



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 24010

Examensarbete 30 hp

Maj 2024

Utredning av tillskottsvatten i Aspeboda

Anna Helsing



UPPSALA
UNIVERSITET

Investigation of excess water in Aspeboda

Anna Helsing

Abstract

Today's sewer systems are designed to divert contaminated wastewater from households to treatment plants. It is unfortunately common that excess water from downpipes and drains that are incorrectly connected to the waste water pipes leak into the pipes. The water dilutes the waste water and leads to consequences such as impaired treatment, increased consumption of chemicals and increased load on both pumping stations and treatment plants. During this master thesis the sources of the excess water on a waste water network in Aspeboda was investigated.

Several methods were used to investigate the excess water on both the public pipes and the private pipes. The methods used were flow analyses, smoke testing in waste water pipes, dye testing of waste water, closed circuit television (CCTV) inspection, ammonium measurement and inventory of basements, downpipes and drains.

The results of the investigation showed several sources of excess water to the waste water pipes in Aspeboda. From the CCTV-inspection of the public pipes both damage and leakage were observed. During smoke testing and dye testing of water, several incorrectly connected downpipes and wells was identified. The ammonium measurements also showed that the wastewater mostly consisted of excess water. From the flow analyses it was also observed that the waste water increased in conjunction with rainfall, which is a result of excess water. To reduce the excess water on the waste water network in Aspeboda, the damage and leakage on the public pipes needs to be repaired and there needs to be a requirement to disconnect the incorrectly connected downpipes and wells.

Keywords: Excess water, infiltration, inflow.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Sofia Billvik Ämnesgranskare: Roger Herbert

Examinator: Antonio Segalini

Referat

Utredning av tillskottsvatten i Aspeboda

Anna Helsing

Dagens avloppssystem är utformade för att avleda förorenat spillvatten från fastigheter till en reningsanläggning. Utöver spillvattnet är det dock vanligt förekommande med vattentillskott från felkopplade stuprör och dräneringar samt att det sker inläckage till spillvattenledningarna. Vattentillskottet bidrar till utspädning av spillvattnet och kallas för tillskottsvatten. Att inte enbart spillvatten leds till spillvattennätet har konsekvenser som försämrad rening, bräddningar, ökad kemikalieförbrukning samt ökad belastning på pumpar och annan utrustning på reningsverk och pumpstationer. Under detta examensarbete undersöks därför källorna till tillskottsvattnet på ett spillvattennät i Aspeboda.

Vid utredning av källorna till tillskottsvattnet användes ett flertal metoder där både de allmänna och privata ledningarna undersöktes. De metoder som användes var flödesanalys, rökning, färgning, TV-inspektion, ammoniummätning samt inventering av källare, stuprör och gallerbrunnar.

Resultatet från utredningen visade att det fanns flera olika källor till tillskottsvattnet på spillvattennätet i Aspeboda. Från filmningen av den allmänna ledningen kunde både skador och inläckage observeras. Vid rökning och färgning av ledningsnätet identifierades ett flertal felkopplade stuprör och gallerbrunnar. Även ammoniummätningen visade att avloppsvattnet till stor del bestod av tillskottsvatten. Vid analys av spillvattenflödet observerades också att spillvattenflödet ökade i samband med nederbörd, vilket är ett resultat av tillskottsvattnet. För att minska vattentillskottet på ledningsnätet i Aspeboda behöver skadorna på de allmänna ledningarna åtgärdas samt krav ställas på bortkoppling av felkopplade stuprör och gallerbrunnar.

Nyckelord: Tillskottsvatten, spillvatten, spillvattennät, dräneringsvatten.

Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära; Uppsala universitet.
Villavägen 16, 752 36 Uppsala.

Förord

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Sofia Billvik (VA-strateg på Falu Energi och Vatten) för all hjälp under arbetets gång med mitt examensarbete. Jag vill också tacka Nina Eadie (VA-ingenjör på Falu Energi och Vatten) som också varit delaktig som handledare under examensarbetet. Från Falu Energi och Vatten vill jag även tacka Henrik Karlsson Nääs för montering och kontroll av flödesmätaren på ledningsnätet.

Antonio Segalini (institutionen för geovetenskaper på Uppsala universitet) har varit examinerare under examensarbetet och Roger Herbert (universitetslektor vid institutionen för geovetenskaper på Uppsala universitet) var ämnesgranskare för examensarbetet. Jag vill tacka Roger för återkoppling och vägledning under examensarbetet.

I rapporten används en flödesanalysmodell från DHI, där jag vill rikta stort tack till Lars-Göran Gustafsson för tillåtelsen att använda modellen och Peter Dimberg för hjälp vid databearbetning och introduktion av modellen. En bild från flödessepareringen i flödesanalysmodellen Future City Flow används också i examensarbetet där tillstånd har givits från Lars-Göran Gustafsson.

I examensarbetet finns också en bild från Svenskt Vatten, som jag beviljats att använda från både författaren Hans Bäckman och Svenskt Vatten, tack för tillåtelsen att använda bilden.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Avloppsvatten är den gemensamma benämningen för allt vatten som ankommer till ett avloppsreningsverk. Avloppsvatten som härstammar från fastigheters toaletter, duschar, diskhoar, golvbrunnar eller andra installationer kallas för spillvatten. Dagens avloppssystem har spillvattenledningarna dit enbart spillvatten tillåts avledas samt separata dagvattenledningarna dit dräneringsvatten och dagvatten avleds. Dräneringsvatten kommer främst från hus med källare, där det är vanligt förekommande att avvattna marken runt om husgrunden. Dagvattnet är ytligt avrinnande vatten från hårdgjorda ytor som tak och asfaltsytor. Till följd av att det tidigare var godkänt att koppla både dagvatten och dräneringsvatten till spillvattennätet, finns det fortsatt många fastigheter som avleder dag- och dräneringsvattnet felaktigt till spillvattenledningarna. Detta medför ett ökat vattentillskott i spillvattenledningarna som kallas för tillskottsvatten. Utöver dag- och dräneringsvattnet kan tillskottsvattnet även härstamma från inläckage av både grund- och dricksvatten till spillvattenledningarna.

Tillskottsvattnet i spillvattenledningarna och de ökade volymerna vatten som ankommer till avloppsreningsanläggningarna medför negativa konsekvenser för både reningsanläggningen och ledningsnätet. Riskerna för att källaröversvämningar inträffar samt att avloppsvatten släpps ut orenat i sjöar och vattendrag ökar till följd av vattentillskottet. Tillskottsvattnet resulterar även i ökade kostnader, slitage, kemikalie- och energiförbrukning på både ledningsnätet och på reningsanläggningarna.

Under examensarbetet utreddes källor av tillskottsvatten på ett spillvattennät i Aspeboda, strax söder om Falun. För att undersöka vart tillskottsvattnet läckte in eller anslöts till spillvattenledningen användes ett flertal metoder som undersökte både de allmänna ledningarna som Falu Energi och Vatten ansvarar för samt de privata ledningarna inom fastigheter, som fastighetsägarna ansvarar för.

Inventering av stuprör och gallerbrunnar genomfördes för att utreda om dagvatten felaktigt kopplades till spillvattennätet. Vid inventeringen kontrollerades om stuprören gick ner i marken och därmed riskerade att vara felkopplade på spillvattenledningen. För att bekräfta att stuprör eller gallerbrunnar var felkopplade röktes och färgades ledningsnätet. Till ledningsnätet tillsattes då rök för att kontrollera hur stuprören var kopplade för att sedan tillsätta färgat vatten i de stuprör och brunnar som misstänktes vara felkopplade. Om det färgade vattnet avledes till spillvattenledningen, bekräftades att stuprören och brunnarna var felkopplade.

Ytterligare metoder som användes för att utreda tillskottsvattnet i spillvattenledningarna var ammoniummätning, flödesanalyser, TV-inspektion samt inventering av källare. Ammoniummätningen genomfördes vid två tillfällen, där spillvattenprover togs från olika delar av ledningsnätet. Vidare mättes ammoniumhalten och utspädningen av spillvattnet analyserades. Eftersom vattentillskottet till ledningarna späder ut spillvattnet och sänker ammoniumhalten, lokaliserades tillskottsvattnet vid de provtagningar där den uppmätta ammoniumhalten var låg. Flödesanalyser utifrån mätningar av spillvattenflöde och nederbörd genomfördes också för att utreda hur spillvattenflödet förändrades vid nederbördstillfällen.

För att undersöka skicket på den allmänna ledningen analyserades filmer inifrån ledningsnätet, med fokus på att upptäcka sprickor, håligheter och andra skador där vatten riskerar att tränga in i spillvattenledningen.

Vid inventeringen av stuprör observerades 53 stuprör som gick ner i mark samt 10 gallerbrunnar som vidare behövde utredas om de var kopplade till spillvattenledningen. Resultatet från rökning och färgning av vatten i stuprören och gallerbrunnarna visade att cirka 1010 m² hårdgjord yta som tak och asfaltsytor var felkopplade på spillvattennätet. Om 10 mm regn då faller inom området resulterar det i att drygt 10 m³ regnvatten avleds till spillvattennätet. Detta flöde motsvarar ungefär 67 fyllda badkar med vatten.

Att spillvattnet var utspätt på grund av tillskottsvattnet bekräftades med ammoniummätningen där den lägsta uppmätta utspädningsgraden var över 2, vilket innebär att mer än 50 % av allt avloppsvatten var tillskottsvatten. Den högsta uppmätta utspädningsgraden på ledningsnätet var drygt 50, vilket motsvarar 98 % tillskottsvatten. Vid analys av filmerna av det allmänna ledningsnätet kunde ett flertal sprickor, rörbrott samt inläckage upptäckas.

Dräneringar förmodas även vara felkopplade på spillvattenledningen, men det har inte fastställts i examensarbetet. Både inventering av källare samt flödesanalyser har genomförts för att få en uppfattning om dräneringar är en bidragande källa till tillskottsvattnet. Av de 16 fastigheterna inom verksamhetsområdet hade 12 byggnader källare och därmed troligtvis även dränering kring husgrunden. Resultatet från flödesanalyserna visade även att spillvattenflödet fortsatt varit högt några dygn efter nederbördstillfället, vilket tyder på att tillskottsvattnet har en trög respons på nederbörd. Den tröga responsen efter nederbörd kan till viss del bero på stigande grundvattennivåer till följd av nederbörden, som vidare bidrar till ökade dräneringsvolymmer. Det finns alltså tecken på att dräneringar är felkopplade, men det kan inte bekräftas av utredningen.

Utredningen av tillskottsvatten på ledningsnätet i Aspeboda fastställde ett flertal källor till tillskottsvattnet. På det allmänna nätet observerades skador och brister på ledningarna, som bidrar med inläckage av grund- och dricksvatten. Vidare inom fastigheterna påvisades ett flertal stuprör och gallerbrunnar felkopplade på spillvattennätet. Källorna av tillskottsvatten kommer alltså från både det allmänna nätet samt de privata ledningarna. För att minska tillskottsvattnet behöver skadorna och bristerna på den allmänna ledningen åtgärdas, exempelvis genom förnyelse av ledningarna. På de privata ledningarna behöver de stuprör och gallerbrunnar som var felkopplade kopplas bort från spillvattennätet. Eftersom felkopplingarna är på de privata ledningarna behöver därför krav ställas på fastighetsägarna om bortkoppling.

Ordlista

Avloppsvatten	En gemensam benämning för spill-, dag-, process-, drän- och kylvatten (Svenskt Vatten 2019).
Basflöde	Det gemensamma begreppet för inläckande vatten och dräneringsvatten (Lundblad & Backö 2012).
Bräddning	Avledning av orenat spillvatten till recipient vid överbelastning i spillvattennätet (Svenskt Vatten 2019).
Dagvatten	Regn- eller smältvatten som avleds ytligt från hårdgjorda ytor, exempelvis takvatten (Clementson et al. 2020).
Förbindelsepunkt	Den juridiska punkt som markerar övergången mellan fastighetens ledning och allmän ledning (Lundblad & Backö 2014).
Rinntid	Avrinningstiden för regnvattnet inom hela avrinningsområdet att avledas till dagvattenutloppet (Svenskt Vatten 2019).
Servisledning	Spillvattenledning på fastighetsägarens sida av förbindelsepunkten (Svenskt Vatten 2019).
Spillvatten	Kontaminerat vatten som avleds från fastigheter via exempelvis toaletter, duschar eller golvbrunnar (Clementson et al. 2020).
Verksamhetsområde	Ett geografiskt avgränsat område där tjänster för vatten och avlopp levereras och omhändertas av VA-huvudman (Falu Energi och Vatten 2008).

Innehåll

1.	Inledning	1
1.1	Syfte och frågeställning.....	1
2.	Bakgrund	3
2.1	Tillskottsvatten.....	3
2.1.1	Basflöde.....	3
2.1.2	Direkt nederbördspåverkan	4
2.1.3	Indirekt nederbördspåverkan	4
2.1.4	Bräddavlopp.....	4
2.1.5	Konsekvenser av tillskottsvatten	4
2.2	Privata vattenledningar.....	5
2.3	Ledningsnätet i Aspeboda	5
2.3.1	Föreläggande från tillsynsmyndighet	8
2.4	Falu Energi och Vattens metodik för systematiskt tillskottsvattenarbete	8
2.5	Flödesanalys.....	8
2.5.1	Grafisk flödesanalys.....	8
2.5.2	Future City Flow	9
2.5.3	Spillvattenavrinning	10
2.6	Ammoniummetoden.....	10
2.7	TV-inspektion	10
2.8	Inventering av stuprör, källare och gallerbrunnar	10
2.9	Röktest	11
2.10	Andra utredningar av tillskottsvatten	11
3.	Metod.....	12
3.1	Utredning	12
3.1.1	Grafisk flödesanalys.....	12
3.1.2	Future City Flow	15
3.1.3	Ammoniummetoden.....	15
3.2	TV-inspektion	16
3.3	Kontroll av VA-anslutningar	17
3.3.1	Inventering av stuprör, källare och gallerbrunnar	17
3.3.2	Röktest.....	17

4.	Resultat	18
4.1	Utredning	18
4.1.1	<i>Grafisk flödesanalys.....</i>	<i>18</i>
4.1.2	<i>Future City Flow</i>	<i>20</i>
4.1.3	<i>Ammoniummetoden</i>	<i>21</i>
4.2	TV-inspektion	23
4.3	Kontroll av VA-anlutningar	24
4.3.1	<i>Inventering av stuprör, källare och gallerbrunnar</i>	<i>24</i>
4.3.2	<i>Rökning</i>	<i>26</i>
5.	Diskussion	28
5.1	Utredning	28
5.1.1	<i>Grafisk flödesanalys.....</i>	<i>28</i>
5.1.2	<i>Future City Flow</i>	<i>30</i>
5.1.3	<i>Ammoniummetoden</i>	<i>30</i>
5.2	TV-inspektion	31
5.3	Kontroll av VA-anlutningar	31
5.4	Sammanställning av källor till tillskottsvattnet.....	31
5.5	Felkällor	33
5.5.1	<i>Flödesmätare vid pumpstationen</i>	<i>33</i>
5.5.2	<i>Future City Flow</i>	<i>33</i>
5.5.3	<i>Ammoniummetoden</i>	<i>34</i>
5.5.4	<i>TV-inspektion</i>	<i>34</i>
5.6	Åtgärder på ledningsnätet	34
5.7	Fortsatt utredning	35
6.	Slutsatser	37
	Referenser	38
	Bilagor	41
	Bilaga 1	41
	Bilaga 2	43
	Bilaga 3	44
	Bilaga 4	46
	Bilaga 5	47

1. Inledning

Dagens vatten- och avloppssystem är utformade för att avleda dag- och spillvatten separerat i varsina ledningar, vilket kallas för duplikatsystem (Svenskt Vatten 2019). Vid nederbörd och snösmältning ska vatten via dräneringar, brunnar, takavlopp och andra hårdgjorda ytor då avledas till dagvattenledningarna eller lokalt omhändertas inom fastigheten.

Spillvattenledningarna är inte utformade för att avleda nederbörd eller smältvatten, utan enbart spillvatten. Det har dock visat sig att vattenvolymer i spillvattennätet kan öka vid nederbördstillfällen, vilket indikerar att regn- och smältvatten felaktigt avleds eller läcker in i spillvattennätet (Svenskt Vatten 2019). Det oönskade vattentillskottet som ankommer till spillvattennätet kallas för tillskottsvatten.

