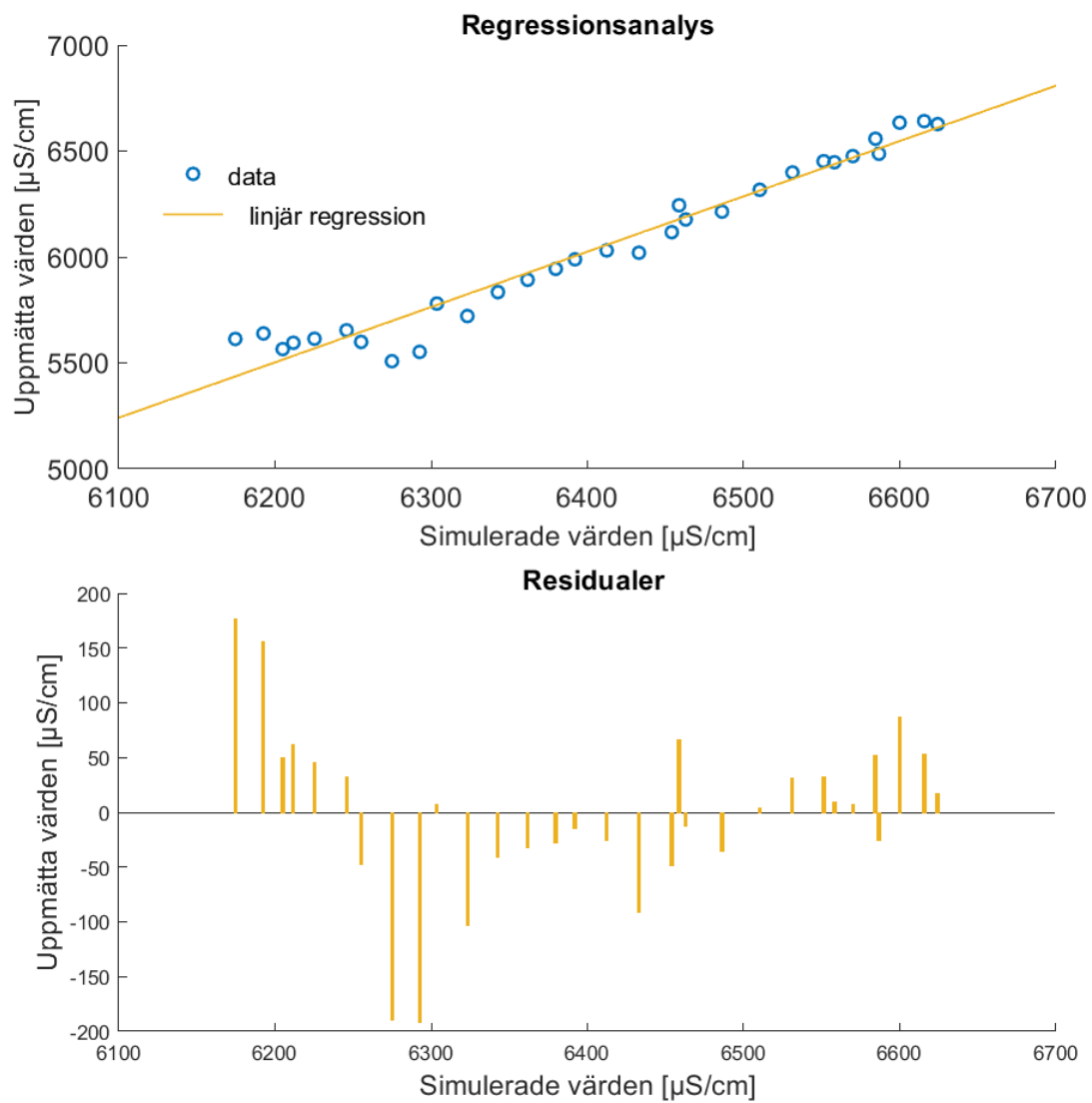
Figur 29. Simulerad mot uppmätt data för augusti, med linjär regressionslinje samt residualer. Determinationskoefficient av värdet 0,11.

En jämförelse mellan den simulerade och uppmätta konduktiviteten för ytskiktet under oktober månad redovisas i figur 30. För denna period avtar de uppmätta värdena snabbare än de simulerade vilket resulterar i en förskjutning mellan dessa. De simulerade värdena följer dock ett liknande mönster som för det uppmätta.



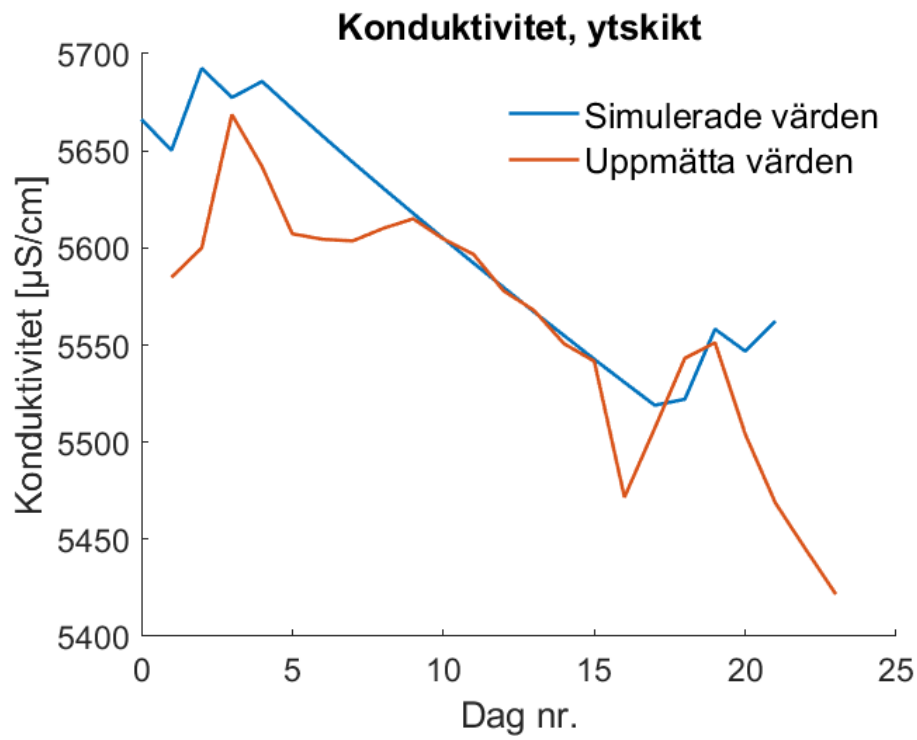
Figur 30. Simulerad och uppmätt konduktivitet för ytskiktet, oktober månad.

Valideringen av konduktiviteten för oktober visas i figur 31. Värdet för determinationskoefficienten på nära 0,96 samt de låga residualerna anger en passning nära 1.



