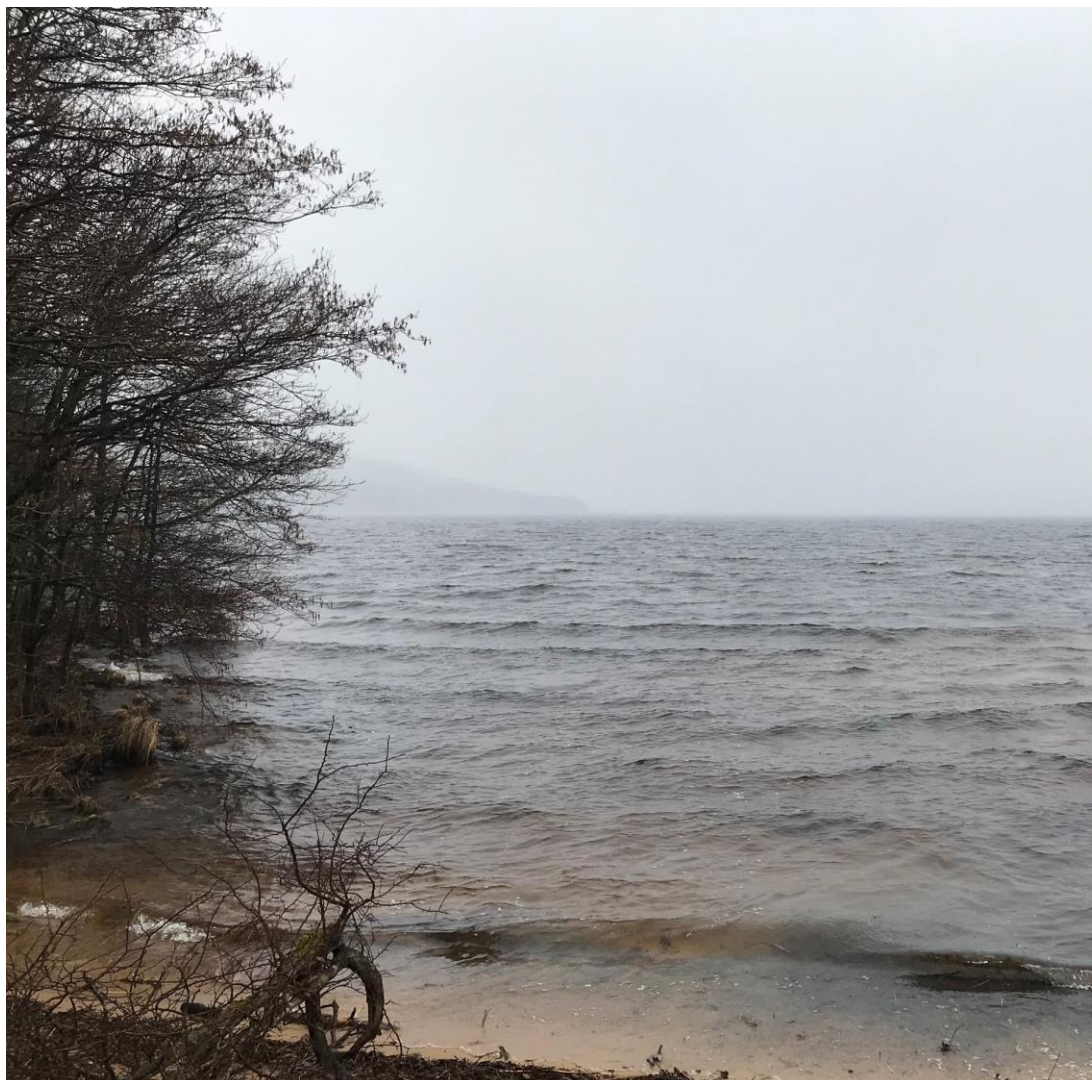


RAPPORT

**FÖRDJUPAD ANALYS AV MIKROBIOLOGISK
PÅVERKAN VID AVLOPPSUTSLÄPP TILL LYGNERN**



REV.
2024-12-06

UPPDRAG 347553, Fördjupad riskmodell avloppsutsläpp Lygnern (fortsättning på uppdragen 314222 och 332691)

Titel på rapport: Fördjupad analys av mikrobiologisk påverkan vid avloppsutsläpp till Lygnern

Status: Slutrapport, revidering nr. 3

Datum: 2024-12-06

MEDVERKANDE

Beställare: Skanska Sverige AB
Kontaktperson: Oscar Svensson

Konsult: Tyréns AB
Uppdragsansvarig: Johan Åström
Handläggare: Johan Åström
Kvalitetsgranskare: Anna Karlsson

Framsidesfoto: Lygnern, Johan Åström 2019-03-21

SAMMANFATTNING

Marks kommun har anlagt överföringsledningar genom kommunen för att kunna ta Sätila avloppsreningsverk ur drift och minska utsläppen till Lygnern. I projektet ingår att ansluta de två omvandlingsområdena Flohult och Dyrenäs till kommunalt vatten och avlopp. Huvudalternativet är att förlägga vatten- och avloppsledningar på botten av sjön. Ett läckage eller ett brott på en sjöförlagd ledning skulle innebära spridning av orenat avloppsvatten ut till Lygnern. Marks kommun har inte ansvaret att värdera de mikrobiologiska barriärerna på andra kommuners vattenverk, däremot att enligt Miljöbalken visa vad utsläppen kan få för konsekvenser på vattenkvaliteten. Syftet med denna utredning har varit att med en matematisk beräkningsmodell visa den mikrobiologiska påverkan från avloppsutsläpp till Lygnern, dels utifrån hur systemet tidigare såg ut, dels så som det nu ser ut efter ombyggnation och dels om sjöledningar läggs för att ansluta Flohult och Dyrenäs. Rapporten ger även underlag för att utföra mikrobiologiskt riskreducerande åtgärder för det alternativ som väljs.

Den mikrobiologiska spridningen och vilka halter i Lygnern denna kan resultera i beräknades för åtta olika scenarier. Dessa beskriver utsläpp från avloppssystemet innan ombyggnation (scenario S0), dagens system där reningsverket i Sätila avvecklats (S1), med sjöledning utan utsläpp (S2), med läckage på en sjöledning (S3 och S5), med ledningsbrott på en sjöledning (S4 och S6) samt med nödräddning från nya pumpstationer i Dyrenäs (S7). Modellen sattes upp för indikatorbakterien *E. coli* och för patogenerna norovirus, *Campylobacter* och *Cryptosporidium*. Antaganden i modellen inbegriper lokala utsläppsvolymer och utsläppsfrekvens, därtill sjukdomsstatistik och litteraturvärden för beräkning av halter som kan utsöndras och spridas från människor. Tre olika driftlägen modellerades: normalflöde, bräddning och nödräddning.

Modellen visar att ombyggnationen av avloppssystemet radikalt har minskat de mikrobiologiska halter som kan uppstå i Lygnern. Avvecklingen av Sätila reningsverk med tillhörande bräddpunkt har därmed tydligt minskat den mikrobiologiska risken med Lygnern som råvattentäkt för dricksvattenproduktion. Vid fungerande normal drift väntas inga mikrobiologiska utsläpp från det nya avloppssystemet, efter att hushållen i Dyrenäs och Flohult som ännu har enskilda avlopp har anslutits. Sker nödräddning skulle halterna i sjövattnet öka, men ändå vara lägre än innan ombyggnationen. Inträffar läckage eller ledningsbrott (haveri) på nya sjöledningarna från Dyrenäs respektive Flohult, skulle dess konsekvenser på mikrobiologiska halter i Lygnern vara likartad med vad vanlig bräddning kan åstadkomma.

Marks kommun har gjort en översyn av dimensioneringen på den tilltänkta sjöledningen i Lygnern. För att klara av Dyrenäs befintliga och tillkommande bebyggelse fordras ledningsdimensionen 225 mm (PE225). Olika ledningsdimensioner (PE125 eller PE225) skulle inte innebära någon skillnad i utsläpp vid normala driftscenarier. Valet av ledningsdimension gör en skillnad vid brott på sjöledningen från Dyrenäs (S4), eftersom en större volym av avloppsvatten skulle spridas ut från en grövre ledning.

Vilka patogenhalter som till följd av avloppsutsläpp från Marks kommun kan nå befintligt eller framtida råvattenintag styrs av olika parametrar, och målsättningen med modellen har varit att ta hänsyn till relevanta samband. Effekten av de viktigaste scenarierna, olika driftlägen, utspädningsgrad och transporttid i Lygnern visas i diagram i rapporten. Ombyggnationen av avloppssystemet har åstadkommit en minskning av patogenhalter i sjön, till gagn för befintligt råvatten såväl som för framtida intagspunkter. Ännu större minskning uppnås om de enskilda avloppen ersätts med sjöledning utan utsläpp, då detta helt skulle ta bort patogenspridningen till Lygnern under normalflöde (S2). Ett ledningsbrott är en engångshändelse, medan spridning från de enskilda avloppen pågår kontinuerligt. Modelleringen visar även att ett läckage på ledningen skulle få mindre påverkan än nuvarande scenario med

enskilda avlopp, även om antalet hushåll i Dyrenäs ökar till 100. Läckage och ledningsbrott på planerade sjöledning är händelser med mycket låg sannolikhet. Även om ett ledningsbrott skulle inträffa på ledningen från Dyrenäs (S4), samtidigt som det bräddar från övriga punkter, skulle halterna inte bli högre jämfört med nuvarande system (S2) med enskilda avlopp i Dyrenäs och Flohult.

Ombyggnationen av avloppssystemet har gett klara förbättringar i form av minskade utsläpp av mikroorganismer till Lygnern. Ännu större förbättringar skulle åstadkommas om de enskilda avloppen i Dyrenäs och Flohult anslöts till det kommunala systemet. När dessutom sannolikheten för utsläpp i dagens system är låg, så blir den totala risken för negativ hälsopåverkan via råvattnet mycket låg jämfört med avloppssystemet innan ombyggnation. För att undvika nödbräddning byggs pumpstationerna med en extra stor magasinvolym. Åtgärder kommer även att vidtas för att detektera läckor och undvika utsläpp vid brott på sjöledning.

ORDLISTA MED NÅGRA VIKTIGA BEGREPP

När nedanstående tekniska begrepp förekommer i rapporten har de följande innebörd:

Begrepp	Innebörd
Bräddning	Utsläpp till recipient av orenat eller ofullständigt renat avloppsvatten från ledningsnät eller avloppsreningsanläggning (samlingsbegrepp för all typ av bräddning).
Konservativt (antagande)	Ett värde som valts för att ligga på säkra sidan i en riskberäkning, så att den beräknade risken inte underskattas utan snarare överskattas.
Läckage	Läckage på avloppsledning motsvarande, i detta fall, 1 % av ledningens normalflöde.
Enskilda avlopp	Avloppsanläggningar som inte är anslutna till det kommunala avloppsnätet, och som behandlar avlopp från ett till fem hushåll.
Ledningsbrott	Brott eller större hål på avloppsledning.
Normalflöde	Flöde vid normal drift av reningsverk och pumpstationer och då inga utsläpp sker av orenat avloppsvatten till recipient.
Nödbräddning	Utsläpp av orenat avloppsvatten till recipient t.ex. vid pumphaveri, elavbrott eller liknande händelse (samlingsbegrepp för all typ av nödbräddning).
Nödbräddning nivå 1	Utsläpp av orenat avloppsvatten till recipient t.ex. vid pumphaveri, elavbrott eller liknande händelse. Kan ske om inga reservkapacitetsmagasin är installerade.
Nödbräddning nivå 2	Utsläpp av orenat avloppsvatten till recipient som inträffar om reservkapacitetsmagasinet har blivit fullt.
Omvandlingsområden	Sammanhängande fritidshusområden med minst 10 hushåll där omvandling mot permanentboende pågår. Omvandlingsområden uppfyller ofta inte dagens vatten- och avloppsstandard och kräver därför åtgärder i någon form.
Reservkapacitetsmagasin	Magasin lokaliserade vid pumpstationer som tar emot spillvatten från nödbräddning på ledningsnätet, för att förhindra utsläpp till recipient.