Det ökade tillskottet av vatten bidrar till en ökad belastning på både spillvattennät och reningsverk, där andelen tillskottsvatten som ankommer till reningsverken utgör ungefär hälften av allt avloppsvatten (Lundblad & Backö 2012). Den ökade belastningen medför en ökad risk för bräddningar på ledningsnätet samt översvämningar i källare. Att det dessutom ankommer ytterligare vatten utöver spillvattnet till reningsverken har betydelse för reningsprocessen, som försämras till följd av utspädningen (Åkerblom et al. 2020). Tillskottsvattnet utgör alltså en betydande negativ påverkan på funktionen av både ledningsnät och reningsverk (Lundblad & Backö 2012; Åkerblom et al. 2020).

Enligt prognoser för framtida klimat i både Sverige och Falun förväntas den årliga nederbördsmängden och förekomsten av intensiva regnfall att öka (Lundblad & Backö 2012; Sjökvist et al. 2022). Detta innebär att belastningen från felkopplade ytor och inläckage kommer öka ytterligare i framtiden och eftersom många ledningsnät redan innan klimatförändringarna är högt belastade riskerar tillskottsvatten att ha en betydande påverkan (Lundblad & Backö 2012). Bräddningar och källaröversvämningar riskerar därmed att inträffa mer frekvent i framtida klimat.

Källor till tillskottsvattnet kan exempelvis vara brister, skador eller felanslutningar på både de allmänna och privata ledningarna (Lundblad & Backö 2012). Vid brister och skador på ledningsnätet riskerar grund-, dag- och dricksvatten att tränga in i ledningsnätet. Felaktiga avledningar av dräneringsvatten till spillvattenledningen är även vanligt förekommande (Svenskt Vatten 2019). Eftersom källorna till tillskottsvattnet kan vara många är det viktigt att utreda källor på ledningsnätet, för att vidare vidta lämpliga åtgärder för att effektivt minska tillskottsvattnet (Lundblad & Backö 2012). Källorna till tillskottsvattnet kan exempelvis utredas med hjälp av rökning, ammoniummätning, filmning eller flödesanalys. Dessa metoder används i examensarbetet för att utreda källorna av tillskottsvatten i Aspeboda.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med examensarbetet är att utreda källorna till tillskottsvattnet på spillvattennätet i Aspeboda, för att Falu Energi och Vatten vidare ska kunna åtgärda brister och felanslutningar. På sikt är därmed syftet med examensarbetet att minska tillskottsvattnet på spillvattennätet i Aspeboda.

För att utreda tillskottsvattnet kommer följande frågeställning besvaras:

- Från vilka källor kommer tillskottsvattnet på spillvattennätet i Aspeboda?

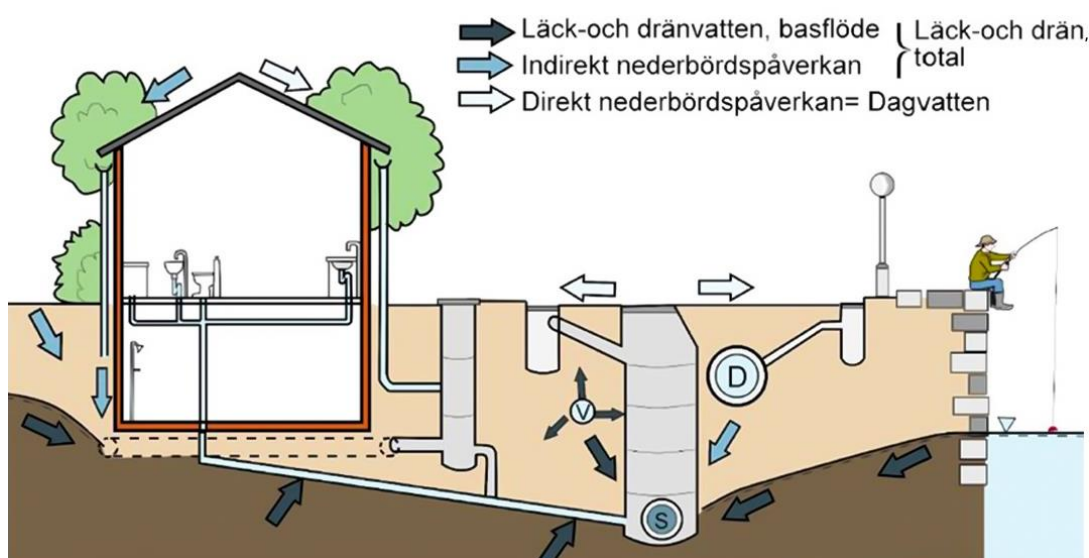
2. Bakgrund

I bakgrunden beskrivs olika källor till tillskottsvatten, konsekvenser av tillskottsvattnet, ledningsnätet i Aspeboda samt olika metoder som används för att utreda källor av tillskottsvatten.

2.1 Tillskottsvatten

I spillvattennätet transporteras inte enbart spillvatten utan inläckage och felkopplingar resulterar i att tillskottsvatten leds i spillvattennätet (Lundblad & Backö 2012).

Tillskottsvatten är den gemensamma benämningen för allt vatten som transporteras i spillvattenledningarna som inte är spillvatten. Källorna till tillskottsvattnet kan vara inläckage av grund-, dag- och dricksvatten samt felkopplade dräneringar, takavlopp och andra hårdgjorda ytor (se figur 1). Inläckage av sjö- och havsvatten kan även förekomma på ledningsnätet via bräddavlopp till följd av höga vattennivåer i recipienter och vattendrag. Källorna till tillskottsvatten delas vanligen in i tre faktorer som illustreras i figur 1 nedan; basflöde, direkt nederbördspåverkan och indirekt nederbördspåverkan.



Figur 1: Olika källor av tillskottsvatten, där spillvattenledningen (S), dagvattenledningen (D) och vattenledningen (V) är markerade (Svenskt Vatten 2019:19, med tillstånd).

2.1.1 Basflöde

Dränerings- och läckvatten utgör vanligen det största bidraget till tillskottsvatten i spillvattenledningarna och benämns som basflöde (Lundblad & Backö 2012).

Dräneringsvatten är grundvatten som dräneras från husgrunder eller andra avvattnade ytor och bidrar till tillskottsvattnet om det felaktigt avleds till spillvattennätet (Clementson et al. 2020), i stället för att avledas till en dagvattenledning eller lokalt omhändertas på fastigheten (Lundblad & Backö 2014). En bidragande anledning till att det förekommer felkopplade dräneringar beror på att det innan 1950-talet var tillåtet att koppla dagvatten till det kombinerade ledningssystemet (Lundblad & Backö 2012). Efter 1950-talet övergick man från att anlägga kombinerade avloppssystem till dublikatsystem, där dag- och spillvatten

separerades i varsina ledningar (Svenskt Vatten 2019). Vid omställningen utformades systemet för att avleda dagvatten från stuprör, brunnar och andra hårdgjorda ytor till dagvattenledningen, samtidigt som dräneringsvattnet fortsatt anslöts till spillvattenledningen. Anledningen till den fortsatta avledningen på spillvattennätet grundade sig i att dräneringsledningarna var anpassade för att via självfall avleda dräneringsvatten till spillvattenledningarna som var lägst placerade i rörgraven. Att avleda dräneringsvatten till spillvattennätet är dock inte längre tillåtet (se avsnitt 2.2). Trots detta befarar Svenskt Vatten (2019) att 60–70 % av alla dräneringar fortsatt leds på spillvattennätet i Sverige.

Läckvatten är inläckage av grund- och dricksvatten i spillvattenledningarna där exempelvis skador, sprickor eller otäta fogar på spillvattennätet förekommer (Lundblad & Backö 2012). Omkringliggande mark, grundvatten och annan yttre belastning är bidragande faktorer till att brister på ledningsnätet uppkommer och att vatten läcker in i ledningarna.

2.1.2 Direkt nederbördspåverkan

Den direkta nederbördspåverkan är tillskottsvatten från takavlopp, spygatter och dagvattenbrunnar som avleder nederbörd från hårdgjorda ytor direkt till spillvattennätet och ger en snabb påverkan vid nederbörd (Lundblad & Backö 2012; Lundblad & Backö 2014). Till följd av den snabba nederbördspåverkan utgör denna källa av tillskottsvatten det största bidraget till att bräddningar och källaröversvämningar inträffar på ledningsnätet (Clementson et al. 2020).

2.1.3 Indirekt nederbördspåverkan

Vidare kan nederbörden bidra med indirekt nederbördspåverkan som ofta är fördröjd i förhållande till regntillfället (Clementson et al. 2020). En källa av tillskottsvatten som har indirekt nederbördspåverkan är dagvatteninträngning på spillvattennätet från läckande dagvattenledningar (Clementson et al. 2020). Regnfallet kan även generera ökade grundvattennivåer vilket ger en indirekt nederbördspåverkan hos felkopplade dräneringar som därmed dränerar mer grundvatten till spillvattennätet (Lundblad & Backö 2012).

2.1.4 Bräddavlopp

Bräddavlopp på spillvattennätet används för att avleda spillvatten när belastningen är för hög i ledningarna och in till avloppsreningsverken (Svenskt Vatten 2019). Spillvattnet avleds då till närliggande recipienter och vattendrag utan att renas. Genom att avleda spillvattnet via bräddavlopp minskar belastningen på ledningsnätet och därmed även risken för att spillvatten tränger upp i källare som är anslutna till spillvattennätet om det är överbelastat. Utloppet av bräddavloppen medför dock en risk för att vatten tränger sig in bakvägen in i spillvattennätet vid höga vattennivåer, vilket bidrar till tillskottsvatten i spillvattenledningarna (Lundblad & Backö 2012). I samband med klimatförändringarna befaras även vattennivåerna i recipienter att öka i framtida klimat i Falun enligt Sjökvist et al. (2022). I framtida klimat befaras alltså att både bräddningar och vattentillskott vid bräddutloppen kommer inträffa mer frekvent.

2.1.5 Konsekvenser av tillskottsvatten

Den ökade belastningen på spillvattennätet från tillskottsvattnet leder till ett flertal negativa konsekvenser (Scherling et al. 2023). Tillskottsvattnet resulterar i en ökad energi- och

kemikalieförbrukning på reningsverken samt att riskerna för slamflykt ökar (Scherling et al. 2023; Clementson et al. 2020). På både reningsverken och ledningsnätet ökar tillskottsvattnet belastningen på pumparna, bassänger och andra reningsprocesser vilket i sin tur ökar behovet av underhåll och förnyelse (Scherling et al. 2023; Clementson et al. 2020). Detta medför i sin tur att även driftkostnaderna ökar för anläggningarna (Scherling et al. 2023).

När det gäller bräddningar är bidrag av tillskottsvatten den största bidragande anledningen till att avloppsvattnet leds förbi reningsverk och direkt ut i recipient (Clementson et al. 2020). Bräddningen av det orenade avloppsvattnet ut i recipienter och vattendrag medför även risk för att smittor sprids i omgivningen. Dessutom har det bräddade spillvattnet inte passerat reningsprocessen på reningsverket för att minska halterna av fosfor och kväve, vilket innebär att även näringsbelastningen till recipienten ökar vid bräddning.

Ytterligare en konsekvens av tillskottsvattnet är att möjligheten till nya anslutningar på ledningsnätet begränsas på grund av ledningarnas minskade kapacitet (Scherling et al. 2023).

2.2 Privata vattenledningar

Trots att utredningar och åtgärder har vidtagits hos vatten och avlopps bolag (VA-bolag) förblir tillskottet av vatten till spillvattennätet stort (Lundblad & Backö 2012). Detta beror delvis på att VA-bolag enbart har ansvar för de allmänna ledningarna och läckage och felkopplingar fortsatt sker på de privata ledningarna. Det är därför viktigt att även utreda tillskottsvatten på de privata ledningarnas sida av förbindelsepunkten.

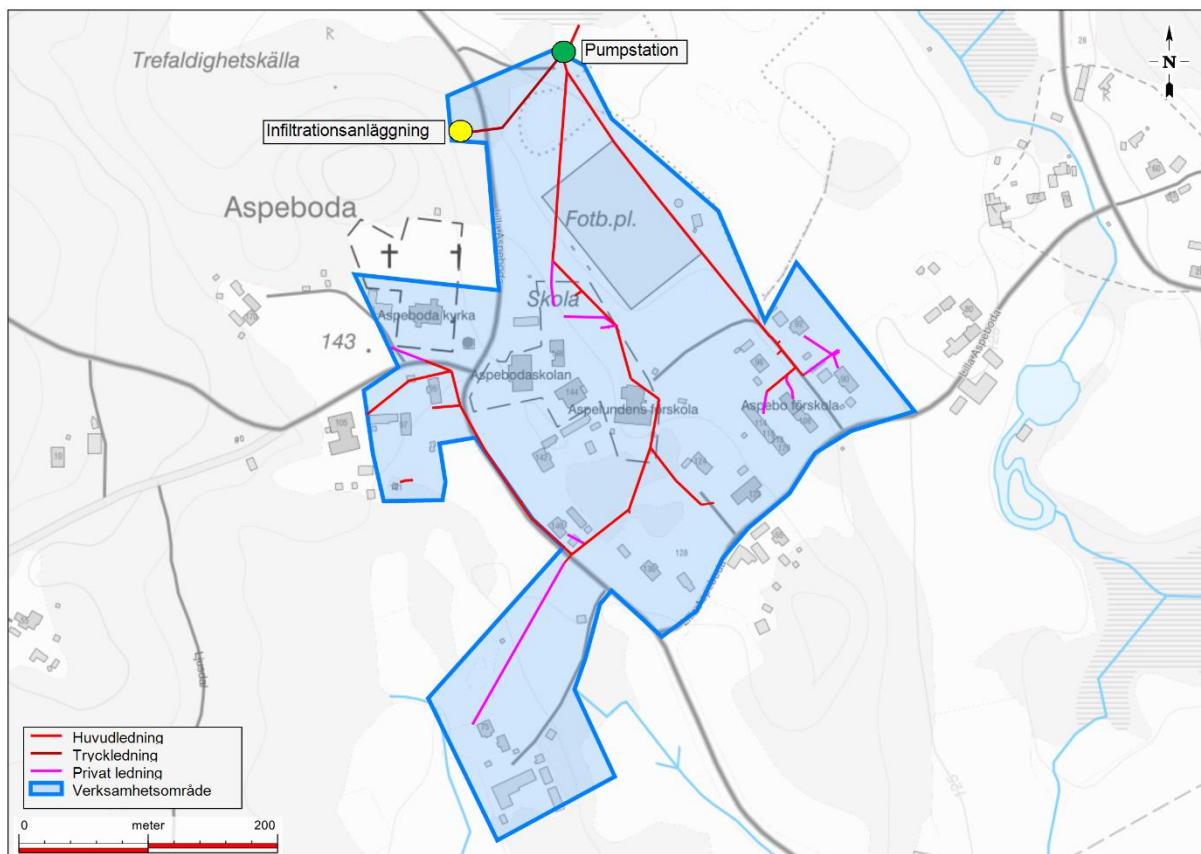
För att minska tillskottsvattnet finns det regler för vad som får släppas ut i de allmänna spillvattenledningarna, där Falu Energi och Vatten (FEV) (2008:5) skriver att ”Dag- och dränvatten får inte tillföras allmän ledning som inte är avsedd för sådant ändamål, om inte FEV av särskilda skäl skriftligen medgivit undantag”. Med stöd av föreskriften har fastighetsägarna inte rätt att släppa ut dräneringsvatten eller dagvatten till spillvattennätet och FEV som är VA-huvudman i Falu Kommun kan därmed ställa krav på att enbart spillvatten får anslutas till spillvattenledningen.

Med anledning av att det inte är tillåtet att ansluta dag- och dränvatten till spillvattennätet måste fastigheter utanför verksamhetsområde för dagvatten omhänderta dagvattnet lokalt på fastigheten (Falu Energi och Vatten 2008; Dala VA u.å.). Avledning, infiltrering eller fördröjning av dagvatten är olika alternativ för att lokalt omhänderta dagvattnet (Dala VA u.å.).