Figur 31. Simulerad mot uppmätt data för oktober, med linjär regressionslinje samt residualer. Determinationskoefficient av värdet 0,96.

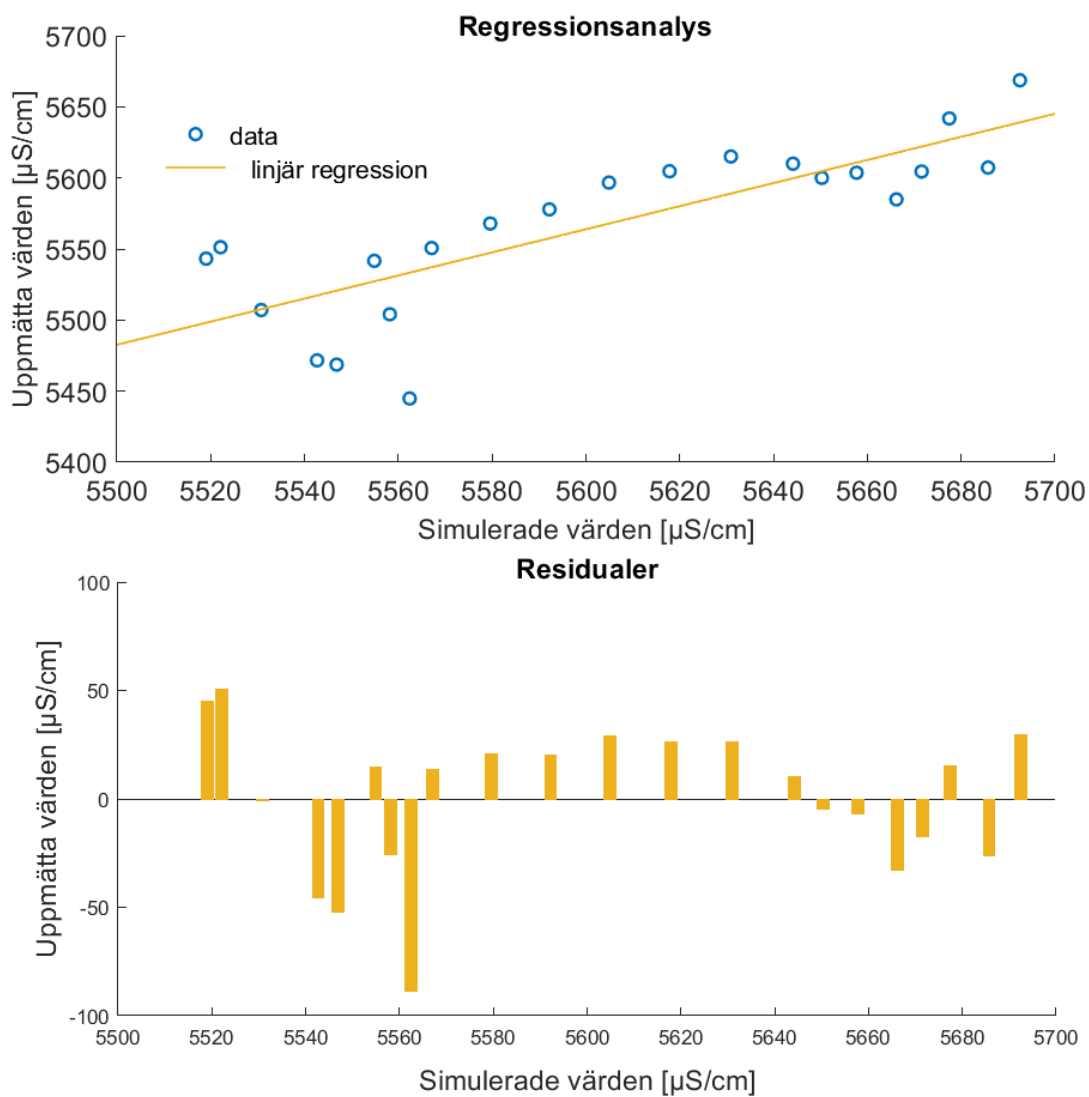
Konduktiviteterna för november jämföres i figur 32. De simulerade värdena följer till synes de uppmätta värdena relativt väl. Många av förändringarna mellan två dagar hos den uppmätta konduktiviteten återspeglas hos den simulerade.



Figur 32. Simulerad och uppmätt konduktivitet för ytskiktet, november månad.

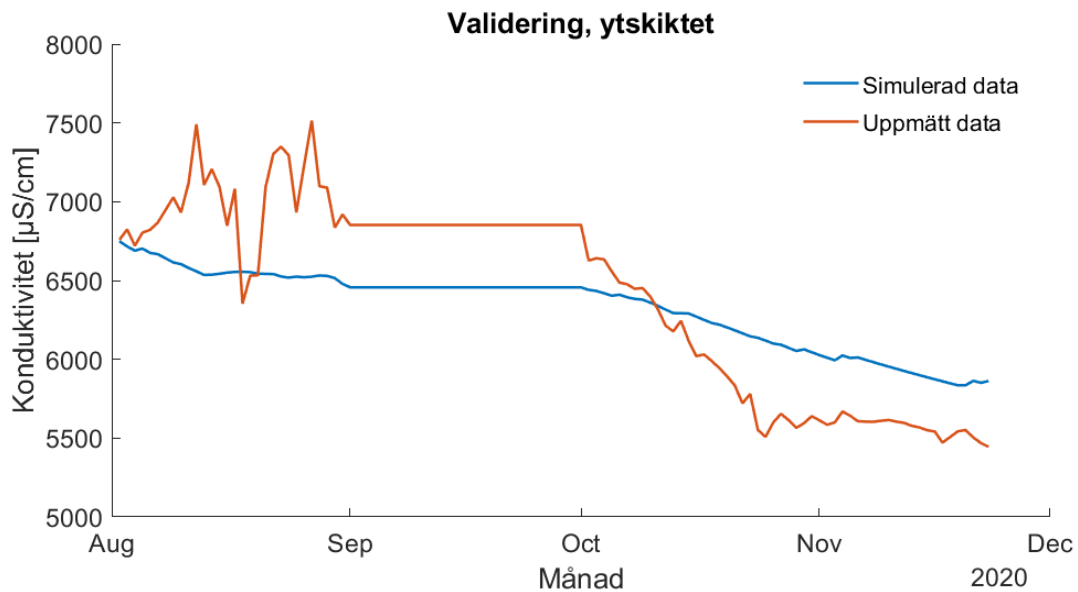


Valideringen av konduktiviteten för november visas i figur 33. Värdet för determinationskoefficienten på drygt 0,65 samt medelhöga residualerna anger en relativt hög passning.