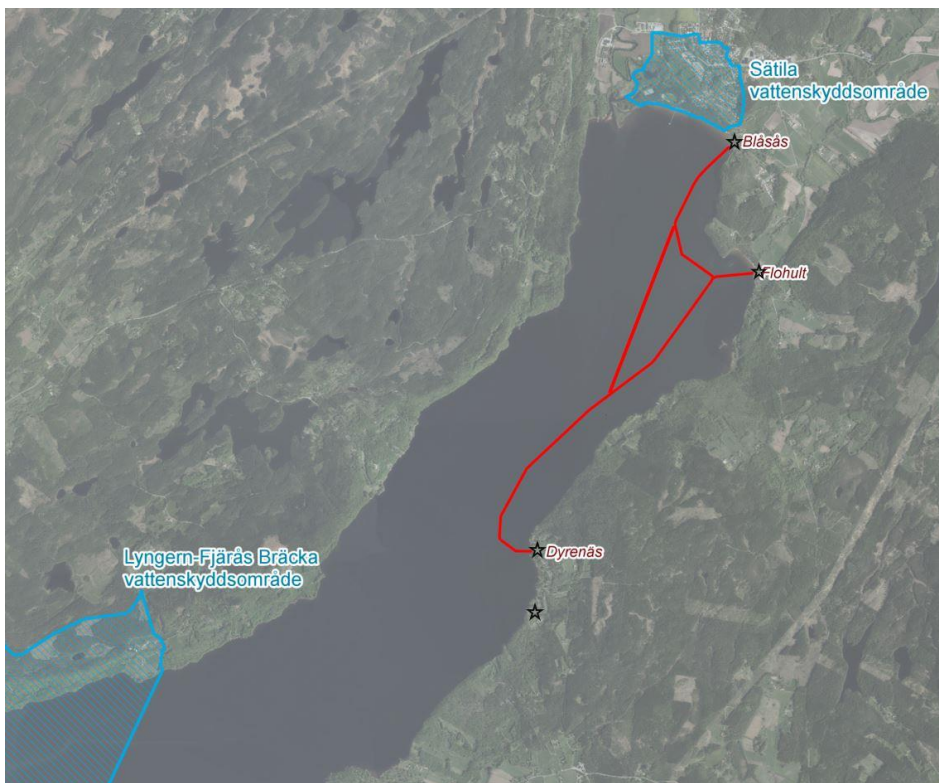
INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING.....	6
2	NUVARANDE OCH FRAMTIDA RECIPIENTPÅVERKAN	8
	2.1 KOMMUNALA AVLOPPSSYSTEMET I SÄTILA.....	8
	2.2 ENSKILDA AVLOPP I FLOHULT OCH DYRENÄS	10
	2.3 UTSLÄPPSPUNKTER I AVLOPPSSYSTEMET.....	11
3	MODELLERING AV AVLOPPSUTSLÄPP	12
	3.1 UTSLÄPPSSCENARIER	12
	3.2 BERÄKNINGSPRINCIPER OCH ANTAGANDEN	14
	3.3 UTSPÄDNING OCH INAKTIVERING I LYGNERN	16
4	RESULTAT OCH DISKUSSION.....	18
	4.1 HALTER NÄRMOST UTSLÄPPSPUNKTEN.....	18
	4.1.1 DRIFTFALL NORMALFLÖDE	18
	4.1.2 DRIFTFALL BRÄDDNING	19
	4.1.3 DRIFTFALL NÖDBRÄDDNING.....	20
	4.1.4 PÅVERKAN FRÅN DYRENÄS VID OLIKA LEDNINGSDIMENSION	20
	4.2 HALTER VID RÅVATTENINTAG	22
	4.2.1 DRIFTFALL NORMALFLÖDE	22
	4.2.2 DRIFTFALL BRÄDDNING	24
	4.2.3 DRIFTFALL NÖDBRÄDDNING.....	26
	4.3 SANNOLIKHET FÖR OLIKA UTSLÄPPSHÄNDELSER.....	28
5	REFERENSER.....	29

1 INLEDNING

Marks kommun har anlagt överföringsledningar för vatten och avlopp genom kommunen till nordvästra Mark för att bland annat kunna ta Sätila avloppsreningsverk ur drift och minska utsläppen till sjön Lygnern. Som en del i projektet planerar kommunen att ansluta de två omvandlingsområdena Flohult och Dyrenäs till kommunalt vatten och avlopp. Flohult och Dyrenäs ligger på östra sidan av Lygnern, sydväst om Sätila (Figur 1). Genom en sådan åtgärd minskar antalet enskilda avlopp och därmed utsläppen till Lygnern, inte minst närsaltsbelastningen (kväve och fosfor). Sedan januari 2021 leds avloppsvattnet från Sätila via överföringsledning till reningsverket i Skene, med utlopp i Viskan. Anslutningen av Flohult och Dyrenäs till kommunalt avlopp kan ske genom att en spillvattenledning förläggs in mot Sätila, lokaliserad antingen på sjöns botten (sjöförlagd ledning) eller på land (landförlagd ledning). Även delvis landförlagd ledning kan vara ett alternativ.

Sjön Lygnern utgör huvudvattentäkt för Kungsbacka kommun som tar sitt vatten från västra sidan av sjön. Vattenverket vid Fjärås Bräcka med dess bassänginfiltration används för att försörja 64 000 personer i Kungsbacka med dricksvatten. Lygnern är även utpekad som en strategiskt viktig vattenresurs för Göteborgsregionen (GR 2020). Ett eventuellt brott på en sjöförlagd spillvattenledning i nordöstra delen av sjön skulle kunna innebära spridning av orenat avloppsvatten. Det finns skäl att bedöma risken för att en sådan händelse orsakar en spridning av sjukdomsframkallande mikroorganismer (patogener) som når råvattenintaget vid Fjärås Bräcka och orsakar en förhöjd risk för vattenburen smitta. Vattenskyddsområdet omfattar enbart den västra sidan av sjön (syns delvis i Figur 1). I Sätila finns ett mindre skyddsområde för en grundvattentäkt.



Figur 1. Lokalisering av planerad sjöledning från Dyrenäs och Flohult in till Sätila, med befintliga vattenskyddsområden för Sätila och för Fjärås Bräcka. Från WSP (2021).

Tyréns upprättade 2019 en matematisk modell för att beräkna den mikrobiologiska belastningen från avloppssystemen i Marks kommun till råvattentäkten Lygnern. Belastningen till Lygnern (antal mikroorganismer per dygn) beräknades dels för avloppssystemet sådant det såg ut innan ombyggnation, dels för några olika alternativ avseende anslutningen av områdena Flohult och Dyrenäs (Tyréns 2019).

Marks kommun ansöker om tillstånd till vattenverksamhet för nämnda sjöledning i Lygnern. Under 2020 togs en samrådshandling fram och till denna bifogades en övergripande riskbedömning (WSP 2020). Samråd har därefter genomförts, där slutsatserna i den övergripande riskbedömningen kommenterats. I yttrandena framhålls behovet av en mer fördjupad bedömning av den mikrobiologiska risken kopplat till avloppsutsläpp. Länsstyrelsen påpekade att det i framtiden kan bli ett vattenskyddsområde för hela Lygnern och att uttag av råvatten på flera ställen inte får försvåras. Länsstyrelsen har önskat följande kompletteringar:

- Uppgifter om (dricksvatten)risker med patogener
- Riskens storlek behöver bedömas; vissa patogener kan vara farliga i små mängder
- Riskbedömningen bör utökas, med fokus på användning av Lygnern som dricksvattentäkt
- Påverkan, miljöeffekter och konsekvenser ska vara tydliga i miljökonsekvensbeskrivningen (MKB)

Det är varje dricksvattenproducents ansvar att säkerställa att dricksvattnet "inte innehåller mikroorganismer, parasiter och ämnen i sådant antal eller sådana halter att det utgör en potentiell risk för människors hälsa". Detta framgår i den sjätte paragrafen i Dricksvattenföreskrifterna (Livsmedelsverket 2022). Närvaron av fekala indikatorbakterier i ett vattenprov är en indikation på fekal förorening, exempelvis från avloppsvatten, och indikerar en risk för att patogener kan förekomma. Indikatorbakterier ger dock inget mått på hälsorisken, och patogener kan finnas i vattnet även i frånvaro av dessa. En metod att beräkna hälsorisken, för att kunna bedöma om de mikrobiologiska barriärerna på ett vattenverk är tillräckliga, är kvantitativ mikrobiologisk riskanalys, QMRA. I en QMRA tas hänsyn till dos-respons och därmed till att vissa patogener kan orsaka infektion även i låg dos (Livsmedelsverket 2024).

Marks kommun har inte ansvaret att värdera de mikrobiologiska barriärerna på andra kommuners vattenverk, däremot att enligt Miljöbalken visa vad utsläppen kan få för konsekvenser på vattenkvaliteten. I detta fall innebär det att visa hur ombyggnationen av avloppssystemet, med tillhörande förändrade utsläppsförhållanden, påverkar patogenhalten i Lygnern, både i allmänhet men särskilt vid ett befintligt eller nytt råvattenintag. I första hand är det relevant att visa hur nya utsläppsförhållanden skiljer sig mot det gamla systemet med avloppsutsläpp till denna del av Lygnern.

Syftet med denna utredning har varit att bedöma spridningen av patogener och vilka halter som kan uppstå vid ett råvattenintag. En matematisk modell har använts för att analysera spridningen för olika scenarier som beskriver tidigare, nuvarande och framtida hantering av avloppsvatten. Tidigare framtagna modell har uppdaterats och utvidgats utifrån den slutliga utformningen av avloppssystemet i Sätilla och de aktuella frågeställningarna. I rapporten redovisas även antaganden och underlag i modellen, samt på principiell nivå vilka beräkningar som gjorts för att få fram de resultat som visas. Rapporten utgör ett underlag för den allmänna riskbedömningen i MKB.

2 NUVARANDE OCH FRAMTIDA RECIPIENTPÅVERKAN

Avloppsutsläpp från det kommunala avloppssystemet och från enskilda avlopp har historiskt påverkat och kommer även framöver att påverka Lygnern. I denna rapport används begreppet bräddning för att beteckna utsläpp av orenat avloppsvatten orsakat av hydraulisk överbelastning. Avloppssystemet i Sätilla i sin ursprungliga form byggdes för att bräddningar ska kunna ske vid hydraulisk överbelastning, då dagvatten läcker in i systemet. Med begreppet nödbräddning avses utsläpp till följd av pumphaveri eller elavbrott (här benämnt nödbräddning nivå 1). Begreppet nödbräddning nivå 2 avser utsläpp till recipient som inträffar först om reservkapacitetsmagasin för hantering av nödbräddning har blivit fullt. Nivå 2 anger att det är en mer sällsynt form av nödbräddning än vanlig form av nödbräddning (nivå 1), Nödbräddning nivå 2 väntas enbart inträffa vid extrema händelser. Från Dyrenäs pumpstationer kan enbart nödbräddning nivå 2 ske.

2.1 KOMMUNALA AVLOPPSSYSTEMET I SÄTILA

De största utsläppsvolymer till Lygnern har varit från Sätilla reningsverk, som avvecklades i januari 2021. Under perioden 2014–2020 uppgick utgående flöde till mellan ungefär 0 och 2500 m³ per dygn (Tabell 1). På reningsverket har funnits en biobädd för biologisk rening, därefter kemisk fällning och sedimentering. Detta är att likna vid sekundär avloppsrening, när det gäller vilken mikrobiologisk reduktion som kan förväntas. Sedan reningsverket i Sätilla avvecklades renas avloppsvattnet i Skene med Viskan som recipient.

Tabell 1. Sätilla reningsverk, statistik för perioden 2014–2020 hämtad från miljörapporter.

År	Personer anslutna	Flöde ^a , m ³ /dygn			Totalt årsflöde, m ³ /år
		Min	Medel	Max	
2014	1 220	173	519	1 682	203 991
2015	1 220	0	559	1 709	203 991
2016	1 140	207	427	1 745	155 736
2017	1 140	189	538	1 688	196 550
2018	1 200	93	423	1 483	154 330
2019	1 200	189	527	1 720	192 433
2020	1 300	0	536	2 519	195 736

^aVariationen beskrivs i Triangel-fördelningar i riskmodellen.

Bräddpunkter på det kommunala avloppsledningsnätet i Sätilla med utlopp direkt till Lygnern, eller till vattendrag som mynnar i Lygnern, anges i Tabell 2. Den största bräddpunkten, Sätilla ARV Gamla verket, var inloppspumpstation till Sätilla reningsverk så länge detta var i drift. Utsläppen från både reningsverket och bräddpunkten nådde Storån och transporterades i denna genom Lillesjön fram till Lygnern. Som mest bräddade under ett år knappt 57 000 m³ från Sätilla ARV Gamla verket (år 2019). Näst störst sett till antalet hushåll är bräddpunkten AP6102 Sätilla sand¹, följt av AP6103 Tegelbruket, AP6107 Strömma och AP Lurekullen (Tabell 2).