2.3 Ledningsnätet i Aspeboda

Utredningen av tillskottsvatten genomförs på ett spillvattennät i Aspeboda, vilket är en mindre ort belägen mellan Falun och Borlänge (Falu Energi och Vatten u.å.). I Aspeboda finns allmänna ledningar och verksamhetsområde för både dricksvatten och spillvatten. Det finns varken ledning eller verksamhetsområde för dagvatten i Aspeboda, vilket innebär att dagvattnet måste omhändertas lokalt på fastigheten. Verksamhetsområdet för spill- och dricksvatten är drygt 11 hektar och innefattar de centrala delarna av Aspeboda där en kyrka, skola och två förskolor finns (se figur 2). På spillvattennätet finns 16 anslutna fastigheter och

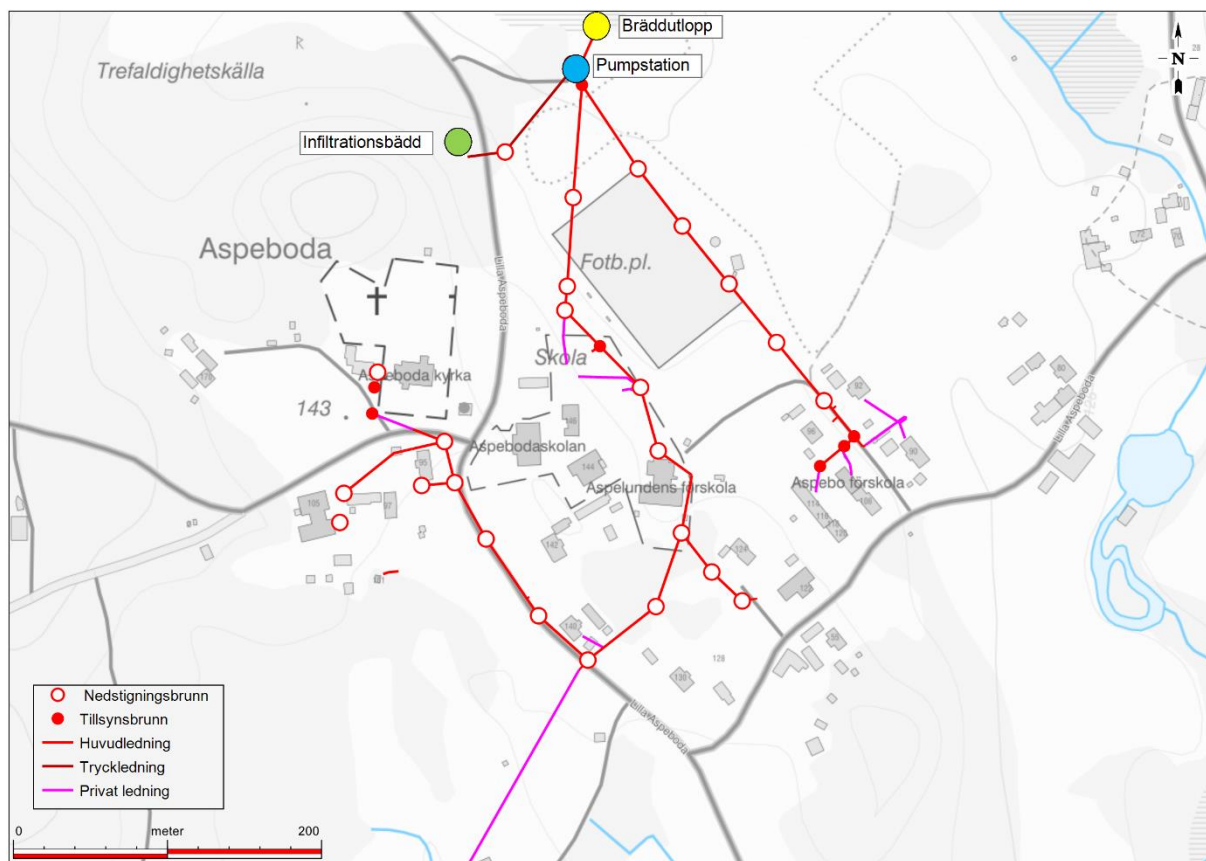
huvudledningen är 1,1 km. Inom verksamhetsområdet för spillvatten finns 38 personer folkbokförda. Spillvattennätet belastas även av 136 skolelever samt 29 lärare (Samuel Chapman 22 mars 2024, personlig kommunikation). På de två förskolorna finns gemensamt 69 barn samt 12 förskolelärare som belastar nätet (Maria Fredriksson 22 mars 2024; Aspebo föräldrakooperativ 25 januari 2024, personlig kommunikation). Vid kyrkan uppskattas belastningen på spillvattennätet till 5 personer, baserat på att det finns 2 anställda som är på plats under vardagarna samt att präst, fastighetsskötare och allmänheten besöker kyrkan (Erik Jackson 22 mars 2024, personlig kommunikation).



Figur 2: Kartbild över verksamhetsområdet för spillvatten i Aspeboda, där Falu Energi och Vatten ansvarar för de rödmarkerade allmänna ledningarna och de rosa ledningarna är privata ledningar (Falu Energi och Vatten u.å.). Pumpstationen är belägen vid den gröna punkten och infiltrationsanläggningen vid den gula punkten.

© Lantmäteriet Falu kommun Geodatasamverkan och Mät & karta, Falu kommun.

Reningsanläggningen på spillvattennätet i Aspeboda består av slamavskiljning och infiltrationsbädd, se figur 3 (Falu Energi och Vatten 2023a). För att avskilja slammet finns tre slambrunnar som avloppsvattnet passerar igenom innan det leds in till pumpstationen (Falu Energi och Vatten u.å.). Från pumpstationen pumpas sedan avloppsvattnet via en trycksatt ledning upp till infiltrationsbädden (se figur 3), där avloppsvattnet vidare infiltreras. Strax innan pumpstationen finns även ett bräddutlopp vid en av de tre slamavskiljarna.



Figur 3: Kartbild över spillvattennätet i Aspeboda, där lokaliseringen av pumpstationen är vid den blåa punkten, bräddutloppet vid den gula punkten och infiltrationsbädden vid den gröna punkten (Falu Energi och Vatten u.å.).
© Lantmäteriet Falu kommun Geodatasamverkan och Mät & karta, Falu kommun.

Ledningsmaterialet på spillvattennätet varierar, där äldre betongrör är det vanligast förekommande materialet på huvudledningen i Aspeboda (Falu Energi och Vatten u.å.). Ledningar av plast och lera förekommer också på nätet. De vanligast förekommande betongledningarna har uppskattats vara från 1964 eller äldre. Ledningarna i plast är från 1992 och ledningarna i lera uppskattas vara äldre än 1964.

I Aspeboda har Falu Energi & Vatten problem med hög andel tillskottsvatten på spillvattennätet, där 92 % av belastningen till pumpstationen beräknades vara tillskottsvatten år 2023 (Falu Energi och Vatten 2024). Andelen tillskottsvatten 2023 beräknades utifrån den debiterade dricksvattenförbrukningen och spillvattenflödet baserat från pumpens gångtider, enligt ekvation 1. Det debiterade dricksvattnet som användes i beräkningen var från uppmätta värden från fastigheters vattenmätare samt schablonvärden för de fastigheter där vattenmätare inte fanns. Det debiterade dricksvattnet var alltså inte helt överensstämmande med den verkliga dricksvattenförbrukningen. Spillvattenavrinningen kan heller inte helt korrekt representeras av dricksvattenförbrukningen, eftersom en del av dricksvattnet exempelvis kan användas till bevattning som därmed inte avleds via spillvattenledningen.

$$\text{Andel tillskottsvatten \%} = \frac{Q_{\text{uppmätt}} - Q_{\text{debiterad}}}{Q_{\text{uppmätt}}} \quad (1)$$

2.3.1 Föreläggande från tillsynsmyndighet

Tillsynsmyndigheten har dömt ut slamavskiljare, infiltrationsbädd samt ledningsnät i Aspeboda (Myndighetsnämnden för bygg- och miljöfrågor 2022). Både slamavskiljare och ledningsnät dömdes ut på grund av inläckage. Skälet för utdömning av infiltrationsbädden var att infiltrationskapaciteten var för låg och att vatten därmed blev ståendes på infiltrationsbädden. Falu Energi och Vatten har alltså krav från tillsynsmyndigheten att både förbättra reningen av spillvattnet samt att minska tillskottsvattnet.

2.4 Falu Energi och Vattens metodik för systematiskt tillskottsvattenarbete

Falu Energi och Vatten har arbetat fram en metodik för att arbeta systematiskt med tillskottsvatten (Billvik 2021). Metodiken är uppdelad i åtta delsteg, och inkluderar både förarbete samt uppföljning när åtgärder har genomförts. Dessa åtta delsteg är:

1. Områdesprioritering
2. Utredning inom prioriterade områden
3. Informationsutskick till fastighetsägare
4. TV-inspektion
5. Kontroll av VA-anlutningar
6. Informationsutskick till fastighetsägare angående åtgärder
7. Åtgärder på de allmänna ledningarna
8. Slutkontroll av vidtagande åtgärder på fastigheter

Under examensarbetet tillämpas enbart delsteg två till fem av metodiken, vilket motsvarar utredning, informationsutskick, TV-inspektion samt anslutningskontroller av ledningsnätet i Aspeboda. De utredningar som genomförs i delsteg två är flödesanalyser och ammoniummätningar. För att kontrollera VA-anlutningarna inventeras först stuprör och gallerbrunnar för att sedan fastställa anslutningarna genom rökning och färgning.

2.5 Flödesanalys

En metod för att utreda källorna av tillskottsvattnet är att jämföra nederbördsdata med flödet i spillvattennätet (Clementson et al. 2020). Under examensarbetet analyseras flödet med två olika metoder; grafiskt samt flödesseparering i modellen Future City Flow. Det är olika flöden som analyseras i respektive modell. Det uppmätta flödet från pumpstationen används som indata till Future City Flow och flödesmätningar från ledningsnätet analyseras grafiskt.

2.5.1 Grafisk flödesanalys

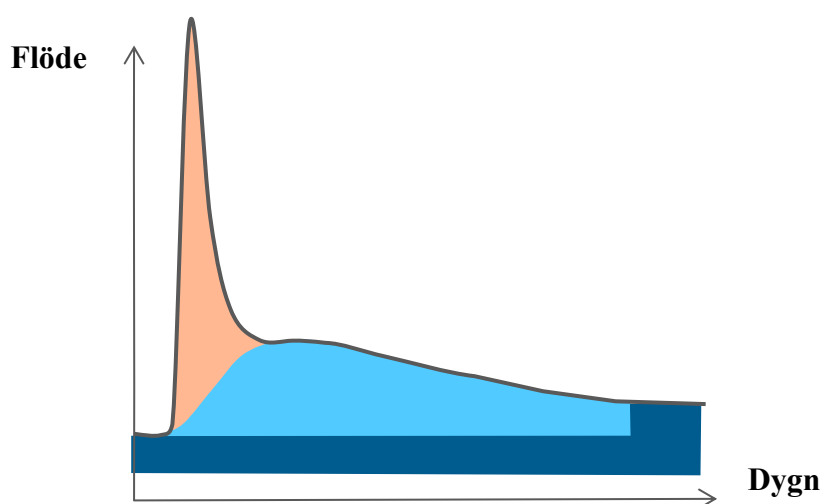
Hydrograf är en grafisk presentation av vattenflödets förändring över tid (Nationalencyklopedin u.å.). I hydrografen presenteras både nederbörd och flöde, vilket möjliggör en kvalitativ analys av spillvattenflödet. Vid ett nederbördstillfälle kan metoden därför användas för att analysera om spillvattenflödet ökat, vilket ger en indikation på om det förekommer felkopplingar på ledningsnätet. Metoden kan även användas för att utreda om

tillskottsvattnet har en snabb respons vid nederbörd eller om den är något fördröjd och avtar långsamt, för att vidare identifiera källorna till tillskottsvattnet.

2.5.2 Future City Flow

Future City Flow är en modell för nyckeltalsberäkning av tillskottsvatten från DHI, som beskrivs i en rapport från Svenskt Vatten Utveckling (Clementson et al. 2020). I stället för att analysera andelen tillskottsvatten i spillvattennätet använder modellen Future City Flow bidragande ytor för att analysera mängden tillskottsvatten. Fördelen med bidragande ytor är att tillskottsvattnet kan presenteras per meter ledning eller per person, vilket gör resultatet från olika områden mer jämförbart.

I modellen fördelas tillskottsvattnet på de tre faktorerna; grundvattenpåverkan, snabb- och trög nederbördspåverkan (Clementson et al. 2020). Dessa faktorer motsvarar samma fördelning av spillvattenflöde som den tidigare nämnda fördelningen; basflöde, direkt- och indirekt nederbördspåverkan, och används vidare i rapporten. Fördelningen mellan källorna av tillskottsvatten baseras på responsen i spillvattennätet vid ett nederbördstillfälle, och illustreras i figur 4.



Figur 4: Flödesseparering i komponenterna snabb nederbördspåverkan markerat som orange, trög nederbördspåverkan markerat som ljusblått samt grundvattenpåverkan markerat i mörkblått (Clementson et al. 2020).

Det ökade bidraget av flöde i spillvattennätet mellan det att nederbörden börjar falla och rinntiden i området definieras som tillskottsvatten med snabb nederbördspåverkan (Clementson et al. 2020). Den tröga nederbördspåverkan är fördröjd i förhållande till nederbörden och det ökade flödet är vanligtvis långsamt avtagande över några dygn. Grundvattenpåverkan har en trög respons på nederbörd och tillskottsvattnet utgörs främst av grundvatten. Årsvariationer har därför stor påverkan på de grundvattenpåverkade volymerna. För beräkning av den bidragande ytan för grundvattenpåverkan krävs därför data för både nederbörd och flöde för en period på minst sex månader (Peter Dimberg 22 mars 2024, personlig kommunikation) .

2.5.3 Spillvattenavrinning

Schablonvärden för spillvattenavrinning används i rapporten, eftersom den debiterade dricksvattenförbrukningen inte motsvarar den verkliga spillvattenavrinningen i Aspeboda. I tabell 1 ses värden för specifik spillvattenavrinning från Svenskt Vattens publikation P110 (Svenskt Vatten 2019), angivet i enheten liter per person och dag.

Tabell 1: Specifik spillvattenavrinning från Svenskt Vattens publikation P110 (2019).

Specifik spillvattenavrinning [l/p.d]	
Småhus	150
Kontorspersonal	60
Elev/förskolebarn	40

2.6 Ammoniummetoden

En annan metod för att lokalisera tillskottsvatten på ledningsnätet är ammoniummetoden, där utspädning av spillvattnet undersöks (Uusijärvi 2013). Anledningen till att ammoniumhalten undersöks beror på att den främsta andelen ammonium i spillvatten härstammar från urin (Malovanyy et al. 2022). Tillskottsvattnet lokaliseras genom mätningar av ammoniumhalten (NH_4^+), där en låg ammoniumhalt indikerar att spillvattnet är utspädd. Som referenspunkt används $45 \text{ mg NH}_4^+ / \text{l}$, vilket enligt Uusijärvi (2013) antas vara koncentrationen av ammonium i rent spillvatten. Vidare tas prover av spillvattnet i flera brunnar på ledningsnätet och halterna av ammonium jämförs med referensvärdet.

2.7 TV-inspektion

För att upptäcka inläckage och skador på ledningarna är TV-inspektion en lämplig metod att använda (Uusijärvi 2013). Ledningarna kan då undersökas inifrån med hjälp av en kamera som manuellt styrs fram i ledningen (Lundblad & Backö 2012). En förutsättning för att upptäcka vattentillskott under filmning är dock att det sker inläckage just när filmningen genomförs (Uusijärvi 2013; Lundblad och Backö 2012). Vid höga grundvattennivåer och nederbördstillfällen är det därför enklare att upptäcka tillskottsvatten. Trots att direkta inläckage är svårare att observera vid filmning under torra väderförhållanden kan brister på ledningar där tillskottsvatten riskerar att tränga in upptäckas (Lundblad & Backö 2012). Exempel på vanligt förekommande observerade fel är ansamling av sediment och fett, sprickor, rörbrott, ytskador, fogförskjutning, rötter, deformation, utfällning samt inträngning av rör (Svenskt Vatten 2006).

2.8 Inventering av stuprör, källare och gallerbrunnar

Inventering av stuprör och gallerbrunnar ger en översiktlig kartläggning av möjliga felkopplade ytor till spillvattennätet (Malm et al. 2011). Inventeringen används sedan till grund för rökningen, där anslutningen av gallerbrunnar samt de stuprör som går ner i mark kontrolleras. Möjliga felkopplade dräneringar kan också utredas med inventering, där antal hus med källare inventeras (Lundblad & Backö 2012).

2.9 Röktest

Röktester genomförs för att undersöka om det finns några felkopplade ytor som stuprör eller gallerbrunnar som avleder vatten från hårdgjorda ytor på spillvattennätet (Pollex u.å.). Röken är oskadlig och används i ledningsnätet för att kontrollera hur ledningarna är anslutna.