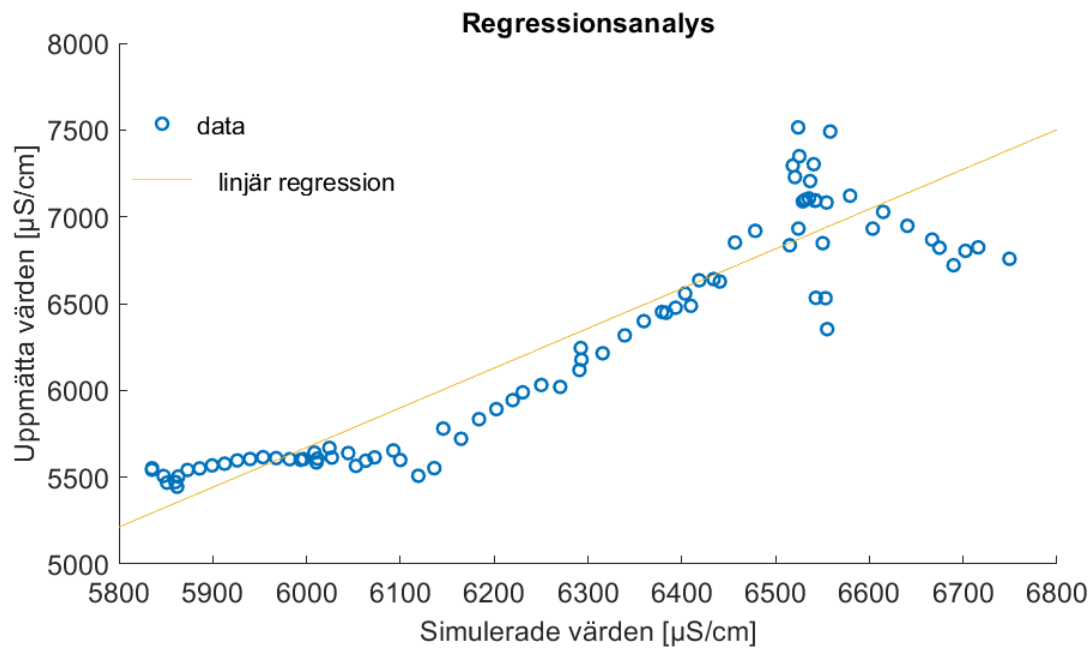
Figur 33. Simulerad mot uppmätt data för november, med linjär regressionslinje samt residualer. Determinationskoefficient av värdet 0,65.

En jämförelse mellan den simulerade och uppmätta konduktiviteten för ytskiktet under hela tidsperioden redovisas i figur 34. Det kan utläsas att förändringarna för simulerad data generellt är lägre än hos de uppmätta. Den uppmätta konduktiviteten varierar mellan 7500 och 5500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  medan den simulerade sträcker sig mellan 6700 och 5700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Figur 34. Simulerad och uppmätt konduktivitet för ytskiktet, hela tidsperioden.

Valideringen av konduktiviteten för hela tidsperioden visas i figur 35. En relativt god passning finns för de simulerade värdena under 6500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Vid värden högre än 6500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  blir passningen sämre. Inga residualer redovisas för denna validering p.g.a. den långa tidsperioden. Determinationskoefficienten uppgår till dryga 0,85. Det bör dock beaktas att data för september månad konstant var samma som sista värdet av föregående månad. Detta eftersom ingen simulerad data fanns för denna tidsperiod. Detta påverkar passningen.



Figur 35. Simulerad data mot uppmätt data för hela tidsperioden. samt residualer. Determinationskoefficient av värdet 0,85.

## 4 Diskussion

### 4.1 Resultat

#### 4.1.1 Ytskiktet

Resultatet i figur 19 påvisar att volymen av ytskiktet har varierat kraftigt under de studerade månaderna. Den största förändringen förekom i augusti månad då stora volymer vatten trängde upp i sjön genom dess utlopp men där volymen även påverkats av den tillrinning som förekom. För oktober höll sig volymen något mer stabil över månaden men stora variationer fanns mellan dagarna. Detta förklaras främst av ett varierande in- och utflöde genom utloppet men även generellt högre tillrinning. För november månad avtog tillrinningen successivt och flödet vid utloppet av sjön övergick till större delen till utflöde, vilket resulterade i att volymen av ytskiktet avtog under månadens gång.

Gällande den totala mängden salt i ytskiktet går det att i figur 20 se ett tydligt samband med den totala volymen i figur 19. Då det bräckta vattnet tränger upp i Dynestadsjön ökar mängden salt och då ytskiktets volym minskar genom utflöde minskar mängden. Att mängden salt avtar något snabbare än den totala volymen avtar för perioden oktober och november kan förklaras av att en viss del av den inkomna volymen är i form av tillrinning vilket innehåller en mycket låg mängd salt relativt vattnet i Gamlebyviken. Från resultatet kan det konstateras att massbalansen av salt, kväve och fosfor i Dynestadsjön påverkas kraftigt av det utbyte av vatten som sker vid sjöns utlopp.

Koncentrationen av salt i ytskiktet avtar generellt för de tre månaderna, vilket kan avläsas i figur 21. Detta kan förklaras av att tillrinningen innehåller en mycket låg koncentration salt jämfört med vattnet i Gamlebyviken och bidrar därför till en utspädning. Lutningen av kurvorna

kan förklaras av mängden tillrinningen. Oktober månad har den högsta tillrinningen och bidrar därmed med störst utspädning av saltkoncentrationen. Detta kan jämföras med november som har det lägsta dygnsmedelvärdet för tillrinningen, för denna period är kurvan mer flack.

De totala mängderna kväve och fosfor läsas ut i figur 22. Precis som för saltet tillkommer och försvinner de största mängderna kväve och fosfor av in- och utflödet genom Dynestadsjöns utlopp och förändringarna liknar därför den för volymen. Jämfört med den totala volymen avtar dock inte mängden kväve och fosfor lika snabbt under oktober och november. Detta beror av den ökade tillrinningen då denna innehåller höga halter av näringsämnen. Detta på grund av den markanvändning som finns inom avrinningsområdet vilket bidrar till att ytavrinningen för med sig kväve och fosfor. Under tidsperioden (borträknat september) har den totala tillrinningen uppgått till 488 172 m<sup>3</sup>, vilket motsvara ca 407 kg kväve och 20 kg fosfor. I figur 23 kan det utläsas att koncentrationen av kväve i ytskiktet har sjunkit under de simulerade månaderna, detsamma gäller koncentrationen fosfor som syns i figur 24. Den kraftiga minskningen för augusti månad kan förklaras av att det höga inflödet från Gamlebyviken innehåller en lägre andel kväve och fosfor, jämfört ytskiktet i Dynestadsjön, vilket bidrar till en utspädande effekt. För oktober är avtagandet av koncentrationen inte lika stort, vilket troligen är ett resultat av att in- och utflödet genom utloppet av sjön varit snarlika sett till volym samt att tillrinningen varit mycket kraftigare jämfört med augusti. Noterbart är att modellen ej tar hänsyn till den sedimentering som sker av saltet och näringsämnen, om så vore fallet skulle en viss mängd av främst fosfor i ytskiktet försvinna nedåt i sjön.