Riskmodellen innefattar de bräddpunkter vars utsläppsförhållanden anges i Tabell 2. Även om AP6107 Strömma och AP Lurekullen ligger långt från Storån, och ännu längre från Lygnern, har de medtagits i riskmodellen. Det är oklart huruvida utsläpp från dessa bräddpunkter faktiskt når Lygnern. Med det nya avloppssystemet har nya pumpstationer tillkommit: AP6109 Ryda, AP6110 Sätilla, AP6111 Blåsås (byggda) samt AP Dyrenäs (planerad). Dessa är alla försedda med reservkapacitetsmagasin och anges

¹ Bräddpunkten benämns "Sätilla strand" i miljörapporten, men kallas vanligen "Sätilla sand".

nederst i tabellen (begreppet nödbreddning nivå 2 definieras nedan). Ungefärlig lokalisering av gamla och nya avloppspumpstationer i denna del av Lygnern visas i Figur 2 (se sidan 13).

I beräkningarna av avloppsflöde per person har antagits att det bor 2,8 personer per hushåll. Vidare att hushållens avloppsflöde motsvarar vattenanvändningen, och att denna är i medeltal 157 liter per person och dygn. Detta schablonvärde utgår från uppgifter som 240 av totalt 290 kommuner lämnat till VA-branschens statistiksystem för år 2015 (VASS). Även Statistiska centralbyrån (SCB) har använt detta värde vid beräkning av enskild förbrukning för hushållsändamål.

Tabell 2. Utsläppspunkter från Sätila gamla ledningsnät som via vattendrag når Lygnern. Statistik för perioden 2014–2020 hämtad från miljörapporter. Nederst i tabellen anges utsläppspunkter som tagits i bruk, eller kommer att tas i bruk, med dagens system.

Utsläppspunkt	År	Hushåll, antal	Bräddad volym, m ³ /år	Utsläppstillfällen, antal/år	Varaktighet, hh:mm
Sätila ARV Gamla verket ^a	2014	480	0,001	4	0:00
	2015	480	5 294	9	28:06
	2016	480	1 754	35	4:23
	2017	480	14 390	2 284	55:06
	2018	480	2 068	26	88:07
	2019	480	56 692	173	446:47
	2020	480	24 696	780	195:19
AP6102 Sätila sand	2014	235	94	16	28:11
	2015	235	295	25	84:06
	2016	235	80	14	24:18
	2017	235	102	17	29:22
	2018	235	36	20	11:30
	2019	235	1 215	38	339:08
	2020	235	421	39	0:00
AP6103 Tegelbruket	2014	35	12	12	0:39
	2015	35	12	12	0:33
	2016	35	12	12	0:55
	2017	35	12	12	0:32
	2018	35	12	12	0:26
	2019	35	97	13	19:46
	2020	35	16	9	4:31
AP6105 Smälteryd	2014	2	18	16	2:58
	2015	2	18	16	3:08
	2016	2	79	18	6:38
	2017	2	54	17	4:10
	2018	2	15	15	1:13
	2019	2	10	10	0:39

Utsläppspunkt	År	Hushåll, antal	Bräddad volym, m ³ /år	Utsläppstillfällen, antal/år	Varaktighet, hh:mm
	2020	2	0	0	0:31
AP6107 Strömma ^b	2014	15	3	7	34:36
	2015	15	31	8	4:42
	2016	15	8	2	0:02
	2017	15	0	1	0:01
	2018	15	0	1	0:01
	2019	15	0	0	0:00
	2020	15	0	0	0:00
AP Lurekullen	2014	15	0	0	0:00
	2015	15	0	0	0:00
	2016	15	404	1	2:02
	2017	15	0	0	0:00
	2018	15	0	0	0:00
	2019	15	0	0	0:00
	2020	15	0	0	0:00
<u>Nödbreddning nivå 2:^c</u>					
AP6109 Ryda	2021	99	1 dygns avlopp ^d	Högst 1 gång per 11–50 år ^e	
AP6110 Sätåla	2021	363	1 dygns avlopp ^d	Högst 1 gång per 11–50 år ^e	
AP6111 Blåsås	2021	534	1 dygns avlopp ^d	Högst 1 gång per 11–50 år ^e	
AP Dyrenäs	Framtid	71-100	1 dygns avlopp ^d	Högst 1 gång per 11–50 år ^e	

^aNumera avvecklad.

^bEnbart ett Naturbruksgymnasium är påkopplat.

^cReservkapacitetsmagasin med en volym som motsvarar två dygns avloppstillflöde måste först bli fullt.

^dSvårt att bedöma framtida utsläppsvolym, angivet värde är ett konservativt antagande. För utsläpp krävs långvarigt strömavbrott och att det är oframkomligt för slamsugningsbil på vägar fram till pumpstationen.

^eHänder 1 gång på mer än vart 10:e år men mindre än vart 50:e år.

2.2 ENSKILDA AVLOPP I FLOHULT OCH DYRENÄS

Omvandlingsområdena Flohult och Dyrenäs som man planerar att ansluta till kommunalt VA, har idag enskilda avlopp. Den senaste inventeringen av enskilda avlopp sammanställdes 2020. Den visade att det i Dyrenäs är vanligast med sluten tank medan det i Flohult är vanligast med infiltrationsbädd eller slamavskiljare (Tabell 3). Den mikrobiella reduktionen för respektive anläggningstyp är antagen med vägledning av Fredenberg och Thörnqvist (2008) samt Palm m.fl. (2002). Dessa värden avser sträckan fram till utloppet av det enskilda avloppet, men har här konservativt antagits

gälla för hela transportsträckan fram till sjön Lygnern. Reduktionen (%) antas även vara densamma för olika typer av mikroorganismer (referensorganismer).

Tabell 3. Befintliga avlopp i områdena Flohult och Dyrenäs 2020, med antagen mikrobiell reduktion per anläggningstyp. Anläggningstyper helt utan lokala utsläpp har inte tagits med i modellen.

Anläggningstyp	Hushåll per anläggningstyp, antal		Mikrobiell reduktion ^a
	Dyrenäs	Flohult	
Infiltrationsbädd/Slamavskiljare	6	15	80-99 %
Markbädd/Slamavskiljare	0	1	80-99 %
Minireningsverk	0	4	50-90 %
Sluten tank	35	9	Ej med i modellen
Annan filterlösning t.ex. Sепarett/Förbränningstoilet	3	1	90-99 %
Torrtoilet	10	5	Ej med i modellen
Ej tillämpbar/ Inte aktuell	4	0	Ej med i modellen
Okänd	15	3	10-90 %
Summa	73	38	
varav med möjligt utsläpp till Lygnern	24	24	

^aDefinierat i Uniform fördelning, där alla värden är lika troliga inom intervallet. Litteraturuppgifter bygger främst på studier med indikatorbakterier (Palm m.fl. 2002; Fredenberg & Thörnqvist 2008).

2.3 UTSLÄPPSPUNKTER I AVLOPPSSYSTEMET

Med det nya avloppssystemet har utsläpp från Sätila reningsverk liksom från Gamla verkets pumpstation upphört helt, eftersom reningsverket har avvecklats. Flera av de gamla bräddpunkterna finns däremot kvar inne i Sätila. Nya utsläppspunkter för nödräddning nivå 2 tillkommer när det nya systemet är fullt utbyggt (Tabell 2). För de gamla bräddpunkterna blir belastningen i praktiken något lägre, med färre hushåll anslutna från och med 2021. Vid alla pumpstationer kommer styrning användas för att samordna magasinering av spillvatten.

I Dyrenäs planeras för delvis LTA-system (Lätt Trycksatt Avlopp) och självfall där hushållens spillvatten avleds till två pumpstationer, medan det i Flohult planeras för LTA-system utan pumpstation. Med ett reservkapacitetsmagasin motsvarande 2 dygns spillvatten väntas sannolikheten för utsläpp från de två pumpstationerna i Dyrenäs bli mycket låg (nödräddning nivå 2). Men om detta inträffar sker utsläppet i nära anslutning till Lygnern. Eftersom alla nya pumpstationer byggs med ett stort reservkapacitetsmagasin, kan utsläpp bara ske vid en mycket extrem situation, exempelvis efter en lång period med strömavbrott eller datahaveri i kombination med så pass oframkomlig terräng att tömning med slamsugningsbil inte kan göras. För alla nya pumpstationer har detta antagits kunna inträffa högst en gång per 11-50 år, och utsläppsvolymer kan konservativt antas motsvara ett dygns avloppsproduktion (se nederst i Tabell 2 med tillhörande fotnoter). Nödräddning nivå 2 väntas inträffa vid en extrem händelse, exempelvis naturkatastrof, där vanlig bräddning antas ske samtidigt vid de pumpstationer som saknar magasin.

3 MODELLERING AV AVLOPPSUTSLÄPP

En matematisk beräkningsmodell sattes upp i programvaran Analytica². Perioden 2014–2020 användes som modellperiod för att åskådliggöra utsläpp innan ombyggnationen och sådant det såg ut år 2021 (efter ombyggnad). Historiska uppgifter om avloppsutsläppen i Marks kommun (se Tabell 1 och Tabell 2) användes i modellen. I modellen har antagits att de gamla bräddpunkterna som finns kvar i dagens system kommer att ha samma omfattning av utsläpp framöver som för nämnda tidsperiod. Åtta olika utsläppscenarier definierades, S0 till S7, för att beskriva påverkan av avloppsutsläpp på Lygnern.

3.1 UTSLÄPPSCENARIER

Mikrobiologisk halt i Lygnern beräknades för följande utsläppscenarier. För de olika orternas lokalisering, se Figur 1.

S0 Innan ombyggnation. Visar totala påverkan från det gamla avloppssystemet i Sätila, samt läckage från enskilda avlopp i Dyrenäs och Flohult.

S1 Nuvarande system. Visar totala påverkan från det nya avloppssystemet i Sätila, samt läckage från enskilda avlopp i Dyrenäs och Flohult.

S2 Sjöledning utan utsläpp. Visar total påverkan från det nya avloppssystemet i Sätila samt anslutning av Dyrenäs och Flohult med ledning utan läckage, dvs normal drift.

S3 Sjöledning Dyrenäs läckage. Samma som S2, men med ett kontinuerligt läckage på ledningssträckan från Dyrenäs till Blåsås.

S4 Sjöledning Dyrenäs ledningsbrott. Samma som S2, men med ledningsbrott på ledningssträckan från Dyrenäs till Blåsås.

S5 Sjöledning Flohult läckage. Samma som S2, men med ett kontinuerligt läckage på ledningssträckan från Flohult till Blåsås.

S6 Sjöledning Flohult ledningsbrott. Samma som S2, men med ledningsbrott på ledningssträckan från Flohult till Blåsås.

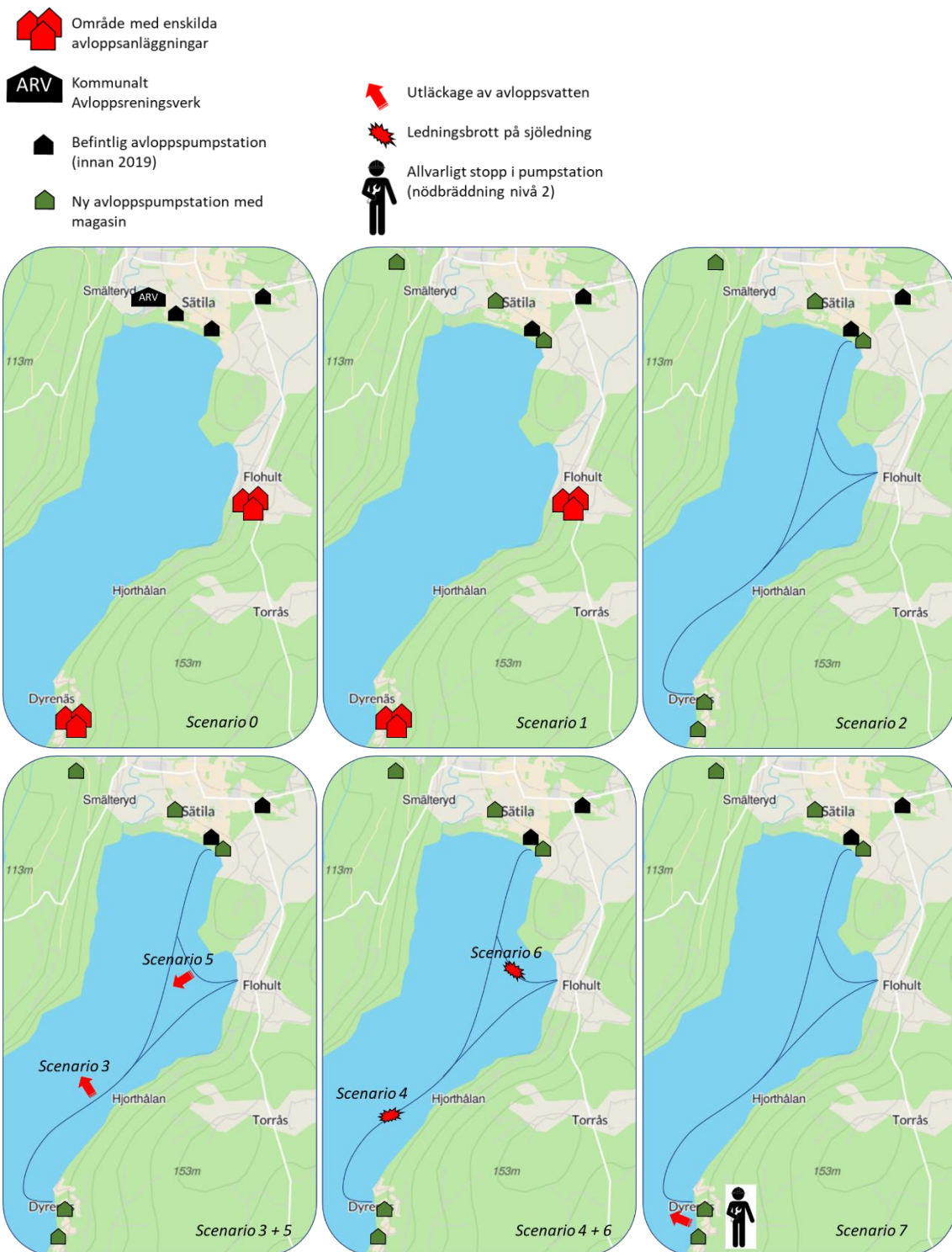
S7 Nödbräddning från pumpstationer i Dyrenäs. Samma som S2, men med nödbräddning (nivå 2) från nya pumpstationer i Dyrenäs. Scenariot beskriver även situationen med landförlagda ledningar, och då skulle det krävas att två pumpstationer placeras i Dyrenäs.