Metoden kombineras med färgning av vatten för att fastställa om stuprören eller gallerbrunnarna avleder vattnet till spillvattenledningen. Vid färgning av vatten är det viktigt att arbetet påbörjas nedströms för att undvika att färgat vatten från andra fastigheter påverkar resultatet (Lundblad & Backö 2012).

2.10 Andra utredningar av tillskottsvatten

Tillskottsvatten på spillvattennätet utreds även i andra studier, där olika metoder och strategier används för att lokalisera tillskottsvattnet (Ringqvist 2021; Uusijärvi 2013). En studie av Ringqvist (2021) visade ett tydligt linjärt samband mellan andelen tillskottsvatten och odebiterad dricksvattenförbrukning vid analys av data från 207 kommuner i Sverige.

Liknande samband observerades även i en utredning av tillskottsvatten i Norrköping, där ammoniummetoden användes (Uusijärvi 2013). Vid mätning av låga ammoniumhalter kunde en koppling till läckage av dricksvatten observeras. Ett resultat av användningen av ammoniummetoden för identifiering av tillskottsvatten blev således att metoden även lämpade sig för att utreda läckage på vattenledningarna. Utöver ammoniummetoden identifierade Uusijärvi (2013) även inläckage av dricksvatten med klorreagens i spillvattenledningen. Metoden användes inte i examensarbetet, men för vidare utredning av vattenläckor på ledningsnätet hade metoden varit lämplig. En annan metod för utredning av tillskottsvatten användes i en studie av Sandberg (2021), där temperaturer på spillvattnet analyserades för att upptäcka inläckage. Utredningen visade att 25 % av vattnet som flödade i spillvattenledningen var tillskottsvatten.

3. Metod

Vid utredningen av källorna till tillskottsvattnet undersöktes både de allmänna och privata ledningarna i Aspeboda. Utredningen följde delsteg två till fem i Falu Energi och Vattens metodik för systematiskt tillskottsvattenarbete, se avsnitt 2.4. De utredningar som genomfördes var flödesanalyser, ammoniummetoden, röktest, TV-inspektion och inventering för att kontrollera stuprör, källare och gallerbrunnar.

Det tredje steget i Falu Energi och Vattens metodik var att skicka ut ett informationsbrev till de fastigheter som låg inom verksamhetsområdet för spillvatten. I informationsbrevet fanns information om vad som kommer göras inom området, samt information om vad de som fastighetsägare kan göra för att minska tillskottsvattnet på ledningsnätet. Vidare utreddes källorna av tillskottsvatten på både de allmänna och privata ledningarna enligt steg två, fyra och fem i Falu Energi och Vattens metodik för systematiskt tillskottsvattenarbete.

3.1 Utredning

Det andra steget i Falu Energi och Vattens metodik för systematisk tillskottsvattenarbete var utredning inom området. I utredningen ingick två flödesanalyser samt ammoniummätning som beskrivs nedan.

3.1.1 Grafisk flödesanalys

Mätningar av både flöde och nederbörd presenterades i en hydrograf. Specifika nederbördstillfällen med torrväderdygn både innan och efter valdes ut och presenterades i hydrografer. Vid nederbördstillfället analyserades sedan responsen på spillvattenflödet samt om flödestoppen var fördröjd eller långsamt avtagande. Nedan beskrivs nederbördsräknaren och flödesräknaren, samt hur mätningen av flödet på ledningsnätet genomfördes.

Nederbördsräknare

Nederbördsräknaren ADCONTM Rain Gauge samlade in nederbörd från en yta som var 200 cm² (Adcon 2015). Nederbördsräknaren var utrustad med en behållare som tippade när 0,2 mm vatten hade ansamlats i bägaren. Behållaren var tvådelad och nederbörden ansamlades i en del av bägaren åt gången, samtidigt som den andra delen av bägaren tömdes vid tippning. Nederbördsräknaren registrerade antal tippningar, för mätning av nederbörden. Nederbördsräknaren placerades vid pumpstationen i Aspeboda, se figur 5.

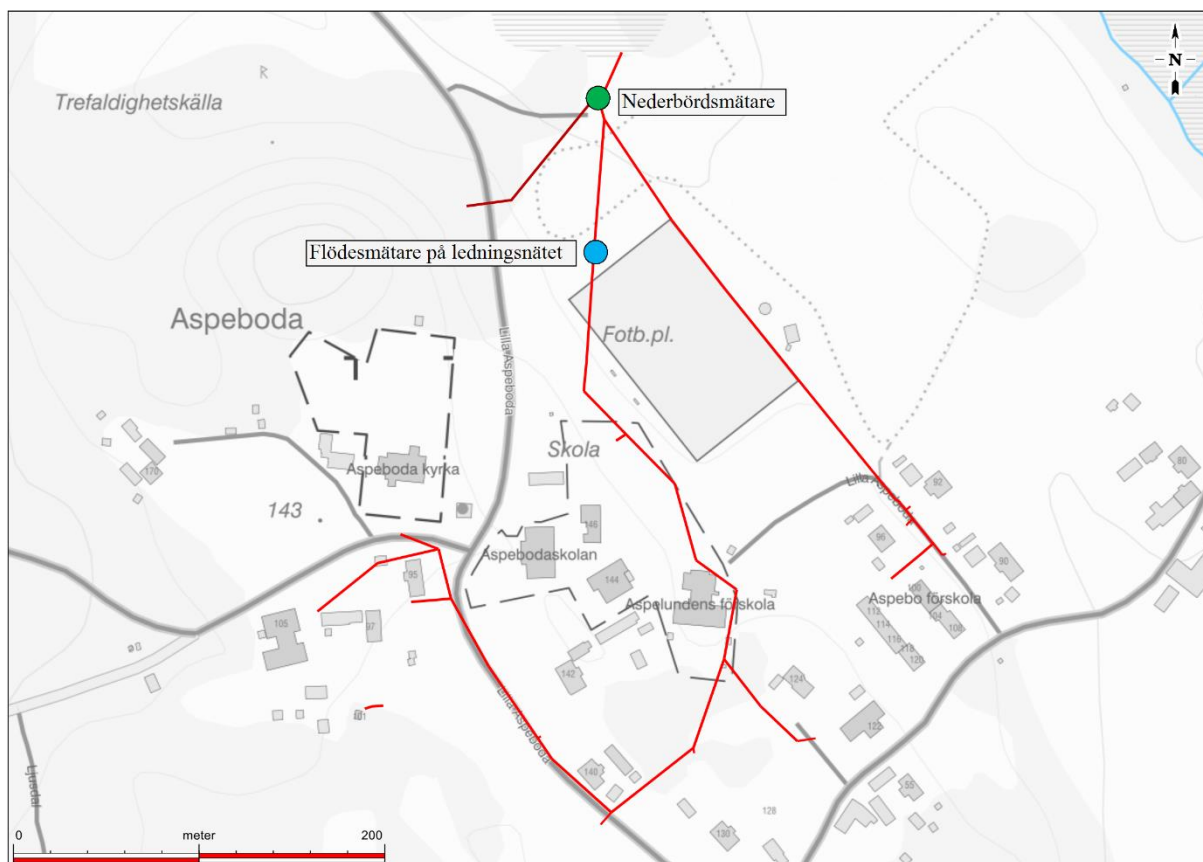
MainstreamTM flödesräknare

MainstreamTM portabel flödesräknare mäter både hastighet och nivå på flödet (Andersson u.å.a). Flödesräknaren hade en sensor för hastighet samt en tryckgivare som sensor för nivåmätning. Flödesräknaren monterades i en inkommande ledning till en brunn med krav att brunnen enbart hade ett inlopp och en rak ledning genom brunnen (Andersson u.å.b). Flödesräknaren monterades i botten av den inkommande ledningen med hjälp av en monteringsring, där flödesräknaren riktades mot flödet. Om vattennivån var lägre än 2 cm rekommenderades att en dämpplåt monterades på monteringsringen.

Utplacering av flödesmätare på ledningsnätet

Materialet som användes för montering av flödesmätaren; spett, tripod, sele, vinsch, gasmätare, teleskopstege, handskar, hjälm, pannlampa, MainstreamTM flödesmätare, monteringsborste, metallinjal, tuschpenna, AdconTM series 6 RTU och batteri (12 V).

En nedstigningsbrunn strax uppströms pumpstationen på den ledning som avleder spillvatten från skolan och kyrkan, valdes för placering av flödesmätaren. Den utvalda brunnen (se figur 5) valdes för att täcka in så stor del av flödet på ledningsnätet som möjligt, samtidigt som kraven på både brunnen och flödet uppfylldes.



Figur 5: Placering av flödesmätare på ledningsnätet i Aspeboda vid den blåa punkten och nederbördsmätaren vid den gröna punkten (Falu Energi och Vatten u.å.). © Lantmäteriet Falu kommun Geodatasamverkan och Mät & karta, Falu kommun.

Monteringen av flödesmätaren i den utvalda brunnen genomfördes av utbildad personal på Falu Energi och Vatten. Nedan beskrivs hur monteringen genomfördes.

Det förberedande arbete som genomfördes innan platsbesök i Aspeboda var att montera flödesmätaren på en montagesring som var anpassad för ledningens dimension (Andersson u.å.b). Väl på plats i Aspeboda inleddes arbetet med att öppna upp brunnslocket på den utvalda brunnen där flödesmätaren skulle placeras. Tripoden som var en ställning på tre ben med en vinsch, placerades sedan över brunnen, se figur 6. Personen som skulle stiga ner i brunnen bar hjälm, handskar, gasmätare och sele som fästes i vinschen innan nedstigning. En

teleskopstege användes sedan för nedstigning. Nere i brunnen borstades ledningen rent innan flödesmätaren monterades. En dämplåt på monteringen monterades eftersom nivån på spillvattenflödet inte översteg 2 cm. Monteringen trycktes sedan ihop och placerades i den inkommande ledningen till brunnen med flödesmätaren belägen i botten och riktad mot flödet, se figur 7.



Figur 6 & 7: Figur 6 illustrerar uppställningen av tripoden ovanför den brunn där en flödesmätare monterades. Figur 7 är en bild på flödesmätaren av modell MainstreamTM efter montering i ledningen, riktad mot flödet.

Flödesmätaren kopplades sedan tillfälligt upp mot en dator för att registrera vattennivå och hastighet inför kalibrering av nivågivaren, där mätdata skickades till programmet Advantage-pro (Andersson u.å.a). Mätaren kalibrerades sedan genom att jämföra den kontinuerligt uppmätta flödesnivån som angavs av nivåmätaren med den nivå som mättes upp med ett måttband i vattenfåran (Andersson u.å.b). För att förbättra noggrannheten för mätningen med måttband, färgades måttbandet med en tuschpenna innan den placerades i vattenfåran. Flödesnivån kunde då avläsas vid den nivå där färgen på måttbandet hade försvunnit. Vidare korigerades nivån i flödesmätaren efter hur mycket lägre nivå den visade jämfört med måttbandet. Korrigeringen lades då in i programmet för att vidare korrigera efterföljande mätningar. Kalibreringen upprepades tills måttbandet visade samma flödesnivå som flödesmätarens nivågivare. En sista kontroll av noggrannheten på mätningen genomfördes genom att studera signalstyrkan från flödesmätaren. Flödesmätaren ansågs vara tillräckligt noggrann om signalstyrkan var 50 % eller högre. Data valdes sedan att mätas med 2 minuters intervall i Advantage-pro, innan datorn kopplades ur. Lagringen av den fortsatta datan när datorn inte var inkopplad skickades via Bluetooth till Advantage-pro med hjälp av dataloggern AdconTM series 6 RTU. Innan brunnen stängdes, hängdes ett 12 volts batteri, RTU och den portabla flödesmätaren (med nivå- och hastighets sensorerna fortsatt monterade

i vattengången) fast på en specialanpassad stång över brunnen. När brunnslocket sedan stängdes, hängde stången med utrustning strax under locket.

3.1.2 Future City Flow

Nedan presenteras flödesmätaren som användes för flödesanalys vid pumpstationen samt flödesanalysmodellen Future City Flow.

Doppler flödesmätare

DFM 6.1 Doppler Flow Meter är en flödesmätare som fästs utanpå befintligt rör (Pulsar Measurement 2022). Flödesmätaren registrerar flödet baserat på hur utsända ljudsignaler reflekteras i ledningen. En förutsättning för flödesmätningen är att det finns luftbubblor eller partiklar i vattnet där de högfrekventa ljudvågorna kan reflekteras. Flödesmätaren har en sensor som läser av hur ljudvågorna reflekteras och förändras när de träffar partiklar i vattnet som rör sig. Baserat på hur frekvenserna förändras omvandlar flödesmätaren signalen till motsvarande flöde.

Flödesanalysmodell – Future City Flow

Indata till modellen var nederbördsdata från Främbys reningsverk, flödesdata från pumpstationen och schablonvärden för spillvattenavrinning. Avrinningen av spillvattnet beräknades enligt Svenskt Vattens publikation P110 som beskrivs under rubrik 2.5.6. För beräkningen användes data om antal folkbokförda i Aspeboda samt hur många elever, lärare och annan personal som bidrog till belastningen på spillvattennätet i Aspeboda. Vid beräkningen antogs att den specifika spillvattenavrinningen för skolpersonalen var lika stor som avrinningen från kontorspersonal. Vidare genomfördes beräkningarna av de snabba och tröga bidragande ytorna i Future City Flow (DHI, u.å.). Den bidragande ytan för grundvattenpåverkan beräknades inte i modellen eftersom mätserien var kortare än sex månader.

3.1.3 Ammoniummetoden

Materialet som användes för respektive ammoniummätning; brunnslöcksöppnare, 12 provtagningsflaskor 500 ml, teleskopskaft, bägare 1000 ml fäst på en lina och 24 ammoniumkyvetter.

Innan avfärd för insamling av ammoniumprover i fält placerades ammoniumkyvetterna i ett värmeskåp som var uppvärmt till 20,5 °C. Väl på plats i Aspeboda togs spillvattenprover i de 6 utvalda spillvattenbrunnarna, som var jämnt fördelade på spillvattennätet (se figur 8). För att öppna brunnslöcken i gjutjärn användes en brunnslöcksöppnare, resterande brunnar var i betong och sköts åt sidan vid provtagning. I de spillvattenbrunnar där ammoniummätningen genomfördes var det viktigt att spillvattnet flödade och inte var stillastående i brunnen. Om någon av de utvalda brunnarna hade stillastående spillvatten valdes en annan provtagningsbrunn i närheten där spillvattnet flödade. Spillvattenprover togs sedan upp med en bägare som var fäst på en lina. Bägaren hissades ner i vattenfåran och ett teleskopskaft användes för att justera placeringen av bägaren vid behov. Vid upptag av spillvattnet undveks att skrapa bägaren i botten av brunnen, för att få ett så representativt prov som möjligt. När spillvattnet tagits upp från brunnen hölls det direkt över till en provtagningsflaska.

Analysen av ammoniumhalten i spillvattenproverna utfördes enligt anvisningarna för LCK 303 från HACH (Hach 2019). För respektive spillvattenprov togs två ammoniumprover, vilket innebar att det totalt per brunn togs fyra ammoniumprover.

$$USG = \frac{[NH_4^+]_{\text{referens}}}{[NH_4^+]_{\text{uppmätt}}} \quad (2)$$

Det fjärde steget i Falu Energi och Vattens metodik för systematiskt tillskottsvattenarbete var TV-inspektion. Ledningarna inspekterades utifrån graderingen i Svenskt Vattens publikation

P93 (Svenskt Vatten 2006). Vid inspektionen observerades felen på ledningen angivet med position, längd och gradering. Positionen angavs med klockreferens, där rörtvärnsnittets positioner representerades av klockslag. Vidare angavs ett fel som sträckte sig över tvärsnittet med två klockslag, varpå observationen var lokaliserad medurs den första klockreferensen fram till nästa angivna klockreferens. Längdmätningen för observationen utgick från brunnen som filmningen startade i. Vidare graderades de observerade felen i graderingsskalan 1–4, där storleken på felet ökade vid ökad gradering.

3.3 Kontroll av VA-anslutningar

Kontrollen av fastigheternas VA-anslutningar utreddes med inventering, rökning och färgning av spillvattnet och beskrivs nedan. Detta var det femte steget i Falu Energi och Vattens metodik för systematisk tillskottsvattenarbete.