#### 4.1.2 Bottenskiktet

Gällande bottenskiktet är resultatet relativt okomplicerat då pumpningen är det enda aktuella flödet. Figur 25 - figur 27 visar hur de totala mängderna av salt, kväve och fosfor minskar under maj till och med augusti då pumpning pågått. De uttagna mängderna, som uppgår till nästan 86 000 m<sup>3</sup>, är direkt proportionella med de pumpade volymerna och koncentrationerna i skiktet förblir därför konstanta. Detta eftersom bottenskiktets volym inte är konstant utan minskar i takt med att uttag för bevattning sker. Även för detta skikt bör det beaktas att ingen sedimentation av salt, kväve eller fosfor sker. I det reella fallet sedimenterar salt och näringsämnen från resterande delar av sjön och ackumuleras i nedre skikt. Detta innebär att för bottenskiktet finns det ett tillflöde vilket ökar mängderna näringsämnen för skiktet, det fanns dock för lite kunskap om detta för att appliceras i modellen.

#### 4.1.3 Validering

För att validera modellen och dess resultat ritades de simulerade och uppmätta värdena månadsvis med varandra, även en linjär regression utfördes. I figur 28 kan den simulerade konduktiviteten jämföras mot den uppmätta för augusti månad. Det framgår tydligt att de simulerade värdena stämmer dåligt överens med den uppmätta konduktiviteten. De uppmätta, faktiska värdena, varierar kraftigt under månadens gång inom ett spann på ca 1200 µS/cm medan modellens simulerade värden förändras knappt 300 µS/cm. Från figur 29 kan det utläsas att regressionsanalysen visar höga värden för flertalet residualer samt en determinationskoefficient på drygt 0,11, vilket innebär att endast 11 % av förändringarna kan förklaras av modellen. Den låga passningen kan sannolikt förklaras av den låga upplösningen som finns i mätdata för in- och utflödet vid Dynestadsjöns utlopp för augusti. Gällande konduktivitet påverkas denna förutom av salthalt även av temperatur. Här tas ingen hänsyn till

temperaturen vid omvandling från salthalt till konduktivitet och därmed skapas en viss osäkerhet.

Valideringen för oktober månad visas i figur 30. Samma typ av mönster går att se där en dygnsvis ökning eller minskning av den uppmätta konduktiviteten återspeglas av den simulerade. Dock där förändringarna inte är lika kraftiga för den sistnämnda vilket resulterar i en märkbar förskjutning längs y-axeln. Som störst är denna förskjutning ca 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ett värde motsvarande drygt 10 % av den uppmätta konduktiviteten. Att beteendet för simulerad data matchar det hos den uppmätta kan bekräftas av regressionsanalysen i figur 31. Här avläses relativt låga residualer med värdet av determinationskoefficienten nära 0,96, vilket innebär att 96 % av förändringarna kan förklaras av modellen. Att simuleringen stämmer bättre överens med de faktiska värdena för oktober jämfört med augusti månad kan troligen förklaras av den fyrfaldigt högre upplösningen av mätdata för in- och utflödet vid Dynestadsjöns utlopp, d.v.s. att mätningarna utfördes en gång var femtonde minut istället för en gång i timmen, samt att dessa pågick i 120 sekunder istället för 60 sekunder. Kvaliteten av denna data var också generellt högre.

Valideringen för november månad avläses i figur 32. Även för denna period återspeglas förändringarna av uppmätt data till stor del av den simulerade. För flertalet tidssteg är värdena snarlika och skillnaden mellan graferna är som störst ca 1 % av den uppmätta konduktiviteten. Vid utvärderingen av regressionsanalysen i figur 33 kan det konstateras att residualerna är relativt jämna och inga större värden återfinns. Determinationskoefficienten avläses till drygt 0,65, vilket innebär att 65 % av förändringarna denna månad kan förklaras av modellen.

Valideringen för hela tidsperioden visas i figur 34. Till skillnad från de ovan nämnda valideringarna är denna skapad med endast ett begynnelsevärde för salthalten i augusti och ej för vardera månad. Figur 35 visar den linjära regressionen för den totala tidsperioden, med en determinationskoefficient på drygt 0,85. Något som försvårar utvärderingen av denna validering är att ingen data finns för september månad.

## 4.2 Effekter av pumpning och bevattning

År 2020 har totalt ca 85 815  $\text{m}^3$  vatten pumpats ur Dynestadsjöns bottenskikt. Från figur 25 kan det utläsas att detta bidragit med en minskning av mängden salt på ca 300 ton, vilket motsvarar ca 25 % av ursprungsmängden. Figur 26 och figur 27 visar att de uttagna mängderna kväve och fosfor är ca 900 kg respektive 120 kg, motsvarande ca 25 % vardera. Ett uttag på 25 % av ursprungsmängderna av näringsämnen är relativt höga siffror som visar att pumpningen av bottenskiktet givit resultat. Det bör dock beaktas att modellen inte tar hänsyn av sedimentation av ämnen eller skiktning. I ett verkligt scenario sker sedimentation av näringsämnen och en ackumulation av dessa uppstår nedåt i sjön. Därmed kommer mängderna, i framförallt bottenskiktet, att fyllas på och den relativa minskningen kommer inte att ske lika snabbt som det framgår i resultatet.

Att de tillförda mängderna av kväve och fosfor bidrar med en positiv effekt för grödorna är påvisat från tidigare studier. Det bör dock beaktas att stora mängder salt finns i bevattningsvattnet. Även om detta inte påverkar växterna vid bevattningen kan det indirekt få negativa konsekvenser för framtida skördar. Då saltet anrikas i markerna leder detta till en förhöjning av det osmotiska trycket i markvattnet (Kreuger & Håkansson 1986). Detta leder i

sin tur till att växterna får svårare att förse sig med vätskan vilket kan bidra till försämrade skördar (ibid.). Om de pågående klimatförändringarna i världen fortsätter tror man att Sverige kommer få kraftigare torrperioder (Naturvårdsverket 2020) (SMHI 2018). Vid intensiva torrperioder då infiltrationen av nederbörden är lägre än avdunstningen av markvattnet kan det anrikade saltet transporteras upp och koncentreras vid ytan (Nationalencyklopedin u.å.). Detta är en form av markförstöring vanligast i torra klimat men som även kan uppkomma i säsongstorra klimat (ibid.). Saltanrikning visar sig oftast i form av försämrade skördar, vid kraftiga saltanrikningar kan marken i värsta fall bli obrukbar (Colonna & Iannetta 2006).