Scenarierna illustreras konceptuellt i Figur 2, som visar ungefärlig lokalisering av olika avloppsutsläppspunkter i denna del av Lygnern. Med avvecklandet av det gamla avloppssystemet (Scenario 0) försvann reningsverket i Sätila, men de enskilda avloppen finns kvar i det nuvarande systemet (Scenario 1). Genom att koppla in dessa på en sjöledning ska systemet under normala förhållanden fungera som i Scenario 2, vilket även skulle gälla för landförlagda ledningar. Från sjöledningarna kan det ske ett utläckage, antingen på sträckan Dyrenäs–Sätila (Scenario 3) eller på sträckan Flohult–Sätila där ledningen ansluter vid den nya pumpstationen Blåsås (Scenario 5). På sjöledningarna kan även ledningsbrott inträffa, antingen på sträckan Dyrenäs–Sätila (Scenario 4) eller på sträckan Flohult–Sätila (Scenario 6).

För alla scenarier (S0 till S7) beräknades mikrobiologiska halter i Lygnern till följd av tre olika driftlägen i avloppssystemet: normalflöde, bräddning och nödbräddning. Driftläget bräddning innebär bräddning från pumpstationer utan magasin, driftläget nödbräddning innebär samma sak som bräddning och därtill utsläpp från de nya eller ombyggda utsläppspunkterna (nödbräddning nivå 2, se nederst i Tabell 2). För S0

² Analytica Professional, Lumina® Decision Systems

antas problem med reningsprocessen ske i Sätila reningsverk vilket motsvaras av nödbräddning nivå 1. Antagandet motiveras av att katastrofscenarier fanns med även i det gamla systemet, även om reningen aldrig helt uteblev (Marks kommun 2021).



Figur 2. Konceptuell illustration av avloppssystemet i Sätila kommun innan ombyggnation (Scenario 0) och med det nya system (Scenario 1). Det tillkommande avloppssystemet och potentiella utsläpp härifrån visas genom Scenario 2 till 7 där sjöledningen går norrut till den nya pumpstationen i Blåsås i Sätila.

3.2 BERÄKNINGSPRINCIPER OCH ANTAGANDEN

För att åskådliggöra mikrobiologisk påverkan i Lygnern användes indikatorbakterien *E. coli* samt patogenerna norovirus, *Campylobacter* och *Cryptosporidium* som referensorganismer i modellen. Valet av referensorganismer motiveras enligt följande:

- *E. coli* användes eftersom det är den vanligaste indikatorbakterien som mäts i råvatten och dricksvatten. *E. coli* utsöndras av alla människor och de flesta djur och fåglar, och indikerar färsk fekal påverkan i ett vattenprov.
- Norovirus användes för att det är det virus som orsakar vinterkräksjukan och som genom sin lilla storlek transporteras lättare genom en grundvattentäkt (såsom Fjärås Bräcka) än många andra patogener.
- Bakterien *Campylobacter* användes för att den påträffats relativt frekvent i svenska ytvattentäkter (Livsmedelsverket 2016) och är det vanligaste livsmedelsburna smittämnet.
- *Cryptosporidium* användes för att det är en parasit som orsakat stora vattenburna utbrott i Sverige.

Den mikrobiologiska halten i orenat avloppsvatten beräknades enligt den modell som beskrivits av Petterson m.fl. (2016). Sammanfattningsvis innebär denna modell att halten av ovanstående referensorganismer beräknas utifrån:

- Incidens, dvs. antal fall/100 000 invånare och vecka. För patogenerna har använts Folkhälsomyndighetens sjukdomsstatistik (år 2014-2018).
- Underrapporteringsfaktor, dvs. kvoten mellan verkliga antalet fall och rapporterat antal fall.
- Utsöndringstid, dvs. antalet dygn som en infekterad person utsöndrar organismen i avföring.
- Antalet avloppsanslutna till den punkt i systemet där halten ska beräknas.
- Andelen asymtomatiska infektioner, dvs. hur stor andel av det verkliga antalet infektioner som inte orsakar symtom och därigenom inte kommer med i Folkhälsomyndighetens sjukdomsstatistik.
- Avföringsmängd vid infektion med symtom resp. vid infektion utan symtom.
- Utsöndringshalt, dvs. antalet smittämnen per gram avföring som en infekterad person har i avföring.
- Avloppsflöde, dvs. uppmätt flöde i den punkt i systemet som beräkningen avser, eller om mätning saknas schablonberäknat utifrån vattenanvändningen.

Av ovanstående är det enbart antal anslutna personer samt avloppsflöde som utgör platsspecifik information, övriga parametrar definieras av litteraturvärden (redovisas ej i denna rapport). Informationen definierades som en funktion i Analytica som användes för att beräkna halten av referensorganismer i orenat avloppsvatten. Flera parametrar är behäftade med en osäkerhet och en variation, som i flera fall är definierad i sannolikhetsfördelningar. Likaså finns en osäkerhet och en variation i de beräknade resultaten. Viktigare än de beräknade mikrobiologiska halterna i Lygnern är dock skillnader i halter mellan olika scenarier (se avsnitt 3.1).

För att beräkna halten i avloppsvatten som genomgått rening på Sätilla reningsverk användes litteraturvärden för mikrobiologisk log-reduktion avseende sekundär avloppsrening. Avskiljningen definierades i Uniforma fördelningar avseende *E. coli* (1,2 till 3,5) norovirus (0,4 till 2,5), *Campylobacter* (1,2 till 3,5) och *Cryptosporidium* (0,5 till 1,6 log-enheter) (Åström m.fl. 2009).

För att beräkna mikrobiologisk halt vid olika scenarier av utsläpp till i Lygnern användes de principer som framgår av Tabell 4. Sannolikhetsfördelningar av typen Gamma-fördelningar användes för att beskriva kontinuerlig variation under modellperioden, exempelvis hur avloppsutsläpp från Sätilla reningsverk varierar olika dygn. Antal bräddtillfällen passades till Poisson-fördelningar för att beskriva variationen i antalet utsläppstillfällen per år under modellperioden.

Tabell 4. Princip för beräkning av mikrobiologisk halt i Lygnern från respektive typ av utsläppspunkt.

Utsläppspunkt	Beräkning av utgående halt	Kommentar
Reningsverk	Ingående halt beräknat med hänsyn till antal anslutna och flöde (m^3/dygn). Utgående halt beräknat utifrån väntad log-reduktion (litteraturvärden)	Se antal anslutna personer och dygnsflöde i Tabell 1.
Pumpstation (bräddning, nödbräddning nivå 2)	Utgående halt beräknat med hänsyn till antal anslutna, bräddvolym ($\text{m}^3/\text{år}$) och varaktighet (dygn/år).	Se antal anslutna personer, bräddvolym och varaktighet i Tabell 2.
Reningsverk (nödbräddning 1)	Utgående halt beräknats motsvara ingående halt, med hänsyn till antal anslutna och flöde (m^3/dygn).	Katastrofscenariot där problem med reningsprocessen leder till utebliven rening.
Enskilda avlopp	Ingående halt beräknat med hänsyn till personer per hushåll och nuvarande antal hushåll per anläggningstyp, och antagen avloppsproduktion. Utgående halt beräknat utifrån antagen reduktion för respektive anläggningstyp.	För procentuell reduktion per anläggningstyp, se Tabell 3.
Läckage på överföringsledning	Ingående halt beräknat utifrån nuvarande och framtida antal anslutna personer, och antagen avloppsproduktion. Läckaget antas utgöra 1 % av det totala avloppsflödet, vilket i praktiken lätt kan detekteras.	Läckaget 1 % motsvarar att hela avloppsflödet renas på ett traditionellt avloppsreningsverk, där 99 % motsvarande 2 logs reduktion är vad som ungefär kan förväntas.
Ledningsbrott på sjöledning	Ingående halt beräknat utifrån nuvarande och framtida antal anslutna personer, och antagen avloppsproduktion. Ledningsbrottet antas medföra att 25 % av volymen i trycksatt ledning släpps ut i sjön.	Motsvarar en volym av $15,9 \text{ m}^3$ (alternativt ^a $51,7 \text{ m}^3$) avloppsvatten på sträckan Dyrenäs–Blåsås (\varnothing 125 mm (alt. \varnothing 225 mm), L 5200 m) och $3,5 \text{ m}^3$ på sträckan Flohult–Blåsås (\varnothing 90 mm, L 2220 m).

^aAlternativet avser förutsättningar vid ledningsdimensionen \varnothing 225 mm.

För ledningsbrott på en sjöledning antas alltså i modellen att 25 % av avloppsvolymen i den trycksatta ledningen släpps ut i Lygnern. Siffran 25 % är ett konservativt antagande som bygger på följande resonemang. Om det under en pumpcykel skulle inträffa ett ledningsbrott så kommer det läcka ut tills pumparna stannar och trycket försvunnit. Ju närmare pumpstationen, desto större tryck och därmed större utsläpp så länge pumparna är i gång. Pumparna stannar automatiskt om det skulle bli ett ledningsbrott med tryckfall. Efter att pumparna stannat så är trycket inne i ledningen detsamma som på utsidan av ledningen. Om avloppsvattnet har samma täthet och densitet som vattnet utanför ledningen, och trycket är detsamma över hela ledningen, väntas inget avloppsutsläpp till Lygnern. I praktiken finns dock en skillnad i täthet och densitet, och troligen även ett kvarvarande tryck som åstadkommer ett avloppsutsläpp även om pumparna har stannat. Detta beaktas i beräkningarna (25 %).

3.3 UTSPÄDNING OCH INAKTIVERING I LYGNERN

En utspädningsfaktor UF_i har beräknats för vardera utsläppspunkten:

$$UF_i = \frac{V_{Lygnern}}{V_i}$$

där $V_{Lygnern}$ är deltagande utspädningsvolym i sjön Lygnern vars totala volym uppskattats till 912 miljoner m^3 (SMHI 2021). V_i är utsläppsvolymen per dygn från respektive utsläppspunkt ($i=1 \dots n$). Parametern UF_i definieras ofta utan enhet (m^3/m^3), men får i detta fall enheten dygn ($m^3/m^3/dygn$), detta för att på ett rättvisande sätt kunna jämföra olika typer av utsläpp (kontinuerliga och tillfälliga) avseende råvattenpåverkan. Till följd av spridning och omblandning ökar utspädningsvolymen ju längre ett utsläpp hinner röra sig fram till ett råvattenintag. För att ge några relevanta exempel har tre olika värden på $V_{Lygnern}$ valts konservativt: 1000 m^3 (en kub med sidorna 10 x 10 x 10 m), 5 % av sjöns totalvolym samt 50 % av sjöns totala volym. Dessa tre fall avser motsvara dels den initiala omblandning som sker strax utanför utsläppspunkten, dels en transport till ett råvattenintag i samma del av Lygnern, dels en transport till ett råvattenintag i andra änden av Lygnern.