3.3.1 Inventering av stuprör, källare och gallerbrunnar

Stuprör, källare och gallerbrunnar inventerades på ledningsnätet i Aspeboda för att överskådligt utreda om det fanns risk för att dräneringar, takavlopp och hårdgjorda ytor var kopplade på spillvattennätet. För respektive fastighet som var ansluten till spillvattenledningen i Aspeboda inventerades stuprör, källare och gallerbrunnar genom en okulär besiktning vid platsbesök. Vid stuprörsinventeringen utreddes om det fanns utkastare på stuprören eller om stuprören gick ner i marken. Källarinventeringen utredde om det fanns en källare till bostäderna eller inte, där suterränghus klassades som fastighet med källare vid inventeringen. Vidare inventerades gallerbrunnar i form av rännstensbrunnar, spygatter och kupolbrunnar på fastigheterna.

3.3.2 Röktest

Inför röktestet skickades ett informationsbrev ut till fastighetsägarna inom verksamhetsområdet för att informera om rökningen som planerades att genomföras. Fastighetsägarna rekommenderades att fylla på vatten i vattenlåsen för att förhindra rökuppträngning i husen.

Utredningen av tillskottsvatten med hjälp av rök och färgning utfördes av Pollex AB.

Röktester genomfördes på alla fastigheter där det fanns stuprör som gick ner i mark och riskerade att vara felkopplade. Utredningen på respektive fastighet påbörjades genom att röka ner i ett av stuprören, för att kontrollera om stuprören var sammankopplade eller ej. De stuprör där röken trängde upp konstaterades vara sammankopplade. Om rök inte trängde upp från alla stuprör förflyttades rökningen till ett av de stuprör där röken inte trängde upp, för fortsatt kontroll av stuprörens sammankoppling. Efter kontroll av sammankopplingen för samtliga stuprör tillsattes färgat vatten till något av de sammankopplade stuprören. Det färgade vattnet tillsattes även i samtliga gallerbrunnar på fastigheterna efter att anslutningen av stuprören kontrollerats. Vidare studerades om det färgade vattnet avleddes till den spillvattenbrunn som var närmast nedströms eller lokalt omhändertogs inom fastigheten. Vattnet färgades med röd eller grön färg som valdes vartannat för att kunna urskilja olika stuprör och gallerbrunnar.

4. Resultat

Nedan presenteras resultatet från utredningen, kontrollen av VA-anslutningarna samt TV-filmningen.

4.1 Utredning

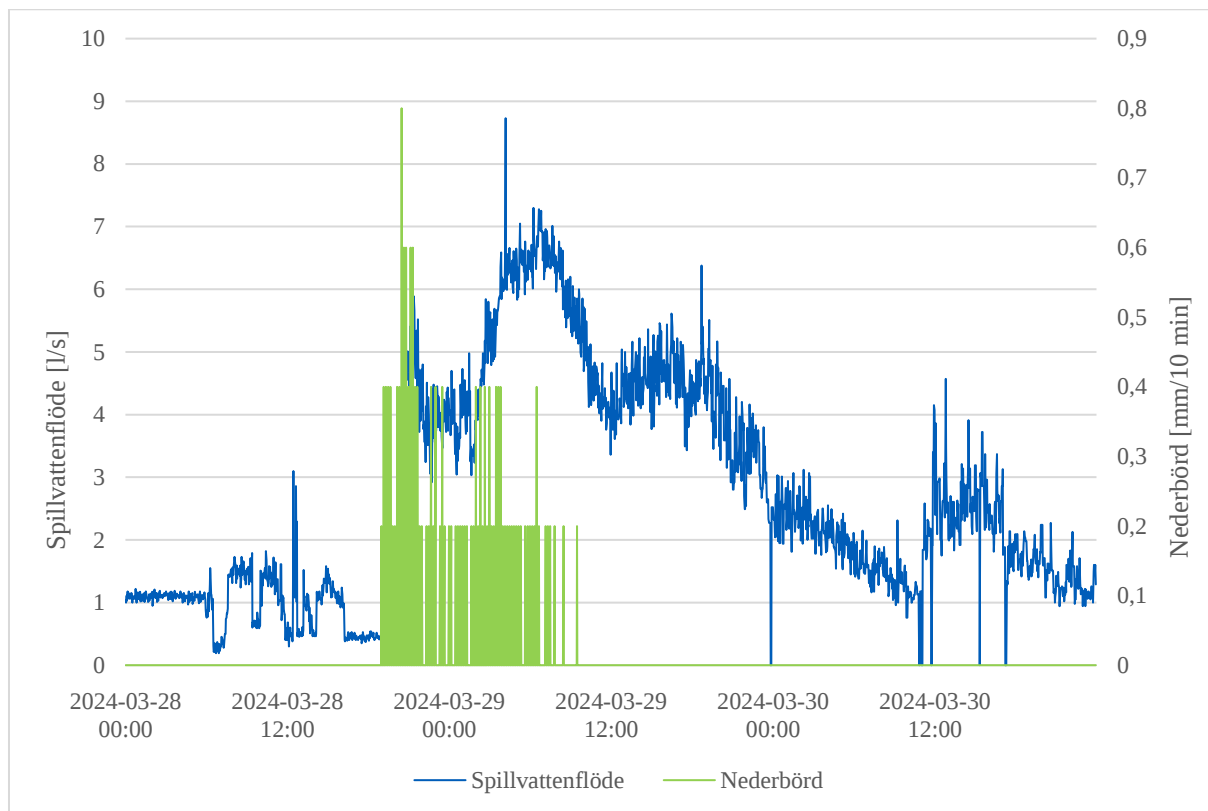
Resultatet från den grafiska flödesanalysen, Future City Flow samt ammoniummätningen presenteras nedan.

4.1.1 Grafisk flödesanalys

Vid monteringen av flödesmätaren på ledningsnätet monterades en dämpplåt på monteringen eftersom spillvattennivån inte översteg 2 cm. Vid återbesök för kontroll av flödesmätaren hade sediment och sanitärt avfall ansamlats framför flödesmätaren och dämpplåten valdes därför att monteras bort. Ansamling av sanitärt avfall och sediment kunde dock fortsatt observeras framför flödesmätaren trots att dämpplåten var bortmonterad. Utöver ansamlingen av det sanitära avfallet framför flödesmätaren uppstod även problem med datalagringen från flödesmätaren. Problemet försökte åtgärdas vid ett flertal tillfällen, men det var inte förrän den 21 mars 2024 efter att flera delar av flödesmätaren bytts ut, som uppkopplingen fungerade som den skulle. Tanken med flödesdata från ledningsnätet var ursprungligen att den också skulle analyseras i flödesanalysmodellen, Future City Flow. Men eftersom flödesmätaren inte fungerade inledningsvis, beslutades att flödet från flödesmätaren på ledningsnätet enbart analyserades grafiskt.

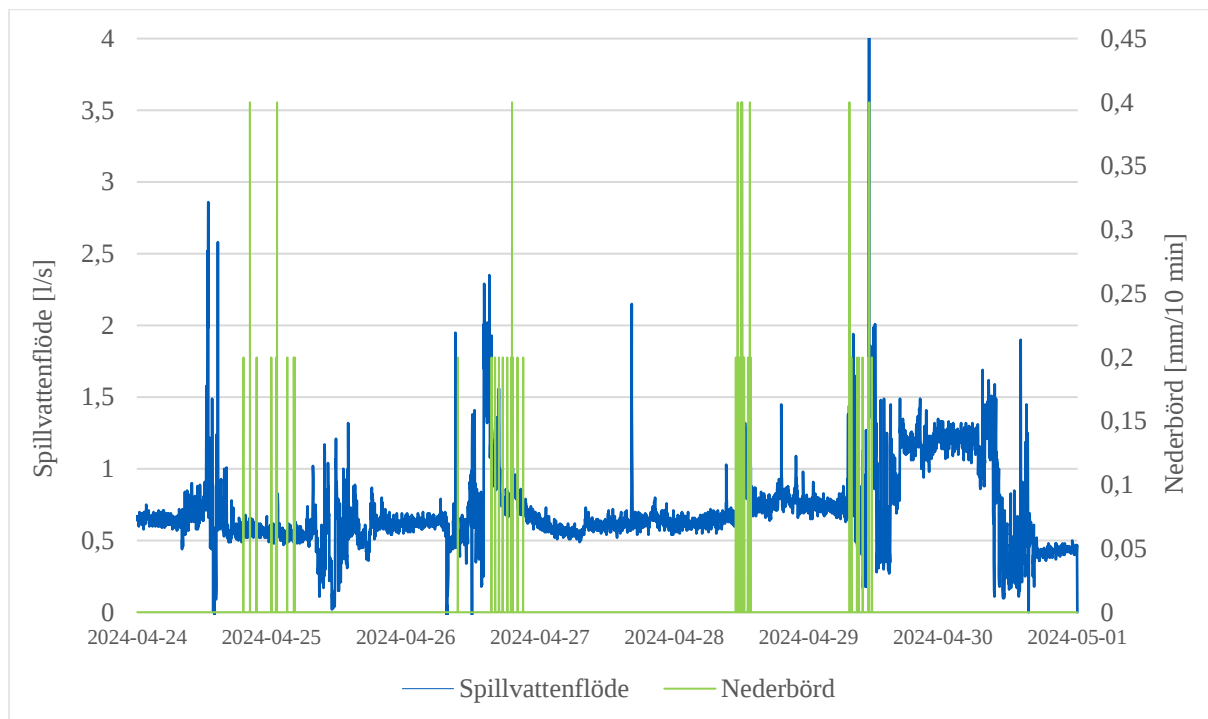
Uppmätt flödesdata från ledningsnätet för perioden 21 mars – 8 maj 2024 samt nederbörd vid pumpstationen under samma tidsperiod användes som dataunderlag för den grafiska flödesanalysen. Vidare analyserades enskilda nederbördstillfällen i separata grafer, för att se hur spillvattenflödet förändrades vid specifika nederbördstillfällen.

Ett nederbördstillfälle som inträffade den 28–29 mars 2024 presenteras tillsammans med spillvattenflödet i figur 9. I samband med nederbördstillfället ökade spillvattenflödet på ledningsnätet. Innan nederbörden föll var spillvattenflödet stabilt kring 1 l/s. Det högsta uppmätta flödet till följd av nederbörden var 8,7 l/s. Efter nederbörden var spillvattenflödet långsamt avtagande och efter ungefär två dygn sedan nederbörden inträffade hade spillvattenflödet åter stabiliserats kring 1 l/s. Den totala nederbörden som mättes under dygnet 28–29 mars 2024 var 20,4 mm. Det var drygt ett dygn med torrväder innan nederbördstillfället startade kvällen den 28 mars 2024. Flödesmätningen på ledningsnätet visade alltså på en tydlig ökning av spillvattenflödet i samband med nederbörden. Eftersom flödet snabbt ökade efter att nederbörden börjat falla tyder detta på felkoppling av hårdgjorda ytor som tak och asfalt. Spillvattenflödet var fortsatt högt efter att nederbörden slutat falla vilket tyder på att flödet har en trög nederbördspåverkan. Det tröga flödet kan exempelvis härstamma från felkopplade dräneringar som till följd av nederbörden avleder ökade vattenvolymer kring husgrunderna.



Figur 9: Mätning av spillvattenflöde och nederbörd på ledningsnätet i Aspeboda mellan 28–30 mars 2024.

Ytterligare en hydrograf analyserades grafiskt, se figur 10, för perioden 24 april – 1 maj 2024 då fyra nederbördstillfällen inträffade. Den nederbörd som föll under dessa 7 dygn var totalt 9,8 mm. Det var alltså mindre än hälften av nederbörden jämfört med det tidigare nederbördstillfället 28–29 mars och utspritt över en längre period. Utifrån denna hydrograf ses inget tydligt samband mellan nederbördstillfällena och spillvattenflödet. Enbart små flödesökningar inträffar efter nederbörden fallit, främst den 25 april och 29 april. Nederbörden den 26 april indikerar en flödestopp innan nederbörden börjat falla, och spillvattenflödet minskar sedan när nederbörden faller. Responsen på spillvattenflödet vid nederbördstillfället den 26 april indikerar därmed att det inte förekommer någon nederbördspåverkan.

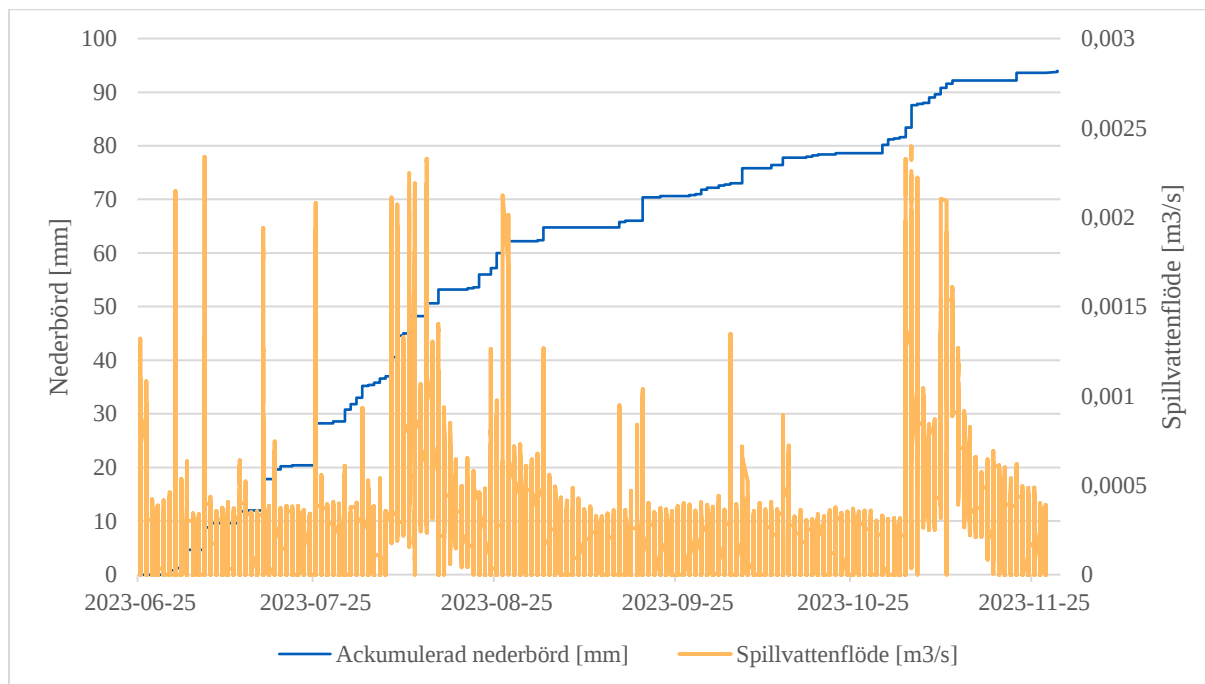


Figur 10: Mätning av spillvattenflöde och nederbörd på ledningsnätet i Aspeboda mellan 24 mars – 1 maj 2024.

4.1.2 Future City Flow

Flödesdata utgående från pumpstationen i Aspeboda fanns uppmätt för perioden 25 juni – 27 november 2023, med ett mätintervall på 30 sekunder. Flödesdatan användes tillsammans med nederbördsdata från Främbys reningsverk med 5 minuters mätintervall som indata i modellen Future City Flow. Till följd av att flödesmätaren var placerad på den utgående ledningen från pumpstationen styrdes flödet helt av pumpens drifttider. Det uppmätta flödet var således inte kontinuerligt. Rullande medelvärden användes därför för att bearbeta datan till modellen. Anledningen till att 13 minuter valdes som intervall för medelvärdesbildning beror på att det var det lägsta intervallet som krävdes för att uppnå minst 1 % varians i datan. Flödesdata med rullande medelvärde på 13 minuter samt ackumulerad nederbörd presenteras i figur 11. Se bilaga 2 för jämförelse mellan den uppmätta flödesdatan vid pumpstationen samt flödesdatan med rullande medelvärde på 13 minuter.

Schabloonvärdet för spillvattenavrinningen beräknades till 0,19 l/s enligt Svenskt Vattens publikation P110 (2019), se avsnitt 2.5.6. Avrinningen baseras på ett dygnsvärde och är därför konstant över dygnet. I verkligheten varierar spillvattenflödet under dygnet utefter belastningen, som för bostäder vanligtvis är hög under morgonen och kvällen.



Figur 11: Den ackumulerade nederbörden i blått och flödet vid pumpstationen med rullande medelvärden i orange för perioden 25 juni–27 november 2023.