### 4.3 Vad orsakar flödet genom Dynestadsjöns utlopp?

För att kunna förklara förändringen av massflödet i Dynestadsjön krävs bättre kunskap om vad in- och utflödet genom dess utlopp beror av. I figur 19 - 21 kan man utläsa att dygnsmedelvärdet för flödet ständigt skiftar mellan inflöde och utflöde. I figur 20 kan det tolkas att dygnsmedelvärdet av flödet byter riktning nästan dagligen. Att detta skulle förklaras av fenomenet sjösprång är inte sannolikt. Detta eftersom det inträffar alltför ofta och ekvationen som ska uppfyllas är alltför komplex. Att flödet mer eller mindre styrs av variationer i vind och är mer troligt. De periodiska skiftningarna kan liknas med fenomenet vattenpendling beskrivet i avsnitt 1.1.5. Kraftiga vindar på Östersjön sätter vattnet i gungning och stående vågor kan troligen transporteras genom Gamlebyviken upp till Dynestadsjön. Förutsättningarna för vattenpendling beror bortsett från vinden även på områdets djup och längd. Gamlebyvikens relativt långa och djupa utbredning med mynning mot Östersjön är tänkbart lämpliga egenskaper för att vattenpendling ska vara möjligt.

I avsnitt 1.5.3 redovisades hur variationer i lufttrycket påverkar vattenståndet. Då lufttrycket förändras 1 hPa orsakar detta en ändring av vattennivån med 1 cm. Ett lågtryck ger högre vattennivåer och ett högtryck ger lägre vattennivåer. För augusti månad var skillnaden mellan högsta och lägsta lufttrycket ca 27 hPa. För oktober och november (fram till den 22:a) var tryckskillnaderna 35,1 hPa respektive 41 hPa. I teorin betyder detta att vattenståndet varierat 27 till 41 cm under de tre månaderna. Eftersom Dynestadsjön är belägen endast 40 cm över havet är det troligt att även lufttrycket påverkar in- och utflödet vid dess utlopp. Lufttrycken är uppmätta vid orten Horn drygt 34 kilometer väster om Dynestadsjön. Mätningarna är utförda av SMHI och finns publicerade i SMHI:s öppna data (SMHI 2020b).

### 4.4 Felkällor och osäkerheter

I denna del diskuteras några av de tänkbara felkällor som funnits under arbetets gång, och som därmed kunnat påverka resultatet.

#### 4.4.1 Flödesmätningar

Vid mätningen av flödet med SonTek-IQ Plus finns ett flertal parametrar som kan påverka mätdata. Beräkningarna av flödet bygger på att tvärsnittet av vattendraget är i form av en trapetsoid där inga större avvikelser av formen förekommer och att strömningen av vattnet är snarlika flertalet metrar både uppströms och nedströms. Tvärsnittet är uppskattat till en trapetsoid och geometrin förändras till viss del både uppströms och nedströms provtagningsplatsen. Vid platsbesök har det även konstaterats att ytvattnet vid vissa tillfällen flödar i olika riktningar för samma tvärsnitt och tidpunkt. Detta bidrar med turbulens vilket kan

försvåra mätningarna. Vid mätplatsen har det även noterats flertalet förbipasserande båtar. Om en mätning skulle pågå under eller strax efter förbifart av en båt skulle flödet och därmed mätningen påverkas märkbart. Även upplösningen vid insamlingen av denna data spelar stor roll. Från resultatet kunde det konstateras att simuleringar av konduktiviteten baserade på data insamlad i oktober och november i högre grad kunde förklaras av modellen.

#### 4.4.2 Indata till modellen

Indata till modellen i form av tidsserier för tillrinningen och dess innehåll av näringsämnen har en viss osäkerhet. Flödet och dess innehåll av salt, kväve och fosfor är ej direkt uppmätt utan endast en uppskattning framtagen genom simuleringar baserade på bland annat nederbörd och avrinningsområdets utformning. Detsamma gäller halter av havssalt och näringsämnen i Gamlebyviken. Dessa värden är grovt uppskattade och kan vara både högre och lägre i verkligheten.

De konduktivetsmätare vars data använts till begynnelsevärden samt validering av modellen finns placerade på en flotte i Dynestadsjön. Under flotten finns ett stag där mätarna är placerade på tidigare angivna djup uppmätta från ytan. Ett problem med detta är att då volymen av ytskiktet ökar eller minskar förändras nivån av vattenytan, vilket innebär en förändring i förhållandet mellan ytskiktet och bottenskiktet. Detta kan resultera i att eventuella framtida valideringar av bottenskiktet kan komma att påverkas negativt.

### 4.5 Vidare studier

#### 4.5.1 Utveckling av modellen

För att göra modellen mer verklighetstrogen bör mellanskikten i modellen utnyttjas, dessa skikt behandlar i nuläget inget flöde men skulle kunna användas för att utveckla modellen. En sådan utveckling skulle kunna vara att implementera ett utbyte av volymer och dess näringsämnen mellan de olika skikten, till exempel för att efterlikna en sedimentering eller skiktning. Dessa skikt skulle också kunna användas om djupet för pumpningen förändras.

För att få så korrekta resultat som möjligt av modellen är det viktigt att begynnelsevärden och andra parametrar som används är av rätt storlek. Ett exempel på sådana betydelsefulla värden är andelen salt, kväve och fosfor i Gamlebyviken. Då utbytet av vatten genom Dynestadsjöns utlopp utgör en betydande faktor i sjöns massbalans är det av stor vikt att dessa värden stämmer överens med verkligheten. Om intresset finns att utnyttja modellen i framtiden bör därför en del av de framtida studierna vara att mer exakt bestämma värdet för de olika parametrarna som används.

#### 4.5.2 Utredning om pumpningens effekt

I avsnitt 4.4.2 diskuterades effekterna av den pågående bevattningen och ett eventuellt framtida problem gällande anrikning av salt i åkermarkerna. För att klargöra om saltet anrikas i marken eller inte, och huruvida detta kan komma att påverka framtida skördar negativt, bör en utredning kring detta utföras. Eftersom en långt gången anrikning av salt kan göra åkermarkerna obrukbara är det viktigt att en sådan utredning utförs i tid.

## 5 Slutsats

Det kan konstateras att in- och utflödet genom Dynestadsjöns utlopp utgör den mest betydelsefulla delen av sjöns massbalans. Flödet till och från sjön varierar ständigt och därmed även ytskiktets andel av salt, kväve och fosfor vars mängder till stor del följer samma mönster som skiktets volym. De återkommande variationerna av in- och utflöde i Dynestadsjöns utlopp förmodas dels orsakas av vattenpendling med stående vågor som en konsekvens av kraftiga vindar utanför kusten, samt variationer av lufttrycket som påverkar vattenståndet. Tillrinningen bidrar med en märkbar mängd kväve och fosfor till Dynestadsjön, detta då markanvändningen i området till största del består av jord- och skogsbruk. Då tillrinningen innehåller mycket låg salthalt jämfört med sjöns ytskikt fungerar detta flöde som en utspädande faktor vilket bidrar till att andelen salt i skiktet reduceras. De uttagna volymerna ur bottenskiktet har medfört att de ursprungliga mängderna näringsämnen minskat med cirka 25%. Hur stora mängder som tillkommit genom sedimentation och skiktning är dock oklart, detta är något som lämnas till framtida studier.