Initialhalten i Lygnern till följd av avloppsutsläpp har beräknats dels för normalsituationen med normalflöde, dels för en situation med utsläpp från ledningsnätet:

$$C_{initial} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{UF_i}$$

där C_i är halten i Lygnern från respektive utsläppspunkt, beräknat enligt principerna i Tabell 4 och med metoden beskriven av Petterson m.fl. (2016). För att ta hänsyn till att mikroorganismer inaktiveras över tid, har råvattenhalten för olika transporttider (0 till 50 dygn) beräknats enligt Ekvation 1 i WHO (2016):

$$C_{råvatten} = F(C_{initial}, T_{råvatten}, Tid)$$

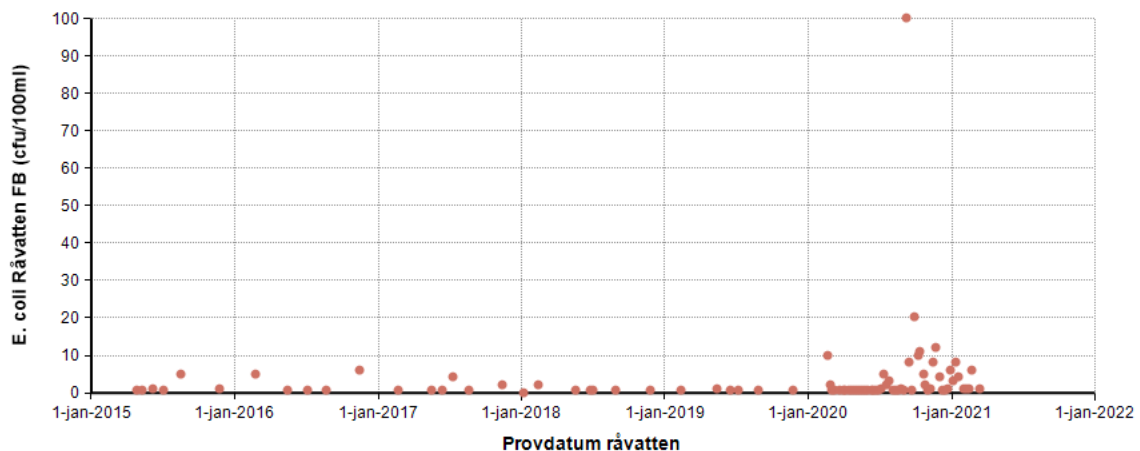
Förutom initialhalten i Lygnern tar ekvationen hänsyn till vattnets temperatur ($T_{råvatten}$) och utsläppets transporttid. Ekvationen har också med två konstanter (α_0 och α_1), specifika för respektive referenspatogen och hämtade från litteratur som beskriver resultat från studier på inaktivering av några viktiga mikroorganismer i vatten, däribland de referensorganismer som ingår i den uppsatta modellen. För närmare beskrivning hänvisas till nämnda WHO-publikation.

I Figur 3 visas halter av *E. coli* vid råvattenintaget till Fjärås vattenverk, tidsperioden april 2015 till mars 2021. Detta är den samlade mikrobiologiska påverkan vid denna punkt, och bakterierna kan komma från både människor, djur och fåglar³. Uppmätta halter av *E. coli* vid råvattenintaget till Fjärås vattenverk användes i modellen för att överslagsmässigt beräkna vilken transporttid som är relevant att beakta vad gäller utsläpp av orenat och renat avloppsvatten. Ju längre transporttid, desto mer hinner mikroorganismerna dö innan de når fram till ett råvattenintag. Även för denna beräkning användes ekvation 1 av WHO (2016), med halter av *E. coli* i orenat och renat

³ I denna utredning ingår inte att bedöma påverkan från andra källor än avloppsutsläppen inom det aktuella området. För att belysa betydelsen av andra påverkanskällor kan nämnas källfördelningen av näringsbelastningen i det aktuella delavrinningsområdet (Utloppet av Lygnern, AROID 637313-339877, se SMHI:s Vattenwebb). Av totalt brutto för hela avrinningsområdet dominerar kväve- och fosforbelastningen av Skog och hygge respektive Jordbruk. Enskilda avlopp står för 3 % av kväve- och 8 % av fosforbelastningen och avloppsreningsverk står för 8 % av kväve- och 1 % av fosforbelastningen, enligt SMHI:s Vattenwebb.

avloppsvatten hämtat från studier på svenska avloppsreningsverk (Stenström 1996). Denna överslagsmässiga beräkning visar att transporttiden i medeltal kan vara upp till ca 30 dygn. För att ta hänsyn till variationer och extremfall, användes transporttiden 50 dygn i modellberäkningen.

Notera att Figur 3 visar uppmätta halter av *E. coli* vid råvattenintaget till Fjärås vattenverk under en period då det gamla systemet, med såväl reningsverk som enskilda avloppsanläggningar, belastade sjön. Under denna period har råvattenintaget inte under något tillfälle behövt stängas, och uppmätta halter bekräftar sjöns kapacitet att åstadkomma utspädning och mikrobiologisk inaktivering.



Figur 3. Uppmätta halter av *E. coli* vid råvattenintaget till Fjärås vattenverk, Kungsbacka.

Den matematiska modell som här satts upp, och som beskrivs i denna rapport, är tillräcklig för att beskriva den relativa förändringen i halter vid olika scenarier och för olika utspädningsgrader i Lygnern. Hydrodynamisk modellering bedöms inte tillföra väsentligt bättre underlag för att bedöma riskerna vid nuvarande och framtida råvattenintag.

4 RESULTAT OCH DISKUSSION

Riskmodellen omfattar både punktvärden och sannolikhetsfördelning, där de sistnämnda beskriver osäkerhet och/eller variation i ingående beräkningsparametrar. Nedan visas beräkningsresultat baserat på ett troligaste värde utifrån ingående sannolikhetsfördelningar⁴, om inget annat anges.

4.1 HALTER NÄRMAST UTSLÄPPSPUNKTEN

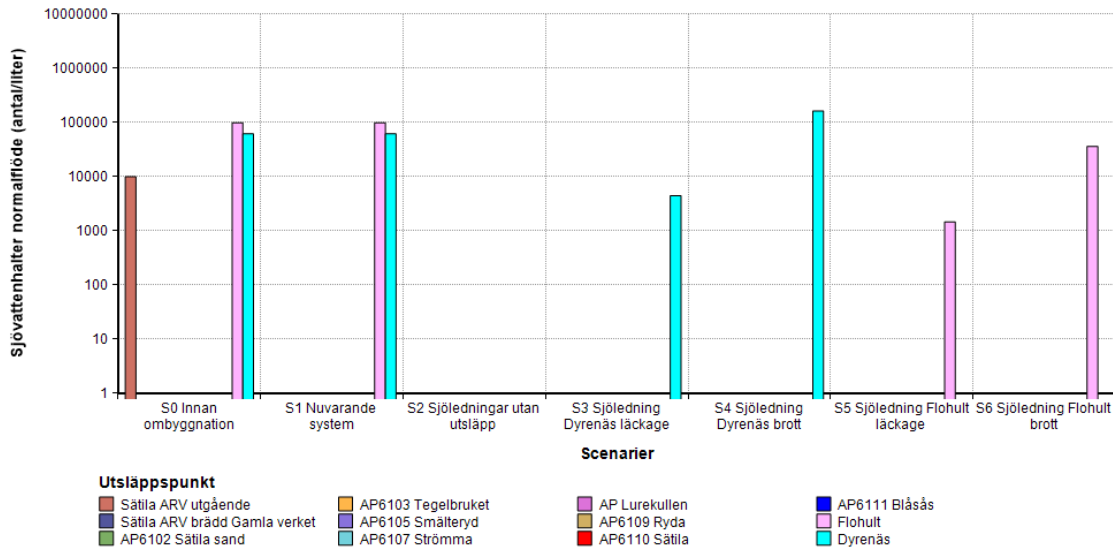
Som exempel på mikrobiologiska halter som skulle kunna uppstå närmast en utsläppspunkt, antas att avloppsutsläppet späds i en volym motsvarande 1000 m³ sjövattnen. Måttet visar vilka halter som skulle kunna uppstå lokalt i Lygnern närmast en utsläppspunkt. Halter av *E. coli* närmast utsläppspunkten för olika scenarier och till följd av olika utsläppspunkter visas för en situation med normalflöde i Figur 4, med bräddning i Figur 5 och med bräddning i kombination med nödbräddning i Figur 6. Motivet till att här enbart visa halter av *E. coli* är att risken för dricksvattnet inte beror på halter närmast utsläppspunkten utan på halter i råvattnet. Patogenhalter närmast utsläppspunkten beskrivs mer ingående för olika anslutningsalternativ i Dyrenäs (4.1.4). Halter i Lygnern som råvattentäkt redovisas separat (4.2).

4.1.1 DRIFTFALL NORMALFLÖDE

Situationen att normalt flöde passerar systemet, samtidigt som de olika scenarierna med läckage respektive ledningsbrott inträffar, visas i Figur 4. Staplarna visar *E. coli*-halter i vattnet närmast respektive utsläppspunkt. I S0 och S1 motsvaras rosa och ljusblå staplar av de nuvarande enskilda avloppen i Flohult och Dyrenäs med vardera 24 hushåll med möjligt utsläpp till Lygnern (Tabell 3). I S2-S6 har dessa ersatts av sjöledning med 25-40 hushåll anslutna i Flohult och 100 hushåll anslutna i Dyrenäs. Eftersom alla scenarier (S0 till S7) beräknades för alla tre driftlägen (normalflöde, bräddning och nödbräddning) visas här också ledningsbrottsscenarierna S4 och S6, trots att de inte kan anses tillhöra normalsituationen.

Figur 4 visar att ett kontinuerligt läckage från en sjöledning från Dyrenäs (S3) eller från Flohult (S5) skulle åstadkomma lägre halter i sjön jämfört med spridningen från de befintliga enskilda avloppen i dessa båda områden (S1). Halterna av *E. coli* innan ombyggnation överträffas enbart om det skulle ske ett ledningsbrott på en sjöledning från Dyrenäs. Detta syns i stapeln som hör till scenario S4. Notera även att ett ledningsbrott är en engångshändelse, medan spridningen från enskilda avlopp pågår kontinuerligt. Att ett ledningsbrott i en sjöledning från Dyrenäs (S4) får större konsekvens jämfört med ett ledningsbrott i en sjöledning från Flohult (S6), beror på fler anslutna personer (jfr Tabell 3).

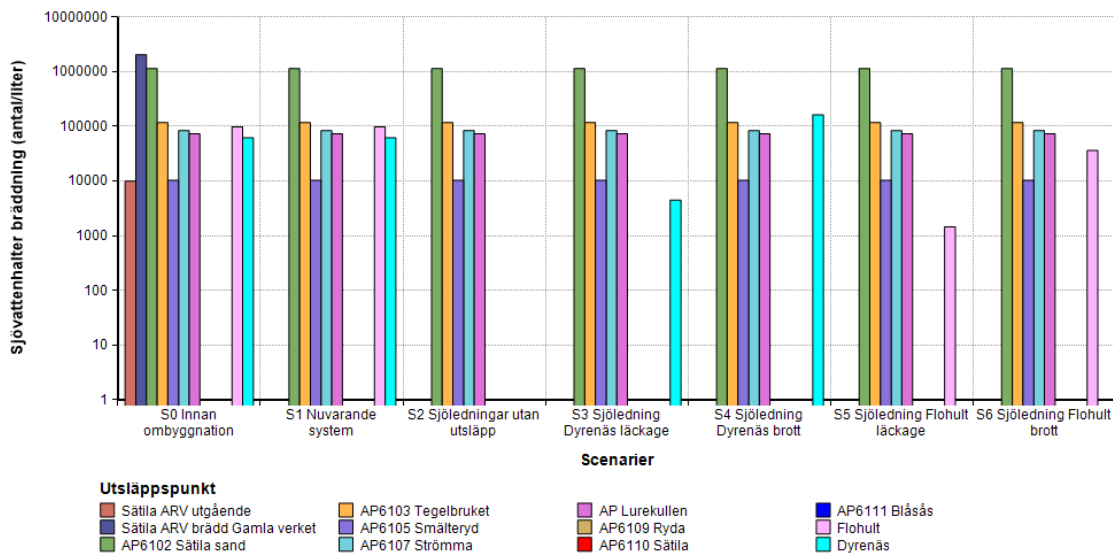
⁴ Benämns Mid-value i Analytica, ungefär motsvarande median-värde.



Figur 4. Halter av *E. coli* i Lygnern närmast utsläppspunkten till följd av avloppsutsläpp i driftläget normalflöde och vid en utspädning i 1000 m³ sjövattnet.

4.1.2 DRIFTFALL BRÄDDNING

Figur 5 visar situationen att bräddning skulle förekomma vid var och en av de pumpstationer som inte är försedda med magasin, samtidigt som de olika scenarierna med läckage respektive ledningsbrott inträffar. Staplarna visar *E. coli*-halter i vattnet närmast respektive utsläppspunkt. I S0 och S1 motsvaras (som i driftfall ovan) rosa och ljusblå staplar av de enskilda avloppen i Flohult och Dyrenäs. I S2–S6 har dessa ersatts av sjöledningar.