Eftersom perioden av flödesdata var kortare än sex månader var det inte möjligt att beräkna den bidragande ytan för grundvattenpåverkan i flödesanalysmodellen. Därför blev resultatet av flödesanalysen enbart ytor för snabb-, trög- och total nederbördspåverkan. Den bidragande ytan för den totala nederbördspåverkan beräknades till 7100 m². Beräkning av den bidragande ytan för den snabba nederbördspåverkan var 2100 m² och den tröga nederbördspåverkan 5000 m². Vid jämförelse med takytorna i Aspeboda som beräknades utifrån lantmäteriets ortofoto till en total area på 6000 m² (Lantmäteriet u.å.), utgör den snabba nederbördspåverkans bidragande yta drygt en tredjedel av takytorna, vid antagande att tillskottsvattnet enbart kommer från takylor.

4.1.3 Ammoniummetoden

Ammoniummätning i de 6 utvalda brunnarna på ledningsnätet i Aspeboda genomfördes vid två tillfällen, den 12 april 2024 och 25 april 2024. Den första ammoniummätningen den 12 april utfördes vid torrväder, dagen innan hade 2,4 mm nederbörd fallit och två dagar innan 7,4 mm. Vid det andra tillfället för ammoniummätning den 25 april, föll 1,2 mm nederbörd på morgonen innan provtagningen. Under de två föregående dygnen hade inte mer än 1 mm nederbörd fallit per dygn. Resultatet från den första ammoniummätningen presenteras i tabell 2 och resultatet från den andra ammoniummätningen presenteras i tabell 3.

Tabell 2: Beräknade utspädningsgrader (USG) från de utvalda mätpunkterna efter ammoniummätningen den 12 april 2024, med två provtagningsflaskor som representeras av A respektive B samt två mätningar för vardera provtagningsflaska. Medelvärde för respektive mätpunkt presenteras också i tabellen.

Utspädningsgrad					
Mätpunkt	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	Medelvärde
1	5,15	5,73	2,74	2,68	4,54
2	22,84	21,63	24,32	24,46	22,93
3	10,92	11,28	15,10	15,85	13,29
4	31,91	33,33	36,59	36,29	34,53
5	49,45	50,96	50,34	50,96	50,43
6	9,15	10,00	20,83	21,43	15,35

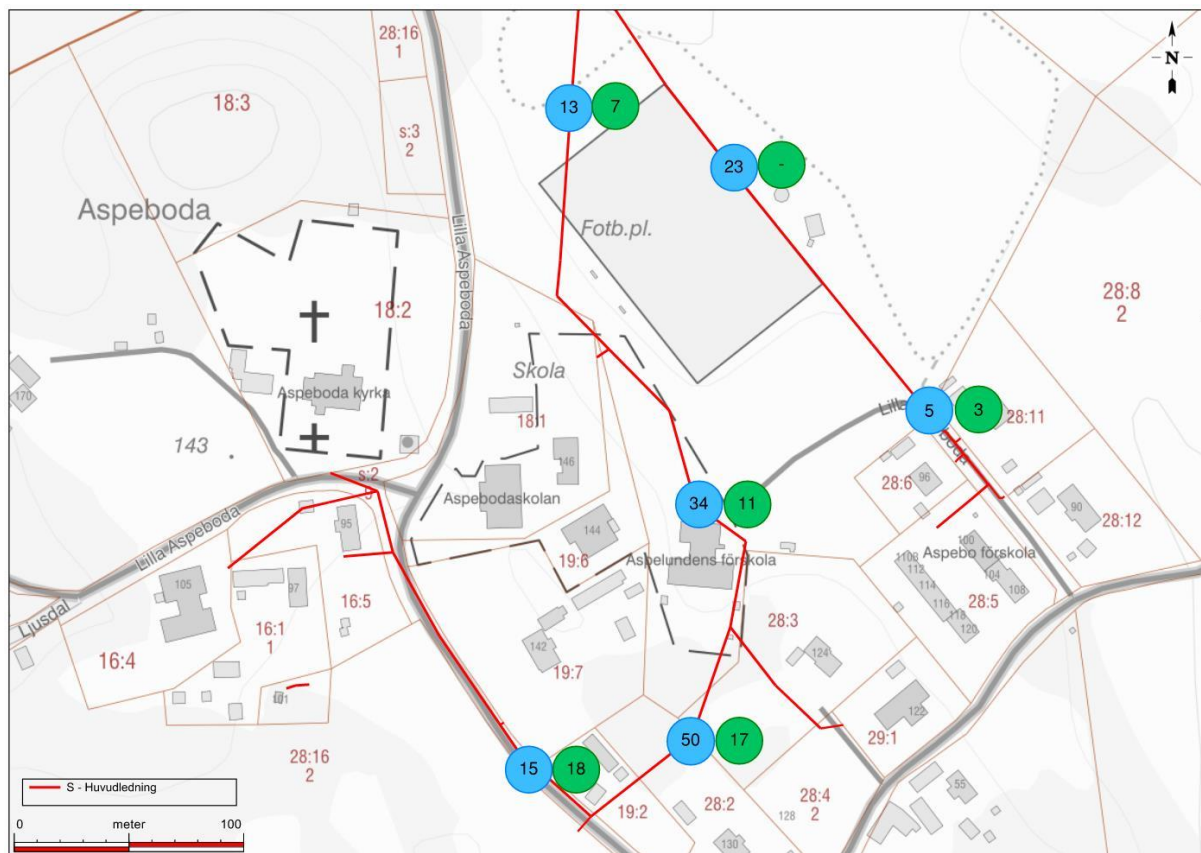
På ledningsstråket från kyrkan till pumpstationen fanns fyra mätpunkter (6, 5, 4 och 3), se figur 8. Utspädningsgraden vid den första ammoniummätningen var som störst mitt på ledningssträckan, vid mätpunkt 5. Den lägsta utspädningsgraden på ledningssträckan uppmättes vid mätpunkt 3, precis innan pumpstationen. En stor utspädning av spillvattnet mellan mätpunkt 1 och 2 observerades på ledningssträckan från Aspebo förskola till pumpstationen från den första ammoniummätningen, se figur 12. Utspädningsgraden för spillvattnet gick från 4,54 vid mätpunkt 1 till 22,93 vid mätpunkt 2. Mellan dessa mätpunkter fanns enbart en anslutande servis. Resultatet från ammoniummätningen på denna ledningssträcka antyder därmed att det förekommer inläckage mellan dessa mätpunkter.

Tabell 3: Beräknade utspädningsgrader (USG) från de utvalda mätpunkterna efter ammoniummätningen den 25 april 2024, med två provtagningsflaskor som representeras av A respektive B samt två mätningar för vardera provtagningsflaska. Medelvärde för respektive mätpunkt presenteras också i tabellen. Ingen data presenteras för mätpunkt 2 eftersom ammoniumhalten överskred mätintervallet.

Utspädningsgrad					
Mätpunkt	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	Medelvärde
1	2,59	3,15	3,31	3,41	3,11
2	-	-	-	-	-
3	6,64	6,73	6,94	6,54	6,71
4	11,06	10,56	10,74	10,90	10,81
5	15,90	15,25	17,51	17,86	16,63
6	14,15	17,31	22,17	18,83	18,11

Vid analys av ammoniumhalten vid mätpunkt 2 från den andra ammoniummätningen, överskred ammoniumhalten mätintervallet och det gick inte att läsa av flödet. Mätintervallet för de ammoniumkyvetter som användes var 2–47 mg NH₄⁺/l (Hach 2019). Detta innebär att ammoniumhalten överskred 47 mg NH₄⁺/l, vilket var högre än referensvärdet som användes i rapporten. I samband med att spillvattenprovet togs från brunnen observerades inga avvikelser jämfört med de resterande brunnarna. Spillvattnet såg ut att vara lika utspädd som vid föregående ammoniummätning vid mätpunkten.

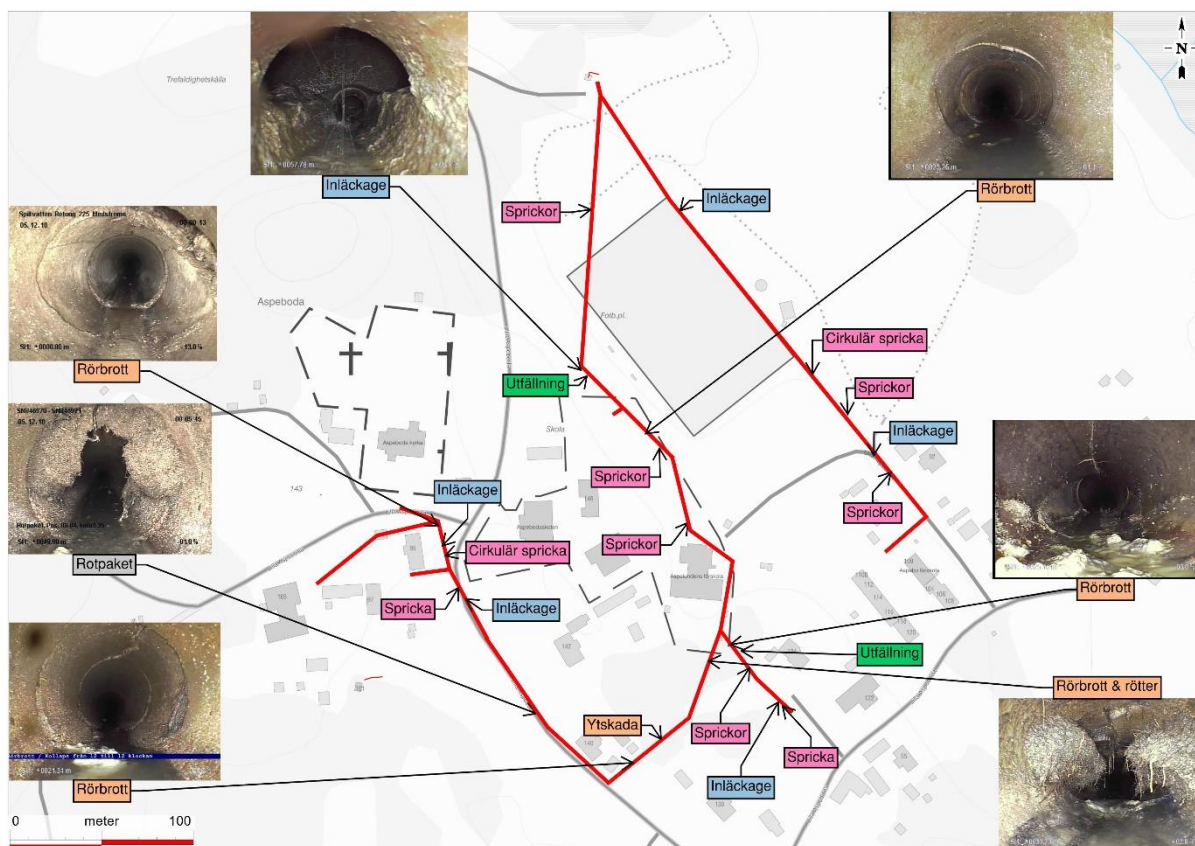
Resultatet av den andra ammoniummätningen på ledningssträckan från kyrkan ner till pumpstationen visar en trend där utspädningsgraden minskade nedströms, se figur 12.



Figur 12: Resultat av beräknade utspädningsgrader för respektive mätpunkt den 12 april 2024 markerat i blått samt 25 april 2024 markerat i grönt (Falu Energi och Vatten u.å.). © Lantmäteriet Falu kommun Geodatasamverkan och Mät & karta, Falu kommun.

4.2 TV-inspektion

Nästan hela det allmänna spillvattennätet i Aspeboda filmades mellan 5 december 2018 och 26 juni 2019 (Falu Energi och Vatten 2023b). Filmningen genomfördes av företaget VVS-teknik, som observerade och graderade skador på ledningsnätet (Falu Energi och Vatten u.å.). Några av de observerade felen med hög gradering presenteras i figur 13. De utvalda felen som markerats i figur 13 valdes ut eftersom de riskerar att bidra med stort vattentillskott. Samtliga observerade fel med gradering 3 och 4 presenteras i bilaga 1.



Figur 13: Sammanställning av observationsplats för inläckage (ljusblå), sprickor (rosa), utfällningar (grön), rörbrott (orange) och rotpaket (grå) som observerats på ledningsnätet i samband med filmning (Falu Energi och Vatten u.å.). © Lantmäteriet Falu kommun Geodatasamverkan och Mät & karta, Falu kommun.

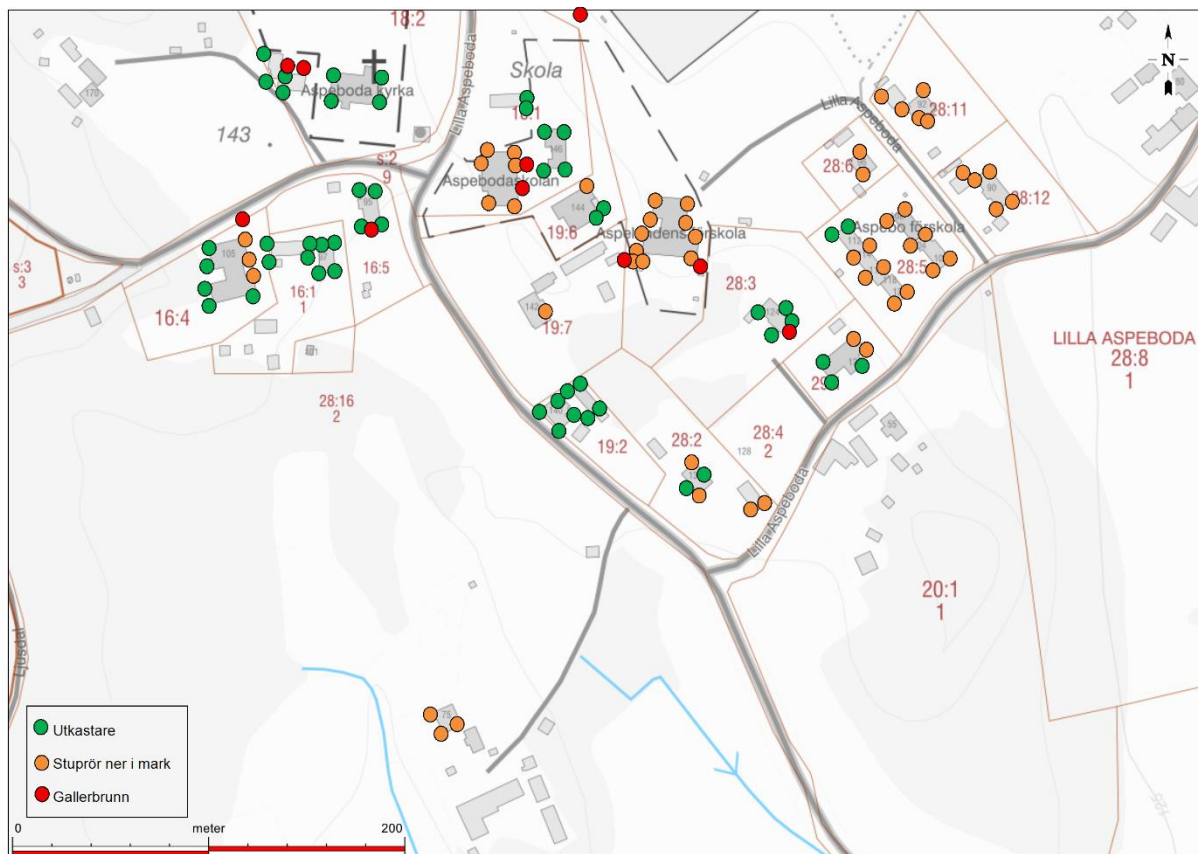
På ledningsnätet i Aspeboda observerades vid filmning fem rörbrott, ett flertal större rotpaket samt inläckage, ytskador och sprickor. De observerade felen på ledningsnätet var utspridda över hela nätet. I ledningarna observerades även utfällningar på ett flertal ställen, vilket kan vara ett resultat av grundvatteninträning.

4.3 Kontroll av VA-anlutningar

Resultatet från kontrollen av VA-anlutningar från inventering, rökning och färgning presenteras nedan.