# Referenser

- Alamaa, H. (2017). Så uppstår sjösprång. *SVT Nyheter*.  
<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/sa-uppstar-sjosprang> [2021-01-19]
- BalticSea2020 (u.å.). *Östersjöns utmaningar*. <http://balticsea2020.org/se/oestersjoens-utmaningar> [2020-09-15]
- Brandin, H. (2009). *Kollaps i Dynestadsjön – Västerviks-Tidningen*.  
<https://vt.se/nyheter/kollaps-i-dynestadsjon-5129454.aspx> [2020-09-28]
- Colonna, N. & Iannetta, M. (2006). *Salinisation*.
- Corwin, D. & Yemoto, K. (2017). Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. *Methods of Soil Analysis*. <https://doi.org/10.2136/msa2015.0039>
- Havet.nu (2019). *Miljötilståndet i Egentliga Östersjön | Havet.nu*.  
<https://www.havet.nu/miljotillstandet-i-egentliga-ostersjon-> [2021-01-19]
- IISD (2018). How and Why Lakes Stratify and Turn Over: We explain the science behind the phenomena – IISD Experimental Lakes Area.  
<https://www.iisd.org/ela/blog/commentary/lakes-stratify-turn-explain-science-behind-phenomena/> [2021-01-19]
- Jones, I. (2014). SonTek IQ Plus Velocity Index Discharge Compared to Historical Stage Discharge Curve. *AGU Fall Meeting Abstracts*, 11, H11G-0945
- Kreuger, J. & Håkansson, A. (1986). *Kemisk vattenkvalitet vid bevattning: Chemical quality of irrigation water*. Uppsala.
- Nationalencyklopedin (u.å.). *saltanrikning - Uppslagsverk - NE.se*. <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/saltanrikning> [2021-01-21]
- Naturskyddsföreningen (2018). *Faktablad: Östersjön. Naturskyddsföreningen*.  
<https://www.naturskyddsforeningen.se/skola/naturnytta/faktablad-ostersjon> [2020-09-15]
- Naturvårdsverket (2020). *Klimatet i framtiden. Naturvårdsverket*. [text].  
<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Klimatet-i-framtiden/> [2021-01-21]
- Nielsen, C. (2013). *Sjön i Dynestad har vänt igen – Västerviks-Tidningen*.  
<https://vt.se/nyheter/sjon-i-dynestad-har-vant-igen-7169919.aspx> [2020-09-28]
- NSW Government - Department of Primary Industries (2017). *How salinity is measured*.  
<https://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/soils/salinity/general-information/measuring> [2021-01-19]
- Riksdagsförvaltningen (2004). *Vattenförvaltningsförordning (2004:660) Svensk författningssamling 2004:2004:660 t.o.m. SFS 2018:2103 - Riksdagen*.  
[https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/vattenforvaltningsforordning-2004660\\_sfs-2004-660](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/vattenforvaltningsforordning-2004660_sfs-2004-660) [2021-01-18]
- Sea Grant Michigan (u.å.). Dissolved Oxygen and Lake Stratification | Teaching Great Lakes Science. <https://www.michiganseagrant.org/lessons/lessons/by-broad-concept/physical-science/dissolved-oxygen-and-lake-stratification/> [2021-01-19]
- Skolvision (u.å.). *Skolvision Människa och miljö*.  
<https://www.skolvision.se/DelLimnologi/Lakeseasons.html> [2020-09-09]
- SMHI (2017). *HYPE | SMHI*. <https://www.smhi.se/forskning/forskningsenheter/hydrologisk-forskning/hype-1.557> [2021-01-06]
- SMHI (2018). *Torka | SMHI*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/torka-1.111075> [2021-01-21]
- SMHI (2019). *Vattenbalans*. <https://www.smhi.se/data/hydrologi/vattenbalans> [2020-08-23]
- SMHI (2020a). *Havsvattenstånd | SMHI*.  
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vattenstand-i-havet/havsvattenstand-1.3090> [2020-09-15]

- SMHI (2020b). *Ladda ner meteorologiska observationer | SMHI*.  
<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airPressure,stations=all,stationid=75520> [2021-01-21]
- SMHI (2020c). *Lufttryck och havsvattenstånd | SMHI*.  
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vattenstand-i-havet/lufttryck-och-havsvattenstand-1.3096> [2020-09-16]
- SMHI (2020d). *Sjösprång | SMHI*.  
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vagor/sjosprang-1.4200> [2020-09-15]
- SMHI (2020e). *Tidvatten | SMHI*.  
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vagor/tidvatten-1.321> [2020-09-15]
- SMHI (2020f). *Vattenpendling | SMHI*.  
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vattenpendling-1.3087> [2020-09-15]
- SMHI (2020g). *Vindvågor | SMHI*.  
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vagor/vindvagor-1.1748> [2020-09-16]
- SonTek (u.å.). *Flow monitoring in canals, culverts, pipes, and natural streams*.  
<https://www.sontek.com/sontek-iq-series> [2020-08-26]
- Steiger, M., Safford, A., Erler, T. & Montgomery-Brown, J. (2010). A Mass Balance Approach to Evaluate Salinity Sources in the Turlock Groundwater Sub-basin
- Vattenmyndigheterna (u.å.). *Södra Östersjön*. [text].  
<https://www.vattenmyndigheterna.se/om-vattenmyndigheterna/vattendistrikt-i-sverige/sodra-ostersjon.html> [2021-01-18]
- Viby Teknik (2020). *Viby Teknik – Raindancer*. <http://vibyteknik.se/raindancer/> [2021-02-06]
- VISS (u.å. b). *Inre Gamlebyviken VISS-Vatteninformationssystem Sverige*.  
<http://viss.lansstyrelsen.se> [2020-08-24]
- VISS (u.å. c). *Omblandning/skiktning*. [text]. <http://extra.lansstyrelsen.se:80/viss/Sv/detta-beskrivs-i-viss/typindelning/kust--och-overgangsvatten/Pages/omblandning-skiktning.aspx> [2020-09-09]
- VISS (u.å. d). *Salinitet*. [text]. <http://extra.lansstyrelsen.se:80/viss/Sv/detta-beskrivs-i-viss/typindelning/kust--och-overgangsvatten/Pages/salinitet.aspx> [2020-09-09]
- VISS (u.å. a). *VISS-Vatteninformationssystem Sverige*. <http://viss.lansstyrelsen.se> [2020-09-16]
- Västervik kommun (2011a). Förstudie - "Havsmiljö Gamlebyviken - Åtgärdsgenomförande i samverkan"
- Västervik kommun (2011b). *Havsmiljö Gamlebyviken - åtgärdsgenomförande i samverkan*
- Västervik kommun & Västervik miljö & Energi AB (2013). *Övergödningen som en resurs - Genomförande av åtgärder för minskat läckage av näringsämnen från Dynestadsjön till Gamlebyviken*
- Västerviks kommun & Västervik miljö & Energi AB (2013). *Övergödningen som en resurs*
- Wang, Z.A., Kroeger, K.D., Ganju, N.K., Gonneea, M.E. & Chu, S.N. (2016). Intertidal salt marshes as an important source of inorganic carbon to the coastal ocean. *Limnology and Oceanography*, 61 (5), 1916–1931. <https://doi.org/10.1002/lno.10347>
- Woods Hole Oceanographic Institution (u.å.). *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) - Woods Hole Oceanographic Institution*. <https://www.whoi.edu/>.  
<https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/instruments/instruments-sensors-samplers/acoustic-doppler-current-profiler-adcp/> [2021-01-22]