Figur 5. Halter av *E. coli* i Lygnern närmast utsläppspunkten till följd av avloppsutsläpp i driftläget bräddning och vid en utspädning i 1000 m³ sjövattnet.

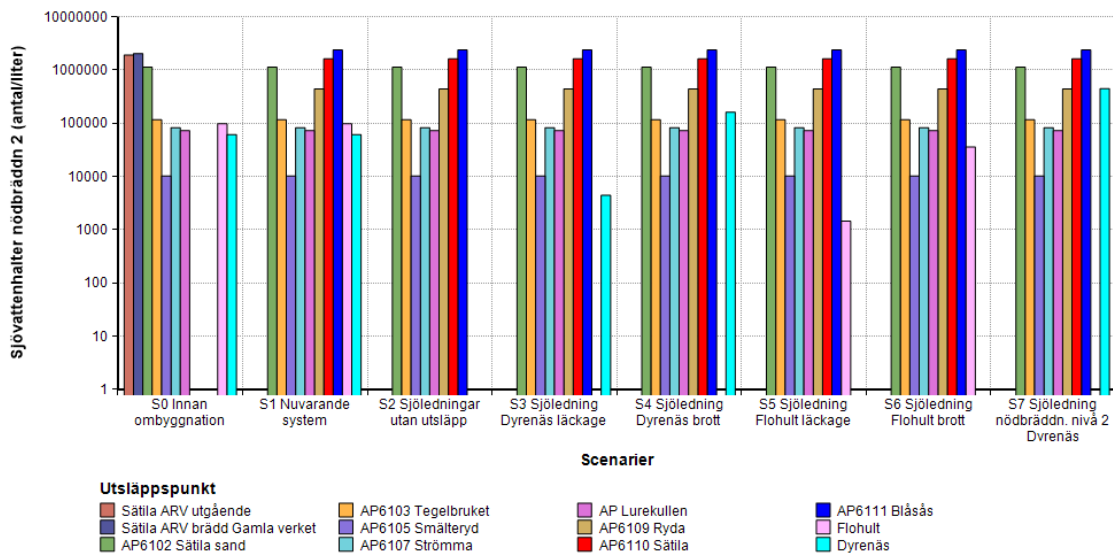
Vid en bräddning skulle halterna i sjövattnet närmast utsläppspunkten potentiellt bli betydligt högre, men med avveckling av bräddpunkten Sättila ARV Gamla verket försvinner den stapel som var högst med det gamla systemet (mörkblå stapel i Figur 5, jämför S1 med S0). I det nuvarande systemet är det, enligt modellen, bräddpunkten Sättila sand som kan orsaka de högsta halterna (grön stapel). Såväl läckage som

ledningsbrott från nya sjöledningarna skulle få mindre konsekvenser i fråga om halter jämfört med vad denna bräddpunkt kan åstadkomma. Åtgärder har på senare år gjorts för att minska risken för bräddning vid Sätila Sand (Marks kommun 2024).

4.1.3 DRIFTFALL NÖDBRÄDDNING

Figur 6 visar situationen att nödbräddning sker, dvs att pumpstationer stannar pga. driftavbrott som elavbrott eller pumphaveri. I modellen innebär det att vanlig bräddning sker från stationer utan magasin, samtidigt som det (efter att magasinerna fyllts) nödbreddar från stationer med magasin. Samtidigt sker de olika scenarierna med läckage respektive ledningsbrott. Staplarna visar E. coli-halter i vattnet närmast respektive utsläppspunkt. I S0 och S1 motsvaras (som i driftfallen ovan) rosa och ljusblå staplar av de enskilda avloppen i Flohult och Dyrenäs. I S2–S7 har dessa ersatts av sjöledningar och i Dyrenäs finns även två pumpstationer med magasin.

Som tidigare nämnts väntas nödbräddning nivå 2 ske mycket sällan, högst en gång per 11–50 år. Om nödbräddning nivå 2 skulle inträffa kan halterna närmast utsläppspunkt bli högre jämfört med vid bräddning (jfr. Figur 5). AP 6111 Blåsås är den pumpstation dit sjöledningarna skulle ansluta i närheten av Sätila. Nödbräddning nivå 1 kunde inträffa med det gamla systemet (S0) och i Figur 6 visar stapeln längst till vänster vilka halter som helt utebliven rening på Sätila reningsverk hade kunnat åstadkomma. Notera att risken är en kombination av konsekvens och sannolikhet: förhöjda patogenhalter och sannolikheten för att dessa halter ska uppstå, se vidare avsnitt 4.3.



Figur 6. Halter av E. coli i Lygnern närmast utsläppspunkten till följd av avloppsutsläpp i driftläget nödbräddning och vid en utspädning i 1000 m³ sjövattnet. Nödbräddning antas ske i kombination med vanlig bräddning.

4.1.4 PÅVERKAN FRÅN DYRENÄS VID OLIKA LEDNINGSDIMENSION

Marks kommun har gjort en översyn av dimensioneringen på den tilltänkta sjöledningen i Lygnern. Dimensionen har säkerställts enligt Svenskt Vattens P110 för att klara av Dyrenäs befintliga och tillkommande bebyggelse. Ledningsdimensionen skulle behöva utökas till 225 mm (PE 225) (AFRY 2023). Ledningsdimensionen 225 mm skulle med marginal klara 100 hushåll (befintliga och tillkommande). Väljs en grövre ledningsdimension innebär det samtidigt att en större volym av avloppsvatten hamnar i

Lygnern vid ett haveri på sjöledningen. Effekten av en grövre ledningsdimension är relevant att beskriva i relation till scenarierna S0, S1, S2, S3, S4 och S7.

Utvidgad hushållsanslutning i Dyrenäs beskrivs nedan för följande scenarier:

- 24 respektive 100 hushåll, ledning 125 mm (PE125)
- 24 respektive 100 hushåll, ledning 225 mm (PE225)

där 24 hushåll är det antalet hushåll som för närvarande har ett möjligt utsläpp till Lygnern (Tabell 3) och 100 hushåll är ett framtida scenario.

Sjövattenhalter vid olika scenarier av utsläpp från Dyrenäs, med olika antal hushåll (24 och 100) och med olika ledningsdimension (125 och 225 mm) visas i Tabell 5. Patogenhalter i Lygnern närmast avloppsutsläpp från Dyrenäs (sjövattenhalter) är detsamma i nuvarande system (scenario S1) som innan ombyggnation av reningsverket (scenario S0), eftersom här fortfarande finns enbart enskilda avlopp. Anläggs en sjöledning som ersätter de enskilda avloppen så blir sjöhalterna noll, så länge inget läckage sker (scenario S2). Vid läckage (scenario S3) sker en påverkan som avspeglar läckageflödet i relation till totalflödet i ledningen och som därmed bara är någon procent av ursprungsscenario. Ett läckage skulle alltså få mindre påverkan än nuvarande scenario med enskilda avlopp, även om antalet hushåll ökar till 100 st.

Tabell 5. Sjövattenhalter vid olika scenarier av utsläpp från Dyrenäs, med nuvarande och framtida antal hushåll och för olika ledningsdimension. Färgskalan på halterna indikerar en relativ nivå, ju rödare desto högre värde.

Scenario	Referens-organism	Nuvarande hushåll (24 st.)		Framtida hushåll (100 st.)	
		PE125	PE225	PE125	PE225
S0 Innan ombyggnation (ursprungsscenario)	E. coli	6,1E+04	6,1E+04	-	-
	Norovirus	1,1E+04	1,1E+04	-	-
	Campylobacter	7,1E+03	7,1E+03	-	-
	Cryptosporidium	2,1E+03	2,1E+03	-	-
S2 Sjöledningar utan utsläpp	E. coli	0	0	0	0
	Norovirus	0	0	0	0
	Campylobacter	0	0	0	0
	Cryptosporidium	0	0	0	0
S3 Sjöledning Dyrenäs läckage	E. coli	1,1E+03	1,1E+03	4,4E+03	4,4E+03
	Norovirus	1,4E+02	1,4E+02	4,6E+02	4,6E+02
	Campylobacter	6,3E+01	6,3E+01	9,5E+01	9,5E+01
	Cryptosporidium	5,7E+00	5,7E+00	2,8E+01	2,8E+01
S4 Sjöledning Dyrenäs brott	E. coli	1,6E+05	5,2E+05	1,6E+05	5,2E+05
	Norovirus	2,1E+04	6,9E+04	1,7E+04	5,4E+04
	Campylobacter	9,5E+03	3,1E+04	3,5E+03	1,1E+04
	Cryptosporidium	8,7E+02	2,8E+03	1,0E+03	3,3E+03
S7 Sjöledning nödbräddn. nivå 2 Dyrenäs	E. coli	1,1E+05	1,1E+05	4,4E+05	4,4E+05
	Norovirus	1,3E+04	1,3E+04	4,0E+04	4,2E+04
	Campylobacter	6,2E+03	6,1E+03	1,2E+04	9,8E+03
	Cryptosporidium	2,7E+03	2,1E+03	1,5E+03	1,5E+03

Patogenhalter vid brott på sjöledningen från Dyrenäs (scenario S4) skulle kunna överskrida ursprungsscenarioet, särskilt för *E. coli* och *Cryptosporidium*. En grövre ledningsdimension skulle orsaka högre halter. Ett brott på sjöledningen i kombination med nödräddning nivå 2 (scenario S7) är mycket osannolikt och skulle också orsaka högre halter jämfört med ursprungsscenarioet.

Valet av ledningsdimension (PE125 eller PE225) skulle göra skillnad främst vid ett brott på sjöledningen från Dyrenäs (S4), eftersom en större volym av avloppsvatten skulle spridas ut från en grövre ledning. Valet av ledningsdimension skulle även göra en viss skillnad i nödräddning nivå 2 i kombination med brott på nämnda sjöledning (S7).

Ovan har visats vilka halter av *E. coli* som kan uppstå i Lygnern närmast en utsläppspunkt, samt hur halterna av *E. coli* och av referenspatogenerna skulle påverkas beroende på ledningsdimension. Vilka patogenhalter som kan nå ett råvattenintag till följd av avloppsutsläpp styrs främst av utspädning och transporttid med tillhörande avdödning/inaktivering, men är olika för normalflöde, bräddning och nödräddning. På samma vis kommer råvattenhalterna att variera beroende på driftförhållanden.

4.2 HALTER VID RÅVATTENINTAG

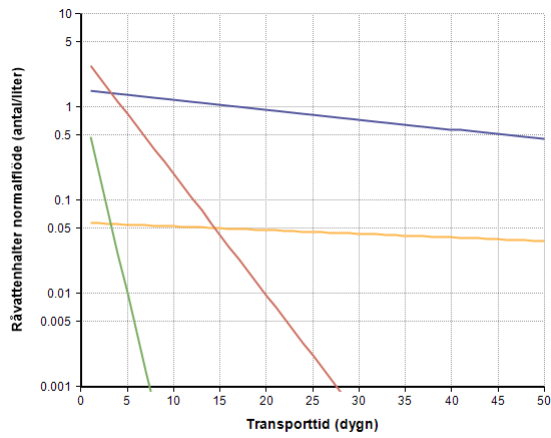
I det följande visas resultat enbart för ledningsdimensionen PE225, eftersom ett brott på en sådan skulle orsaka högre halter i Lygnern.

4.2.1 DRIFTFALL NORMALFLÖDE

I Figur 7 visas, uppifrån och ner, situationen vid normalflöde och för scenarierna innan ombyggnation (S0), med nuvarande system (S1) och med framtida system med ledningsbrott på en sjöledning från Dyrenäs (S4). Diagrammen till vänster visar en situation där avloppsutsläppet späds ut i 5 % av den totala sjövolymen i Lygnern, vilket exemplifierar en spridning till ett närliggande framtida råvattenintag, exempelvis om Sätilla börjar ta ytvatten från Lygnern. Diagrammen till höger visar en situation där avloppsutsläppet späds ut i 50 % av den totala sjövolymen, vilket exemplifierar en spridning till Fjärås råvattenintag i andra änden av sjön. Halterna blir då 10 gånger lägre om transporttiden skulle vara densamma. Men eftersom transporttiden blir desto längre, kanske omkring 30 dygn vid en beräkning av inaktivering av *E. coli* (se avsnitt 3.3), bidrar inaktiveringen till ännu lägre halter.