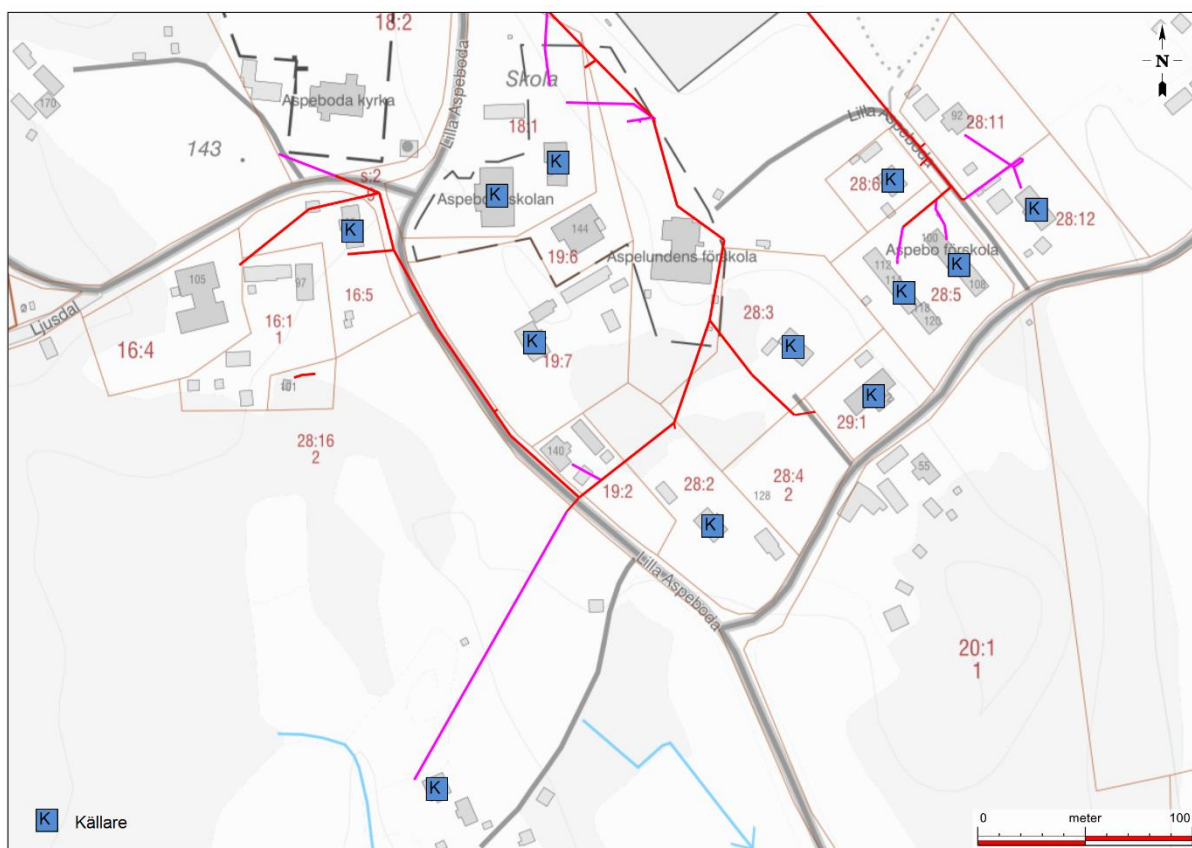
4.3.1 Inventering av stuprör, källare och gallerbrunnar

Vid stuprörsinventeringen identifierades 53 stuprör som gick ner i marken och resterande hade utkastare. Inventeringen av gallerbrunnar observerade 10 gallerbrunnar i verksamhetsområdet, i form av både rännstensbrunnar, kupolbrunnar och spygatter. Inventeringen av stuprör och gallerbrunnar finns dokumenterade i figur 14.



Figur 14: Karta över stuprörsinventeringen, där orangea prickar markerar stuprör ner i mark, gröna prickar markerar utkastare, röda prickar markerar kupolbrunnar, spygatter och rännstensbrunnar (Falu Energi och Vatten u.å.). © Lantmäteriet Falu kommun Geodatasamverkan och Mät & karta, Falu kommun.

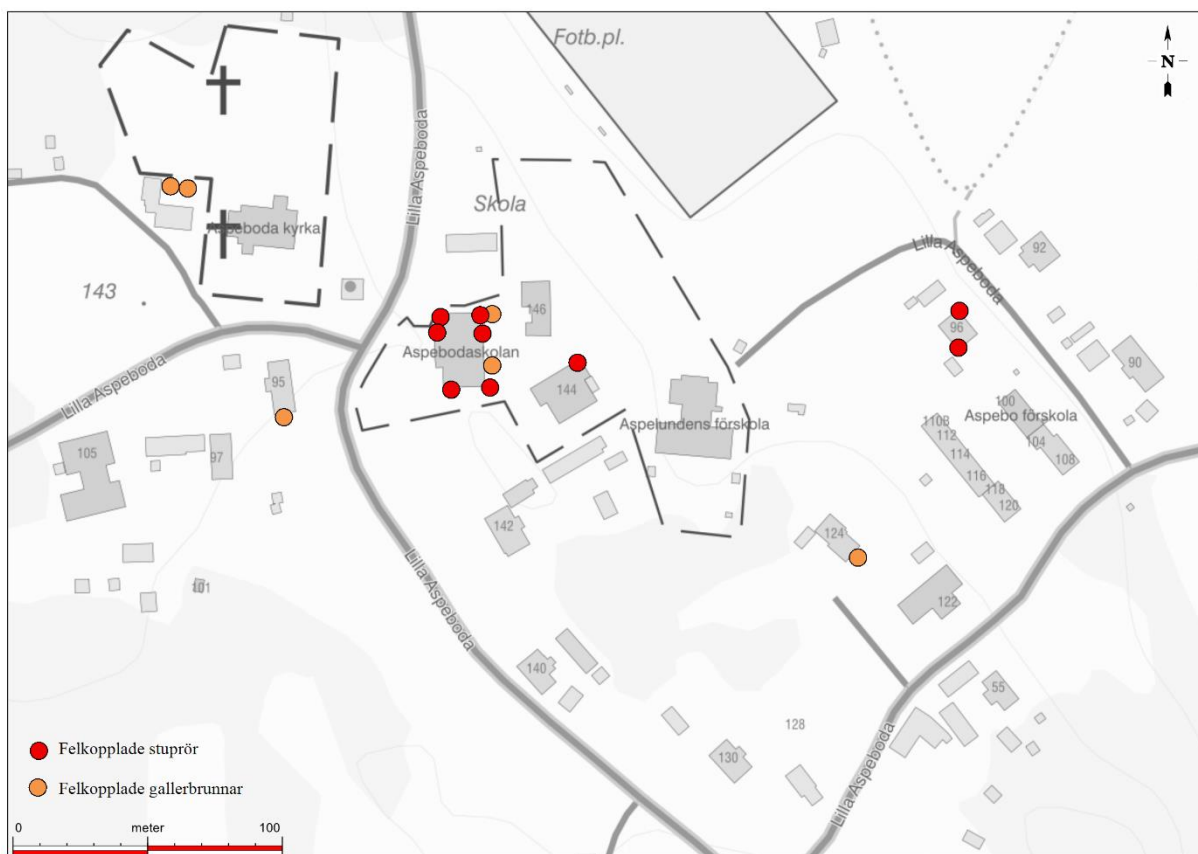
Inventering av källare genomfördes den 14 mars 2024 på de 16 fastigheter inom verksamhetsområdet, varav 12 av dessa hade källare, se figur 15.



Figur 15: Karta över källarinventeringen, där de blå figurerna indikerar byggnader med källare (Falu Energi och Vatten u.å.). © Lantmäteriet Falu kommun Geodatasamverkan och Mät & karta, Falu kommun.

4.3.2 Rökning

Rökning och färgning av ledningarna genomfördes av Pollex AB den 15–16 april 2024. Vid rökning och färgning på ledningsnätet fastställdes 9 stuprör felkopplade till spillvattennätet. Av de undersökta gallerbrunnarna var 4 spygatter och 2 rännstensbrunnar felkopplade på spillvattennätet. För lokalisering av de felkopplade stuprören och gallerbrunnarna, se figur 16. Den totala ytan som avleddes till spillvattenledningen uppskattades vara 1010 m², utifrån lantmäteriets ortofoto (u.å.). Om 10 mm nederbörd faller på området avleds då 10,1 m³ regnvatten till spillvattennätet.



Figur 16: De observerade felkopplade stuprören (röda) och gallerbrunnarna (orange) utifrån rökningen och färgningen av spillvattnet (Falu Energi och Vatten u.å.). © Lantmäteriet Falu kommun Geodatasamverkan och Mät & karta, Falu kommun.

5. Diskussion

Utredningen av ledningsnätet i Aspeboda identifierade ett flertal källor av tillskottsvatten. En direkt källa av tillskottsvatten fastställdes utifrån filmningarna, där inläckage på flera ställen av det allmänna ledningsnätet upptäcktes. På det allmänna ledningsnätet lokaliserades även ledningssträckor där vattentillskott förekom, utifrån den beräknade utspädningsgraden från ammoniummetoden. Felkopplade stuprör, spygatter och rännstensbrunnar identifierades också på de privata ledningarna, vilket vid nederbörd är en betydande källa av tillskottsvatten. Det förekom alltså källor av tillskottsvatten på både det allmänna ledningsnätet och de privata ledningarna i Aspeboda.

Vid analys av spillvattenflödet observerades både en snabb och trög nederbördspåverkan, från respektive flödesanalys. Den snabba nederbördspåverkan kan förklaras av de felkopplade stuprören och gallerbrunnarna, men källan till tillskottsvattnet med trög nederbördspåverkan gick inte att fastställa i utredningen.

5.1 Utredning

Resultatet från de två flödesanalyserna samt ammoniummetoden diskuteras nedan.

5.1.1 Grafisk flödesanalys

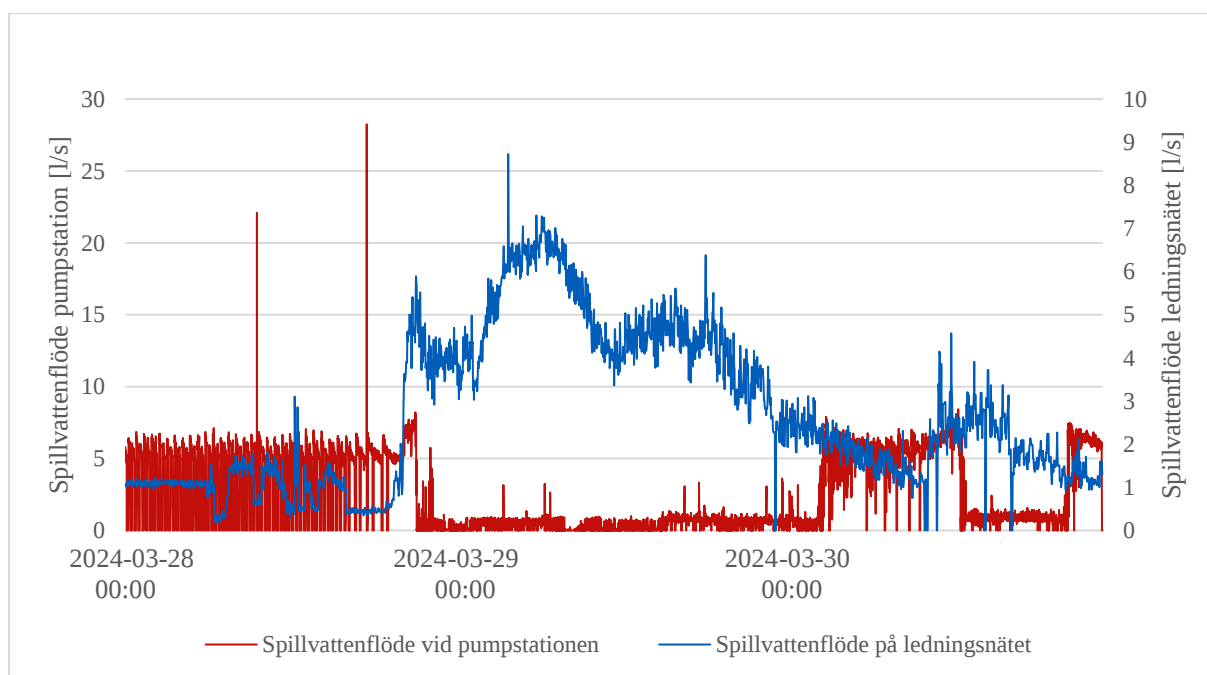
Den grafiska flödesanalysen visade att spillvattenflödet ökade vid nederbördstillfället den 28–29 mars 2024, där både en snabb och trög regnvattenpåverkan observerades. Eftersom ledningsnätet var litet innebär det att rinntiden för spillvattnet var kort i Aspeboda. Dagvatten från hårdgjorda ytor som felaktigt avleds till spillvattenledningen ankommer därmed relativt snabbt till pumpstationen. Om tillskottsvattnet då enbart hade snabb nederbördspåverkan, skulle spillvattenflödet snabbt avta efter regntillfället. Eftersom flödet avtog långsamt efter nederbörden enligt figur 9, konstaterades därför att det förekommer en trög nederbördspåverkan på spillvattennätet i Aspeboda.

En annan möjlig förklaring till det ökade spillvattenflödet skulle kunna vara de dagliga flödesvariationerna av spillvatten, där avrinningen av spillvatten vanligtvis är hög på morgonen och kvällen. Men eftersom det ökade flödet sträckte sig över tre dygn innan det återgick till ursprungsflödet enligt figur 9, kan ökningen inte enbart bero på dygnsavrinningen. Den kraftiga flödesökningen inträffade dessutom efter klockan 8 på kvällen och ökade sedan succesivt under natten, vilket är en period på dygnet när avrinningen av spillvatten förväntas vara låg.

Ökade spillvattenflöden vid nederbörd observerades även i en annan studie av Eliasson (2019) som utredde tillskottsvatten på ett spillvattennät i Perstorp. I studien analyserades flödeskurvor från olika områden, där spillvattenflödet både uppvisade snabb och trög nederbördspåverkan. För de olika områdena varierade nederbördspåverkan, där vissa områden enbart hade snabb nederbördspåverkan. En tydlig skillnad kunde ses vid de områden som enbart hade snabb nederbördspåverkan jämfört med flödesanalysen den 28–30 mars från ledningsnätet i Aspeboda, där ökningen av spillvattenflödet både hade snabb respons samt avtog långsamt.

Vid jämförelse med den specifika spillvattenavrinningen på 0,19 l/s var andelen tillskottsvatten utifrån den grafiska flödesanalysen den 28–29 mars uppemot 97 % vid flödestoppen på 7 l/s. Vidare var spillvattenflödet stabilt kring 1 l/s innan och efter nederbördstillfället, vilket motsvarar en tillskottsvattenandel på 84 %.

Flödesdata från pumpstationen fanns också tillgänglig vid nederbördstillfället den 28–30 mars 2024. En jämförelse av flödesdatan uppmätt från ledningsnätet samt pumpstationen genomfördes därför, för att se hur den uppmätta flödesdatan skiljde sig åt. Jämförelsen visar två helt olika flödesresponser i samband med nederbördstillfället, där det uppmätta spillvattenflödet ökar på ledningsnätet och minskar vid pumpstationen (se figur 17). Med anledning att den uppmätta nederbörden översteg 20 mm under dessa dygn, är det inte troligt att spillvattenflödet minskade vid nederbörden. Framför allt inte med vetskapen om att flera stuprör och gallerbrunnar var felkopplade på spillvattenledningen. Därför antas att resultatet från flödesmätningen vid pumpstationen under nederbördstillfället den 28–30 mars 2024 inte var tillförlitlig.



Figur 17: Jämförelse mellan spillvattenflödet vid pumpstationen i rött och ledningsnätet i blått den 28–30 mars 2024.

Den andra grafiska flödesanalysen för perioden 24 april-1 maj 2024 ger dock ett resultat där spillvattenflödet både ökade och minskade efter nederbördstillfällena. Med anledning att nederbördsmängden var mindre samt att mer brus i mätdata förekom, var det svårt att dra någon slutsats av den grafiska flödesanalysen för denna period.

Den initiala planen var att montera en flödesmätare även på ledningsträckan mellan Aspebo förskola och pumphuset. Men med anledning av att förutsättningarna var dåliga på grund av lågt flöde, placerades enbart en flödesmätare på ledningsnätet. Flödesmätning på båda

ledningssträckorna hade möjliggjort jämförelse av responsen vid nederbördstillfällen, för att vidare utreda hur tillskottsvattnet skiljer sig åt på de två ledningssträckorna.