# Bilagor

## Bilaga A

```
%%
% laddar in data från excelfiler med xlsread('')
% skapar och anger värden för variabler som används i simulink
% Omvandlar sedan datan till tidsserier m.h.a. timeseries().
% Kallar på och kör simulink-modellen med indata från .m.scriptet
% Resultatet sparas i MATLABs arbetsyta
% Ritar utvalda data i grafer

%% Inladdning av och skapandet av indata

Tillrinning = xlsread('Tillrinningtot.xlsx'); %ange den tidsserie
som representerar tillrinningen
GamlebyIN   = xlsread('GamlebyINTot.xlsx'); %ange den tidsserie
som representerar inflödet från viken
GamlebyUT   = xlsread('GamlebyUTTtot.xlsx'); %ange den tidsserie
som representerar utflödet till viken
Bevattning = xlsread('Bevattning_tot.xlsx'); %ange den tidsserie
som representerar bevattningen

Volym_Ytskikt           = zeros(length(Tillrinning),1);
Volym_Ytskikt(1)       = 1404500; %[m3] ange beg.värde
för ytskiktets volym
Vyt                     = Volym_Ytskikt(1);

Volym_Bottenskikt      = zeros(length(Tillrinning),1);
Volym_Bottenskikt(1)  = 341800; %[m3] ange beg.värde
för bottenskiktets volym
Vbotten                = Volym_Bottenskikt(1);

NP_Tillrinning         = [833,42];

NP_Gamlebyviken        = [600,30]; %ange värde för N och
P i Gamlebyviken

NP_Begynnelse_Ytskikt = zeros(length(Tillrinning),2);
NP_Begynnelse_Ytskikt(1,1) = 830; %[mg/m3] ange beg.värde
för N i ytskikt
NP_Begynnelse_Ytskikt(1,2) = 67; %[mg/m3] ange beg.värde för
P i ytskikt
NPyt                   = [0,0];
NPyt(1,1)              = NP_Begynnelse_Ytskikt(1,1);
NPyt(1,2)              = NP_Begynnelse_Ytskikt(1,2);

NP_Begynnelse_Mellanskikt1 = zeros(length(Tillrinning),2);
NP_Begynnelse_Mellanskikt1(1,1) = 995; %[mg/m3] ange beg.värde
för N
NP_Begynnelse_Mellanskikt1(1,2) = 150; %[mg/m3] ange beg.värde
för P
```

```

NP_Begynnelset_Mellanskikt2 = zeros(length(Tillrinning),2);
NP_Begynnelset_Mellanskikt2(1,1) = 1510; %[mg/m3] ange beg.värde
för N
NP_Begynnelset_Mellanskikt2(1,2) = 210; %[mg/m3] ange beg.värde för
P

NP_Begynnelset_Mellanskikt3 = zeros(length(Tillrinning),2);
NP_Begynnelset_Mellanskikt3(1,1) = 5150; %[mg/m3] ange beg.värde
för N
NP_Begynnelset_Mellanskikt3(1,2) = 740; %[mg/m3] ange beg.värde
för P

NP_Begynnelset_Mellanskikt4 = zeros(length(Tillrinning),2);
NP_Begynnelset_Mellanskikt4(1,1) = 7400; %[mg/m3] ange beg.värde
för N
NP_Begynnelset_Mellanskikt4(1,2) = 1010; %[mg/m3] ange beg.värde
för P

NP_Begynnelset_Botten = zeros(length(Tillrinning),2);
NP_Begynnelset_Botten(1,1) = 10150; %[mg/m3] ange beg.värde
för N i bottenskiktet
NP_Begynnelset_Botten(1,2) = 1425; %[mg/m3] ange beg.värde
för P i bottenskiktet
NPbotten = [0,0];
NPbotten(1,1) = NP_Begynnelset_Botten(1,1);
NPbotten(1,2) = NP_Begynnelset_Botten(1,2);

Salt_Tillrinning = [100]; %[g/m3] ange salthalt i
tillrinningsvattnet

Salt_Gamlebyviken = [4800]; %[g/m3] ange salthalt i
Gamlebyviken

Salt_Uppmatt_Ytskikt = zeros(length(Tillrinning),1);
Salt_Uppmatt_Ytskikt(1) = 4324; %4300[g/m3] ange beg.värde
för andel salt i ytskiktet
SALTyt = Salt_Uppmatt_Ytskikt(1);

Salt_Begynnelset_Mellanskikt1 = zeros(length(Tillrinning),1);
Salt_Begynnelset_Mellanskikt1(1) = 4324; %[g/m3] ange beg.värde för

Salt_Begynnelset_Mellanskikt2 = zeros(length(Tillrinning),1);
Salt_Begynnelset_Mellanskikt2(1) = 3251; %[g/m3] ange beg.värde för

Salt_Begynnelset_Mellanskikt3 = zeros(length(Tillrinning),1);
Salt_Begynnelset_Mellanskikt3(1) = 3366; %[g/m3] ange beg.värde för

Salt_Begynnelset_Mellanskikt4 = zeros(length(Tillrinning),1);
Salt_Begynnelset_Mellanskikt4(1) = 3470; %[g/m3] ange beg.värde för

Salt_Uppmatt_Bottenskikt = zeros(length(Tillrinning),1);
Salt_Uppmatt_Bottenskikt(1) = 3490; %[g/m3] ange beg.värdeför
andel salt i bottenskiktet
SALTbotten = Salt_Uppmatt_Bottenskikt(1);

%% Skapandet av tidsserier