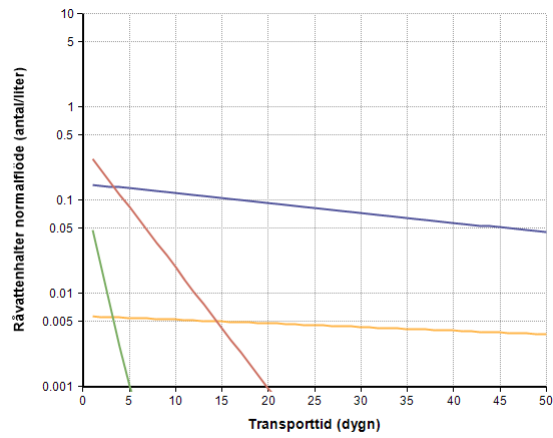
Ombyggnationen av avloppssystemet (S1) har åstadkommit en minskning av patogenhalter vid råvattenintag under normalflöde, jämfört med hur systemet tidigare såg ut (S0). Minskningen är liten sett till troligaste patogenhalten, och syns knappt i diagrammen i Figur 7 där y-axeln är logaritmisk. Den stora skillnaden uppnås om de enskilda avloppen ersätts med sjöledningar utan utsläpp, då detta helt skulle ta bort patogenspridningen till Lygnern under normalflöde. Även vid ett brott på sjöledning från Dyrenäs i ett sådant system (S4) skulle halterna vara lägre än innan ombyggnation (nedersta diagrammen i Figur 7). Att skillnaden här främst märks på patogener och mindre på *E. coli* beror på att *E. coli* utsöndras av alla personer medan enbart infekterade personer utsöndrar patogener.

S0 Innan ombyggnation, 5% av sjön



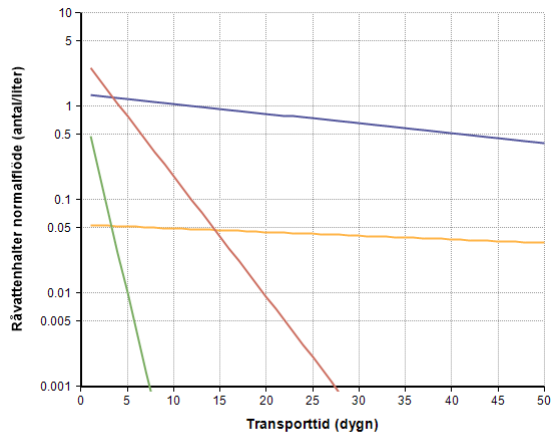
Referens-organismer
 E. coli Norovirus Campylobacter Cryptosporidium

S0 Innan ombyggnation, 50% av sjön



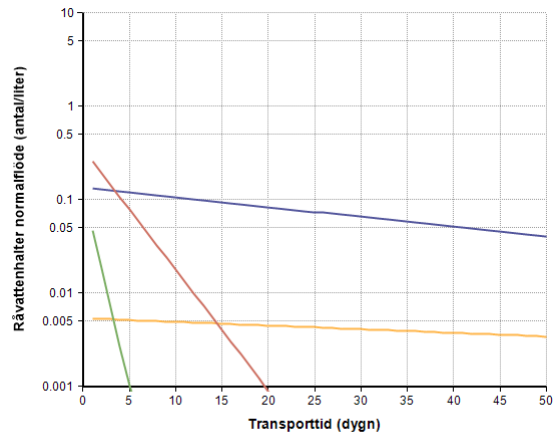
Referens-organismer
 E. coli Norovirus Campylobacter Cryptosporidium

S1 Nuvarande system, 5% av sjön



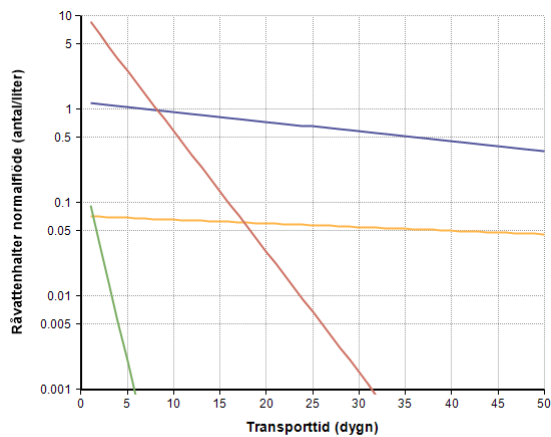
Referens-organismer
 E. coli Norovirus Campylobacter Cryptosporidium

S1 Nuvarande system, 50% av sjön



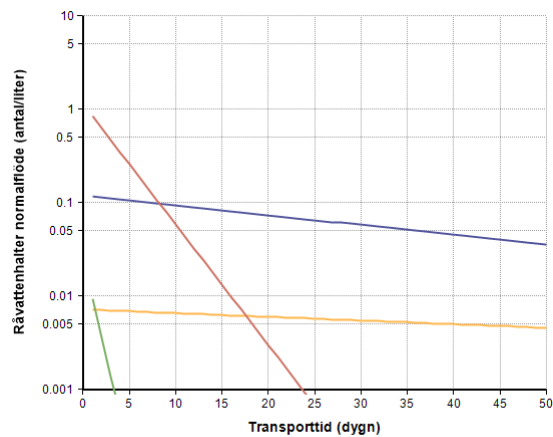
Referens-organismer
 E. coli Norovirus Campylobacter Cryptosporidium

S4 Framtida system, ledningsbrott, 5% av sjön



Referens-organismer
 E. coli Norovirus Campylobacter Cryptosporidium

S4 Framtida system, ledningsbrott, 50% av sjön



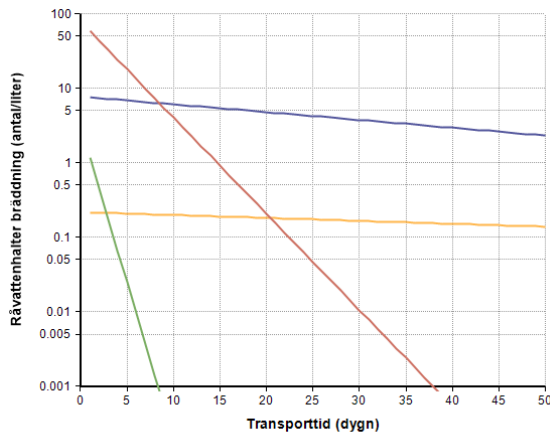
Referens-organismer
 E. coli Norovirus Campylobacter Cryptosporidium

Figur 7. Råvattenhalter vid normalflöde innan ombyggnation (scenario S0), med nuvarande system (S1) och vid ett framtida system med ledningsbrott på sjöledning från Dyrenäs (S4). Halter vid olika grad av utspädning i Lygnern (5 och 50 % av sjövolymen) och som funktion av transporttid från utsläppspunkten.

4.2.2 DRIFTFALL BRÄDDNING

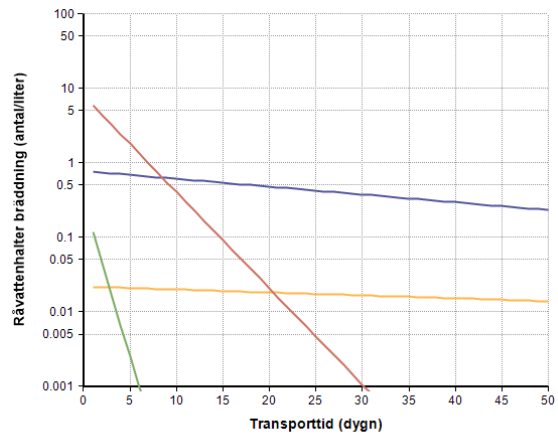
I Figur 8 visas situationen vid bräddning och för scenarierna innan ombyggnation (S0), med nuvarande system (S1) och med framtida system med ledningsbrott från en sjöledning från Dyrenäs (S4). Vid bräddning blir halterna i sjön och vid ett potentiellt råvattenintag lägre i S1 jämfört med S0, såväl för *E. coli* som för patogener. Än lägre halter skulle åstadkommas med det nya systemet (S2, visas ej) när de enskilda avloppen i Dyrenäs och Flohult avlägsnats. Även om ett ledningsbrott skulle inträffa på ledningen från Dyrenäs (S4), samtidigt som det bräddar från övriga punkter, skulle halterna inte bli högre jämfört med nuvarande system (S2) med enskilda avlopp i Dyrenäs och Flohult.

S0 Innan ombyggnation, 5% av sjön



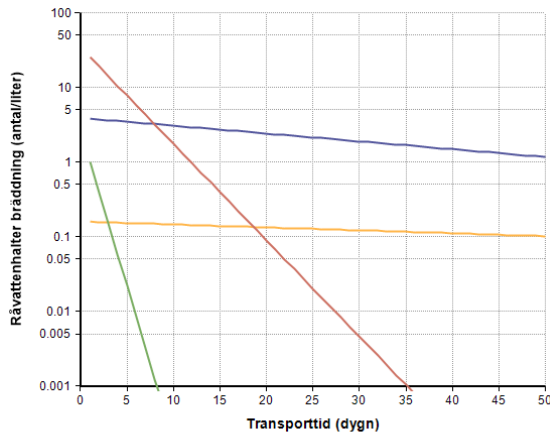
Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

S0 Innan ombyggnation, 50% av sjön



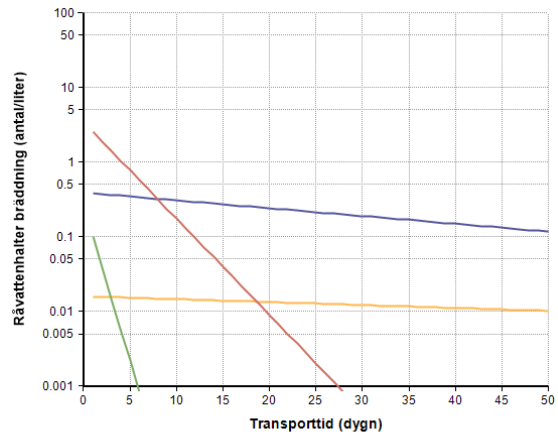
Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

S1 Nuvarande system, 5% av sjön



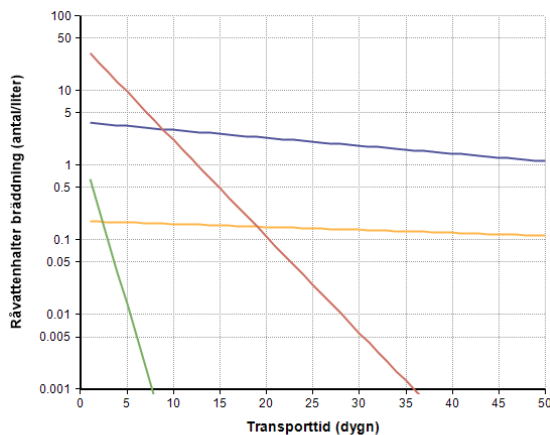
Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

S1 Nuvarande system, 50% av sjön



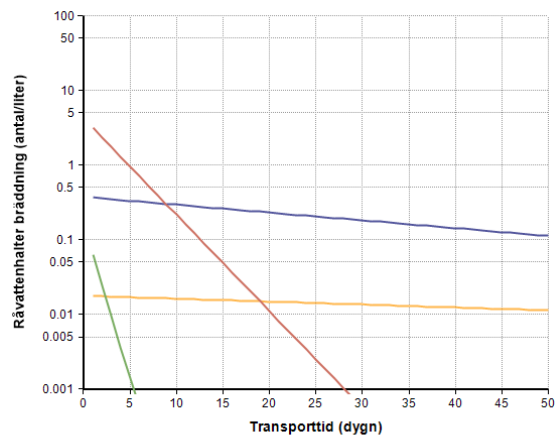
Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

S4 Framtida system, ledningsbrott, 5% av sjön



Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

S4 Framtida system, ledningsbrott, 50% av sjön



Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

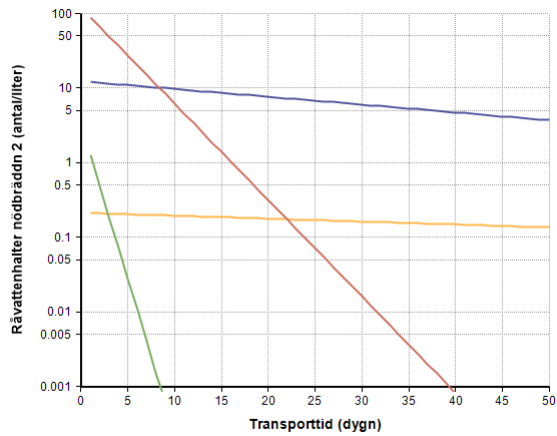
Figur 8. Råvattenhalter vid brädning innan ombyggnation (scenario S0), med nuvarande system (S1) och vid ett framtida system med ledningsbrott på sjöledning från Dyrenäs (S4). Halter vid olika grad av utspädning i Lygnern (5 och 50 % av sjövolymen) och som funktion av transporttid från utsläppspunkten.