```

```

ts_Tillrinning          = timeseries(Tillrinning);
ts_Bevattning           = timeseries(Bevattning);
ts_GamlebyIN            = timeseries(GamlebyIN);
ts_GamlebyUT            = timeseries(GamlebyUT);

ts_Volym_Ytskikt        = timeseries(Volym_Ytskikt);
ts_Volym_Bottenskikt    = timeseries(Volym_Bottenskikt);

ts_NP_Tillrinning       = timeseries(NP_Tillrinning);
ts_NP_Begynnelse_Ytskikt = timeseries(NP_Begynnelse_Ytskikt);
ts_NP_Begynnelse_Mellanskikt1 =
timeseries(NP_Begynnelse_Mellanskikt1);
ts_NP_Begynnelse_Mellanskikt2 =
timeseries(NP_Begynnelse_Mellanskikt2);
ts_NP_Begynnelse_Mellanskikt3 =
timeseries(NP_Begynnelse_Mellanskikt3);
ts_NP_Begynnelse_Mellanskikt4 =
timeseries(NP_Begynnelse_Mellanskikt4);
ts_NP_Begynnelse_Botten = timeseries(NP_Begynnelse_Botten);

ts_Salt_Tillrinning     = timeseries(Salt_Tillrinning);
ts_Salt_Uppmatt_Ytskikt = timeseries(Salt_Uppmatt_Ytskikt);
ts_Salt_Begynnelse_Mellanskikt1 =
timeseries(Salt_Begynnelse_Mellanskikt1);
ts_Salt_Begynnelse_Mellanskikt2 =
timeseries(Salt_Begynnelse_Mellanskikt2);
ts_Salt_Begynnelse_Mellanskikt3 =
timeseries(Salt_Begynnelse_Mellanskikt3);
ts_Salt_Begynnelse_Mellanskikt4 =
timeseries(Salt_Begynnelse_Mellanskikt4);
ts_Salt_Uppmatt_Bottenskikt =
timeseries(Salt_Uppmatt_Bottenskikt);

%% Simulering

StopTime = length(Tillrinning)-1;
set_param('simulink_20201204', 'StopTime', 'StopTime')
sim('simulink_20201204');

%% Grafer

datum = datetime(2020,08,01) + days(1:114);

% plot volymer ytskikt
figure(1)
hold on
plot(datum,ans.Volym_Ytskikt_UT,'linewidth',1.5)
set(gca,'fontsize',14)
title('Volym, ytskikt')
xlabel(' Månad ') % Namn på x-axeln
ylabel(' Volym [m^3] ') % Namn på y-axeln
hold off

% plot salt koncentration ytskikt
figure(2)
hold on

```

```

plot(datum, ((ans.Salt_Ytskikt_UT)/1000)./ans.Volym_Ytskikt_UT), 'lin
ewidth',1.5)
set(gca, 'fontsize',14)
title('Koncentration salt, ytskikt')
xlabel(' Månad ') % Namn på x-axeln
ylabel(' Koncentration [kg/m^3] ') % Namn på y-axeln
%ax = gca;
%ax.YAxis.Exponent = 3;
hold off

% plot mängd salt ytskikt
figure(3)
hold on
plot(datum, ((ans.Salt_Ytskikt_UT)./1000000), 'linewidth',1.5)
set(gca, 'fontsize',14)
title('Mängd salt, ytskikt')
xlabel(' Månad ') % Namn på x-axeln
ylabel(' Total mängd [Ton] ') % Namn på y-axeln
%ax = gca;
%ax.YAxis.Exponent = 3;
hold off

% plot NP koncentration Ytskikt
figure(4)
hold on
plot(datum, ((ans.NP_Ytskikt_UT/1000)./ans.Volym_Ytskikt_UT), 'linewid
th',1.5)
set(gca, 'fontsize',14)
title('Koncentration kväve och fosfor, ytskiktet')
xlabel(' Månad ') % Namn på x-axeln
ylabel(' Koncentration [g/m^3] ') % Namn på y-axeln
legend('Kväve', 'Fosfor', 'Location', 'east')
legend({}, 'FontSize',15)
%ax = gca;
%ax.YAxis.Exponent = 4;
hold off

% plot mängd NP Ytskikt
figure(5)
hold on
plot(datum, (ans.NP_Ytskikt_UT/1000), 'linewidth',1.5)
set(gca, 'fontsize',14)
title('Mängd kväve och fosfor, ytskiktet')
xlabel(' Månad ') % Namn på x-axeln
ylabel(' Total mängd [kg] ') % Namn på y-axeln
legend('Kväve', 'Fosfor', 'Location', 'east')
legend({}, 'FontSize',15)
%ax = gca;
%ax.YAxis.Exponent = 4;
hold off

% plot konduktivitet ytskikt
Valtot = xlsread('Valtot.xlsx');

figure(6)
hold on

```

```

plot(datum, (ans.Salt_Ytskikt_UT./ans.Volym_Ytskikt_UT)*(1000/640), 'l
inewidth',1.5)
plot(datum,Valtot, 'linewidth',1.5); % välj fil för att jämföra
konduktivitet med
set(gca, 'fontsize',14)
title('Validering, ytskikt')
xlabel(' Månad ') % Namn på x-axeln
ylabel(' Konduktivitet [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] ') % Namn på y-axeln
% legend('Simulerade värden','Uppmätta värden','Location','east')
% legend({}, 'FontSize',15)
%ax = gca;
%ax.YAxis.Exponent = 3;
hold off

SimKontot = [(ans.Salt_Ytskikt_UT./ans.Volym_Ytskikt_UT)*1000/640];

%plot
figure(7)
hold on
set(gca, 'fontsize',14)
title('Validering')
xlabel(' Simulerade värden [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] ') % Namn på x-axeln
ylabel(' Uppmätta värden [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] ') % Namn på y-axeln
R = corrcoef(SimKontot,Valtot);
R_squared = R(2)^2;
scatter(SimKontot,Valtot, 'linewidth',1.5)
text(6640, 7520, ['R^2 = '
num2str(R_squared)], 'Color','r', 'FontSize',16)
hold off

%plot bottenskikt mängd salt
datum = datetime(2020,05,01) + days(1:123);
figure(8)
hold on
plot(datum, (ans.Salt_Bottenskikt_UT)/1000000, 'linewidth',1.5)
set(gca, 'fontsize',14)
title('Mängd salt, bottenskiktet')
xlabel(' Dag [nr.] ') % Namn på x-axeln
datetick('x', 'yyyy-mm-dd')
ylabel(' Total mängd [Ton] ') % Namn på y-axeln
%ax = gca;
%ax.YAxis.Exponent = 4;
%hold off

%plot bottenskikt volym
figure(9)
hold on
plot(datum,ans.Volym_Bottenskikt_UT, 'linewidth',1.5)
set(gca, 'fontsize',14)
title('Volym, bottenskiktet')
xlabel(' Månad ') % Namn på x-axeln
datetick('x', 'yyyy-mm-dd')
ylabel(' Volym [ $\text{m}^3$ ] ') % Namn på y-axeln
%ax = gca;
%ax.YAxis.Exponent = 4;
%hold off

```

```
%plot bottenskikt mängd NP
figure(10)
hold on
plot(datum, (ans.NP_Bottenskikt_UT)/1000000, 'linewidth', 1.5)
set(gca, 'fontsize', 14)
title('Mängd kväve och fosfor, bottenskiktet')
xlabel(' Månad ') % Namn på x-axeln
ylabel(' Total mängd [kg] ') % Namn på y-axeln
%ax = gca;
%ax.YAxis.Exponent = 4;
%hold off
```