4.2.3 DRIFTFALL NÖDBRÄDDNING

I Figur 9 visas situationen vid bräddning kombinerad med nödbräddning för scenarierna innan ombyggnation (S0), med nuvarande system (S1) och med framtida system med ledningsbrott från en sjöledning från Dyrenäs (S4). I det gamla systemet (S0) kunde nödbräddning nivå 1 inträffa vid reningsverket i Sätilla, men även vid pumpstationerna. Med nuvarande och med framtida system ökar antalet bräddpunkter, dock minskar möjligheterna till vanlig bräddning och endast den sällsynta händelsen nödbräddning nivå 2 förekommer på flera ställen (Tabell 2).

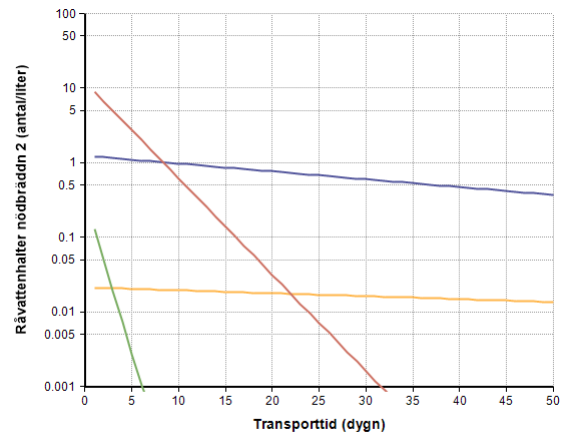
Om nödbräddning nivå 2 skulle inträffa på flera ställen samtidigt, så skulle råvattenhalterna bli något högre jämfört med vid utsläpp från det gamla systemet. I en sådan mycket osannolik situation skulle ett ledningsbrott på en sjöledning från Dyrenäs (S4) inte göra någon skillnad. Scenario S4 med nödbräddning nivå 2 på flera ställen samtidigt bedöms dock vara extremt osannolik, eftersom redan en nödbräddning nivå 2 är en sällsynt händelse (se vidare avsnitt 4.3).

S0 Innan ombyggnation, 5% av sjön



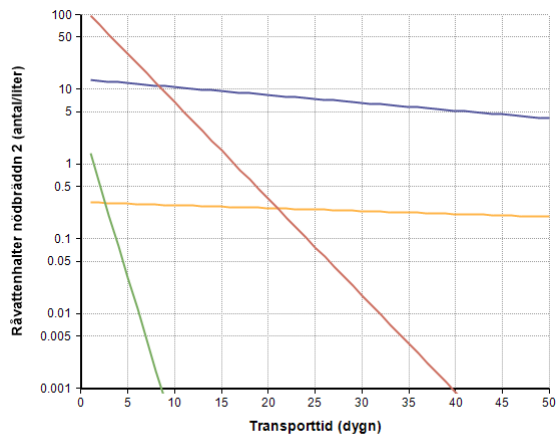
Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

S0 Innan ombyggnation, 50% av sjön



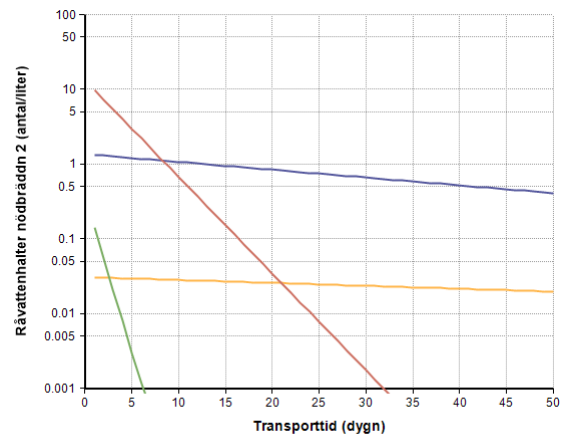
Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

S1 Nuvarande system, 5% av sjön



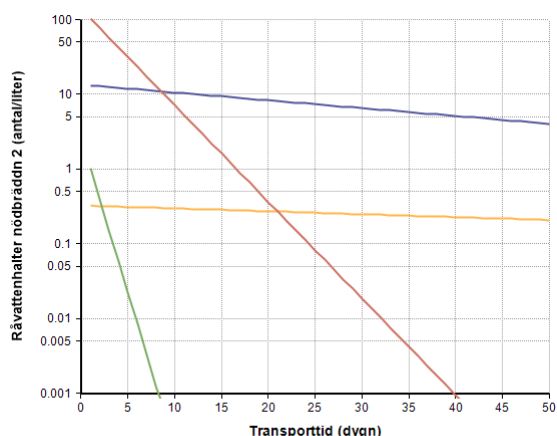
Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

S1 Nuvarande system, 50% av sjön



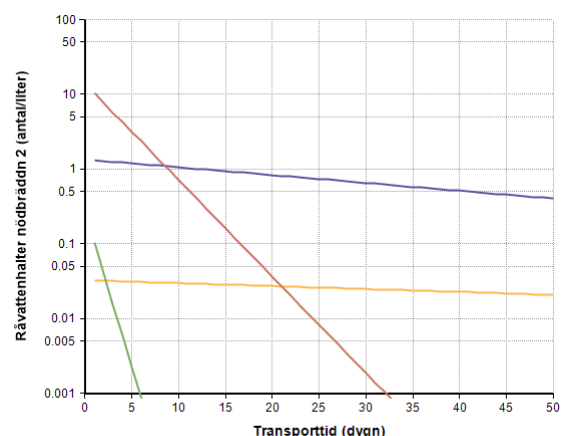
Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

S4 Framtida system, ledningsbrott, 5% av sjön



Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

S4 Framtida system, ledningsbrott, 50% av sjön



Referens-organismer
 — E. coli — Norovirus — Campylobacter — Cryptosporidium

Figur 9. Råvattenhalter vid nödbreddning innan ombyggnation (scenario S0), med nuvarande system (S1) och vid ett framtida system med ledningsbrott på sjöledning från Dyrenäs (S4). Halter vid olika grad av utspädning i Lygnern (5 och 50 % av sjövolymen) och som funktion av transporttid från utsläppspunkten.

4.3 SANNOLIKHET FÖR OLIKA UTSLÄPPSHÄNDELSER

Risk definieras vanligen som produkten av konsekvens och sannolikhet. I detta fall är konsekvensen utsläpp av patogener, men den faktiska hälsorisen beror både på sannolikheten för utsläpp och på vilken mikrobiologisk log-reduktion som finns på det vattenverk som använder Lygnern som råvattentäkt. Med det gamla avloppssystemet (scenario S0) skedde dagliga utsläpp från Sätila reningsverk (ARV), en utsläppspunkt som inte längre finns kvar. Även från bräddpunkten Sätila ARV Gamla verket har det historiskt ofta skett utsläpp, men den utsläppspunkten finns inte kvar i det nya avloppssystemet. Sannolikhet för utsläpp per år från olika utsläppspunkter, tidigare såväl som nya, redovisas som percentilvärden i Tabell 6. Längst till höger anges om utsläppspunkten finns kvar i det nya avloppssystemet. Dyrenäs AP är ännu inte installerad ("kommande"). Från de nya pumpstationerna väntas nödräddning nivå 2 kunna inträffa, men detta så sällan att det med över 95 % sannolikhet inte inträffar under ett år (värdet 0 för 95-percentilen).

Tabell 6. Sannolikhet för utsläpp från olika kategorier av utsläppspunkter, redovisat som percentilvärden. Längst till höger anges om utsläppspunkten finns kvar i det nya avloppssystemet.

Kategori	Utsläppspunkt	Utsläpp per år (percentiler)			Kommentar
		50	95	99	
Reningsverk	Sätila ARV utgående	365	365	365	Borttagen
	Sätila ARV Gamla verket	473	509	524	Borttagen
Bräddning	AP6102 Sätila sand	24	32	36	Åtgärdad ^a
	AP6105 Smälteryd	13	19	22	
	AP6107 Strömma	3	6	7	
	AP6103 Tegelbruket	12	18	20	
	AP Lurekullen	0	1	1	
Nödräddning nivå 2	AP6109 Ryda	0	0	1	
	AP6110 Sätila	0	0	1	
	AP 6111 Blåsås	0	0	1	
	AP Dyrenäs	0	0	1	Kommande
Läckage	Läckage på sjöledning	0	0	1	-
Ledningsbrott	Brott på sjöledning	0	0	1	-

^aÅtgärder har genomförts för att minska sannolikheten för utsläpp härifrån (Marks kommun 2024).

Läckage och ledningsbrott på de planerade sjöledningarna är alltså händelser med mycket låg sannolikhet. Åtgärder kommer att vidtas för att detektera ett läckageflöde motsvarande 1 % av ledningens normalflöde. Detta sker genom att induktiva mätare installeras vid Dyrenäs pumpstation som kan upptäcka läckage och slå av pumparna automatiskt.

Denna utredning har fokuserat på konsekvensen av avloppsutsläpp, uttryckt som potentiella halter av mikroorganismer i sjövattnet och råvattnet. Som framgår av de olika figurerna har ombyggnationen av avloppssystemet gett klara förbättringar i form av minskade utsläpp av mikroorganismer till Lygnern. Ännu större förbättringar skulle åstadkommas om de enskilda avloppen i Dyrenäs och Flohult anslöts till det kommunala systemet, samt att åtgärder gjordes för att minska bräddningarna från gamla pumpstationer som saknar magasin idag. När dessutom sannolikheten för utsläpp i det nya systemet är låg, så blir den totala risken för negativ hälsopåverkan via råvattnet mycket låg jämfört med hur avloppssystemet såg ut innan ombyggnation.

5 REFERENSER

- AFRY (2023) *Förslag till VA-försörjning av Flohult och Dyrenäs, Marks kommun. Sjöledning*. Utkast 2023-02-10. Marks kommun. AFRY: 20 sidor.
- Fredenberg, Å. & Thörnqvist, K. (2008) *Enskilda avlopp längs Göta älv - råvattenpåverkan med avseende på patogena mikroorganismer*. Examensarbete, Vatten Miljö Teknik. Göteborg. Chalmers: 104.
- GR (2020) *Vattenförsörjningsplan för Göteborgsregionen. 2014, uppdaterad 2020*. 148 sidor.
- Livsmedelsverket (2016) *Handbok Dricksvattenrisker. Mikrobiologiska risker i ytvatten*. 48 sidor.
- Livsmedelsverket (2022) *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten*. LIVSFS 2022:12. Livsmedelsverket. Tillgänglig: <https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/om-oss/lagstiftning/dricksvatten---naturl-mineralv---kallv/livsfs-2022-12_web_t.pdf> (2024-11-29): 13 sidor.
- Livsmedelsverket (2024) *Mikrobiologiska säkerhetsbarriärer. Livsmedelsverkets Kontrollwiki, Dricksvatten*. Uppsala. Livsmedelsverket: <https://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/339/mikrobiologiska-sakerhetsbarriarer>.
- Marks kommun (2021) *Personligt meddelande från Göran Olsson, Marks kommun, 2021-06-10*.
- Marks kommun (2024) *Personligt meddelande från Viktor Larsson, Marks kommun, 2024-12-05*.
- Palm, O., Malmén, L. & Jönsson, H. (2002) *Robusta, uthålliga små avloppssystem. En kunskapsammanställning*. Stockholm. Naturvårdsverket: 103 sidor.
- Petterson, S. R., Stenström, T. A. & Ottoson, J. (2016) A theoretical approach to using faecal indicator data to model norovirus concentration in surface water for QMRA: Glomma River, Norway. *Water Research*, vol. 91: 31-37.
- SMHI (2021) *Svenskt vattenarkiv (SVAR). Sjödjup och sjövolym*. Tillgänglig: <<https://www.smhi.se/data/hydrologi/svenskt-vattenarkiv>> (2024-11-29).
- Stenström, T. A. (1996) *Sjukdomsframkallande mikroorganismer i avloppssystem - riskvärdering av traditionella och alternativa avloppslösningar*. Stockholm. Naturvårdsverket och Socialstyrelsen: 187 sidor.
- Tyréns (2019) *Mikrobiologisk påverkan i Lygnern av avloppsutsläpp från Marks kommun*. PM, version 2019-07-05. Marks kommun. Tyréns AB: 19 sidor.
- WHO (2016) *Protecting surface water for health. Identifying, assessing and managing drinking-water quality risks in surface-water catchments*.
- WSP (2020) *Riskbedömning sjöledning i Lygnern, Dyrenäs, Flohult, Blåsås*. Rapport, version 2020-11-11. Marks kommun. WSP: 36 sidor.

WSP (2021) *Personligt meddelande från Ronny Alkanius Källdalen, WSP
Samhällsbyggnad, Halmstad, 2021-06-01.*

Åström, J., Pettersson, T. J. R., Stenström, T. A. & Bergstedt, O. (2009) Variability analysis of pathogen and indicator loads from urban sewer systems along a river. *Water Science and Technology*, vol. 59: 2, ss. 203-212.