5.1.2 Future City Flow

Flödesanalysen från Future City Flow indikerade, likt resultat från den grafiska flödesanalysen att tillskottsvattnet härstammade från både snabb och trög nederbördspåverkan. Resultatet från Aspeboda visade att 30 % av det nederbördspåverkade spillvattenflödet var snabb nederbördspåverkan och resterande 70 % var trög nederbördspåverkan. Fördelningen kan jämföras med en studie där flöden från 20 reningsverk i Sverige analyserades med Future City Flow, där bidraget från den snabba nederbördspåverkan var 33 % och den tröga nederbördspåverkan var 66 % (Clementson et al. 2020). Utifrån studien av Clementson et al. (2020) var medelvärdet från modellen att 88 % av det totala tillskottsvattnet till reningsverken var bidrag av grundvattenpåverkan. Det största bidraget av tillskottsvatten vid analys av 20 reningsverk var alltså grundvattenpåverkan. Som tidigare nämnt var flödesserien för kort i Aspeboda för att beräkna grundvattenpåverkan. En längre flödesserie från Aspeboda hade därför varit intressant att analysera för att se om andelen grundvattenpåverkan var lika stor till pumpstationen i Aspeboda.

Eftersom spillvattenflödet på ledningsnätet också planerades att användas i flödesanalysmodellen hade det varit intressant att jämföra resultatet från de två flödesmätarna.

5.1.3 Ammoniummetoden

Utredningen av utspädningsgraden på ledningsnätet utifrån ammoniummätningarna identifierade ledningssträckor där spillvattnet var utspätt. Utspädningsgraden beräknades ligga mellan 2–51 på ledningsnätet, vilket motsvarar en uppmätt ammoniumhalt mellan 1–17 mg/l. Medelvärdet för utspädningsgraden för de två ammoniummätningarna var 17,3. Vidare motsvarade intervallet för utspädningsgraderna att andelen tillskottsvatten var mellan 50–98 %, där medelvärdet för utspädningsgraden på 17,3 motsvarade 94 % tillskottsvatten.

Ammoniummetoden hade tidigare använts på Falu Energi och Vatten i Grycksbo, där det också fanns stora problem med tillskottsvatten (Falu Energi och Vatten 2021). Medelvärdet för utspädningsgraden i Grycksbo var 8,7 och ammoniumhalten varierade mellan 1,7–37,9 mg/l. Vid utredning av tillskottsvatten i ett område i Norrköping användes också ammoniummätning som metod för att lokalisera tillskottsvattnet (Uusijärvi 2013). Utspädningsgraden på ledningsnätet i Norrköping fastställdes till 3,6, där andelen tillskottsvatten på nätet var 72 %. I Aspeboda var alltså utspädningen av spillvattnet större jämfört med både Grycksbo och Norrköping. Men med tanke på att medelvärdet för andelen tillskottsvatten var 94 % i Aspeboda, kan den uppmätta ammoniumhalten vara tillförlitlig om man jämför med ledningsnätet i Norrköping där både utspädningsgraden och andelen tillskottsvatten var lägre.

Att ammoniumhalten ökade nedströms vid den andra ammoniummätningen på ledningssträckan från kyrkan till pumpstationen indikerade att vattentillskottet var som störst längst upp på ledningssträckan. Vidare ansluts fler servisledningar längre ner på ledningssträckan vilket ger ett större tillskott av koncentrerat spillvatten, vilket ökar

ammoniumhalten nedströms. Att ammoniumhalten ökade nedströms kan även förklaras av att spillvattenproverna vid båda tillfällena samlades in under förmiddagen då avledningen av spillvatten troligtvis var hög från både skolan och förskolorna.

Den höga utspädningsgraden som mättes kan till viss del även förklaras av den nederbörd som föll innan ammoniummätningarna utfördes. Eftersom det inte regnade de närmsta timmarna innan ammoniummätningen genomfördes uteslöts den snabba nederbördspåverkan som källa till utspädningen, just eftersom den har en snabb respons på nederbörd. Källan till utspädningen av spillvattnet konstaterades därför vara trög nederbördspåverkan eller grundvattenpåverkan. Där grundvattenpåverkan både kan härstamma från inläckage av dricksvatten och grundvatten.

5.2 TV-inspektion

Vid analys av filmerna observerades brister och skador på ledningsnätet. Direkta inläckage observerades samt ett flertal rörbrott och sprickor där vatten riskerar att läcka in i ledningen. Brister som rötter och rotpaket som observerades bidrar inte i sig till vattentillskottet på ledningsnätet, men på sikt kan sprickor på ledningarna bildas av de inträngande rötterna. Det är därför viktigt att framöver vidta åtgärder på det allmänna nätet för att inte fler rörbrott eller skador där vatten läcker in ska inträffa.

Eftersom ledningsnätet filmades under torra väderförhållanden och inte i samband med snösmältning var de observerade inläckagen små. Det finns därför risk att inläckaget vid de observerade sprickorna och rörbrotten i samband med nederbörd och snösmältning bidrar med ett betydligt större vattentillskott.

5.3 Kontroll av VA-anslutningar

Rökningen och färgningen fastställde en yta på cirka 1010 m² som felaktigt avleddes till spillvattennätet. Ytan inkluderade både takytor och andra hårdgjorda ytor som avleder dagvatten till stuprör, rännstensbrunnar, spygatter eller kupolbrunnar. I relation till den totala takytan i Aspeboda motsvarar de felkopplade ytorna drygt 16 % av takytan. Vid nederbörd avleder då de felkopplade ytorna stora volymer vatten till pumpstationen. Med anledning av att rinntiden i Aspeboda var kort ankommer tillskottsvattnet snabbt till pumpstationen från de felkopplade ytorna, vilket ökar riskerna för bräddning.

Enbart två stuprör var felkopplade på ledningssträckan från Aspebo förskola till pumpstationen. Resterande felkopplingar förekom på ledningssträckan från kyrkan ner till pumpstationen. Den största påkopplade hårdgjorda ytan var taket på Aspeboda skola, som uppskattningsvis var 670 m². Från skolan fastställdes även att två spygatter var felkopplade. Därmed utgör Aspeboda skola den största källan till den snabba nederbördspåverkan på spillvattennätet i Aspeboda.

5.4 Sammanställning av källor till tillskottsvattnet

Fyra av de fem rörbrotten som observerades på ledningsnätet var lokaliserade på ledningssträckan mellan Aspeboda kyrka och Aspelundens förskola. På samma ledningssträcka var även de observerade utspädningsgraderna höga och minskade därefter

nedströms. Ett samband mellan rörbrotten och utspädningsgraden kan alltså ses på ledningssträckan. Uppströms ledningssträckan bekräftades även att två spygatter och två rännstensbrunnar var felkopplade på spillvattennätet. Både de felkopplade hårdgjorda ytorna samt bristerna på den allmänna ledningen bidrar till utspädningen av spillvattnet på ledningssträckan.

På den andra ledningssträckan från Aspebo förskola till pumpstationen observerades också ett flertal inläckage samt sprickor utifrån filmningen. Den första ammoniummätningen bekräftar att det sker ett tillskott av vatten på ledningsträckan från utspädningsgrad 5 till 23. Eftersom den andra ammoniummätningen överskred mätintervallet vid en mätpunkt, är de två ammoniummätningarna motsägande. Det går därmed inte att se något samband mellan inläckaget och ammoniummätningen på ledningssträckan. Eftersom det inte fanns någon flödesmätare på ledningssträckan, går det heller inte att analysera tillskottsvattnet för den specifika ledningsträckan med flödesanalyserna.

Av de metoder som utfördes under examensarbetet gick det inte att kontrollera om dräneringar var felkopplade på spillvattennätet. I stället utfördes en källarinventering för att få en uppfattning om hur många fastigheter som riskerade att vara felkopplade. I Aspeboda hade 12 av 16 fastigheter källare. Vid analys av flödesdatan från ledningsnätet konstaterades att spillvattenflödet stabiliserades kring 1 l/s under nätterna, då flödet förväntades vara lågt. Även vid torrväder stabiliserades flödet kring 1 l/s. Detta indikerade att det sker någon form av konstant vattentillskott till ledningsnätet. Källan till tillskottsvattnet kan dock vara både inläckage av dricks- och grundvatten samt felkopplade dräneringar. Det gick alltså inte att bekräfta att dräneringar är felkopplade utifrån flödesanalysen. Men utifrån både källarinventeringen och flödesanalysen fanns det tecken på att dräneringar skulle kunna vara felkopplade.

Från både flödesanalysen i Future City Flow samt utredningen med rökning och färgning var resultatet en beräknad yta som var felkopplad och bidrog till tillskottsvattnet. Enligt flödesanalysen var 2100 m² hårdgjord yta felkopplad på spillvattennätet. Vid jämförelse med rökningen observerades 1010 m² vara felkopplad på spillvattennätet. Ytorna som observerades utifrån rökning och färgning bekräftades vara felkopplade, till skillnad från flödesanalysen som enbart är en modell och baseras på responsen av spillvattenflödet till följd av nederbörden. Detta säger något om tillförlitligheten för både flödesanalysen samt flödesmätaren på ledningsnätet, som indikerar att en betydligt större yta är påkopplad på spillvattenledningen jämfört med vad som observerats utifrån rökningen.

År 2023 beräknades andelen tillskottsvatten till 92 % på ledningsnätet i Aspeboda, utifrån debiterat dricksvatten och spillvattenflöde vid pumpstationen. Utifrån de metoder som utförts i denna utredning har andelen tillskottsvatten beräknats ligga mellan 50 – 98 % på ledningsnätet. Från den grafiska flödesanalysen observerades att andelen tillskottsvatten var stabil kring 84 % vid torrväder. Om den observerade ökningen av spillvattenflödet i samband med nederbörd inkluderas i bedömningen av den totala andelen tillskottsvatten, bör den överstiga 84 %. Ammoniummätningen indikerade också att andelen tillskottsvatten var hög, där medelvärdet för andelen tillskottsvatten var 94 %.

5.5 Felkällor

Nedan presenteras felkällor till de metoder som använts vid utredningen av tillskottsvattnet.

5.5.1 Flödesmätare vid pumpstationen

Med anledning av att flödesmätaren i pumpstationen mäter flödet baserat på reflektioner av ljudvågor, försämrar kvalitén av mätningen då spillvattnet späddes ut till följd av tillskottsvattnet. Detta påverkar resultatet av flödesmätningen vid pumpstationen, där ett lägre flöde riskerar att mätas upp till följd av utspädningen. Enligt leverantören av flödesmätaren går den inte att använda för flödesmätning av dagvatten, då utspädningen av partiklarna i vattnet blir för stor (Nordén 8 maj 2024, personlig kommunikation). Vid ett nederbördstillfälle då det sker ett stort bidrag av tillskottsvatten riskerar det uppmätta flödet därmed att minska. Avloppsvattnet i Aspeboda är troligtvis mer likt dagvatten än spillvatten och mätosäkerheterna från denna flödesmätning riskerar därmed att vara stora, främst vid nederbördstillfällen.

Vid jämförelse av flödesdatan från ledningsnätet och pumpstationen den 28–30 mars 2024, observerades två helt olika trender i flödesresponsen vid nederbörd (se figur 17). Med anledning av att det uppmätta flödet i pumpstationen minskade när 20 mm regn föll, antogs att det uppmätta flödet för det utvalda nederbördstillfället inte var tillförlitligt från pumpstationen som tidigare nämnt. Denna jämförelse i samband med leverantörens uttalande, bidrar till en stor osäkerhet kring flödesmätningarna vid pumpstationen i Aspeboda.

5.5.2 Future City Flow

Till följd av att det debiterade dricksvattnet inte helt överensstämmer den verkliga förbrukningen på grund av reningsprocessen på vattenverket, användes schablonvärden för specifik spillvattenavrinning enligt Svenskt Vattens publikation P110, se avsnitt 2.5.3. Eftersom schablonvärden inte motsvarar den verkliga förbrukningen blir spillvattenavrinning inte helt tillförlitlig. Exempelvis tar schablonvärdet inte hänsyn till om det är veckodag, helg eller lov för eleverna på skolan. Under sommarlovet tas även fortsatt hänsyn till att eleverna producerar spillvatten, vilket inte överensstämmer med verkligheten. Eftersom spillvattenavrinningen används i modellen påverkar det resultatet för de bidragande ytorna, som därmed blir mindre då en större andel av avloppsvattnet antas vara spillvatten.

Den nederbördsdata som användes för flödesanalys under perioden 25 juni – 27 november 2023 var uppmätt nederbörd på reningsverket i Främby. Avståndet mellan Främby och Aspeboda var ungefär 9 km, vilket är ett långt avstånd för nederbörd som ofta är lokal och kan skilja sig mycket inom närliggande områden (South et al. 2019). En jämförelse med tre närliggande nederbördsstationer genomfördes därför för att säkerställa att nederbörden var representativ för Aspeboda, se bilaga 3. Utifrån jämförelsen var den uppmätta nederbörden lägst i Främby, men de fyra nederbördsmätningarna följde samma trend och skiljde sig inte speciellt mycket åt.

Med anledning av att de två flödesanalyserna använde olika mätstationer för insamling av nederbördsdata, genomfördes en regressionsanalys mellan de två mätstationerna för perioden 21 mars – 30 april 2024, se bilaga 5. Korrelationen mellan mätstationen i Aspeboda och

Främby var 0,82. Utifrån regressionsanalysen observerades en lutning på 0,2, vilket innebär att det förekommer stor spridning i datan. Den uppmätta nederbörden konstateras alltså skilja sig mycket mellan Aspeboda och Främby. Dessutom genomfördes en regressionsanalys mellan Aspeboda och två mätstationer från SMHI, vid Lugnet och Borlänge. Även dessa regressionsanalyser visade en stor avvikelse från nederbördsdatan vid Aspeboda. Detta innebär att den nederbördsdata som användes i Future City Flow från Främby troligtvis inte motsvarar den nederbörd som föll i Aspeboda, och utgör därmed en stor felkälla i modellen.

5.5.3 Ammoniummetoden

Det valda referensvärdet på 45 mg NH_4^+ /l användes för samtliga beräkningar av utspädningsgraden. Referensvärdet var tidigare använt i en studie av Uusijärvi (2013) samt i en utredning av tillskottsvatten i Grycksbo av Falu Energi och Vatten (2021).

Koncentrationen av spillvatten är dock inte konstant, utan skiljer sig mest troligt åt under dygnet. Vid tillfällen då många går på toa blir ammoniumhalten hög och vid tillfällen då det spolat mycket vatten i duschar eller kök blir utspädningen av spillvattnet stort redan när den lämnar husen. Att den uppmätta koncentrationen av ammonium då jämförs med den konstanta referensvärdet vid beräkning av utspädningsgraden kan ha stor påverkan på resultatet. Vid val av ett annat referensvärde förändras dock enbart storleken av utspädningsgraden. Detta innebär att förhållandet mellan de beräknade utspädningsgraderna förblir densamma, där de lägsta och högsta utspädningsgraderna fortsatt blir lägst och högst vid val av ett annat referensvärde.

Spillvattenflödet vid mätpunkt 6 var vid båda ammoniummätningarna lågt och sediment fanns ansamlat i vattengången. Detta kan ha påverkat mätningarna av ammoniumhalten, eftersom ammoniumprover inte rekommenderades att tas i brunnar där spillvattnet var ståendes. En annan felkälla som även kan ha påverkat resultatet av ammoniummätningen, var det faktum att bägaren som användes för att samla upp spillvattenproven var tvungen att ligga i vattenfåran på grund av den låga flödesnivån. Bägarens kontakt med ledningens botten riskerade att skrapa upp sediment som därmed kan ha påverkat resultatet. Den uppmätta ammoniumhalten till följd av felkällan blir därav högre. Felkällan kan därför vara anledningen till att mätintervallet för ammoniummätningen överskreds för en av mätpunkterna, vid den andra ammoniummätningen.

5.5.4 TV-inspektion

De filmer som analyserades var filmade mellan 2018–2019 och är därmed ungefär 5 år gamla. Många skador och brister på ledningsnätet kan ha uppstått under dessa år och filmningarna representerar alltså inte dagens ledningsnät. Detta utgör en källa till osäkerhet om det under denna period har uppstått fler skador på ledningsnätet. Eftersom inga åtgärder har gjorts på den allmänna ledningen sedan filmningen genomfördes kvarstår dock de observerade skadorna på ledningen.

5.6 Åtgärder på ledningsnätet

Utifrån utredningarna av källorna till tillskottsvattnet finns flera alternativa åtgärder som kan genomföras. För de fastigheter som har felkopplade stuprör på spillvattennätet kommer krav på bortkoppling ställas av Falu Energi och Vatten. När det gäller påkopplade dräneringar som

inte kan påvisas är det fortsatt viktigt att informera om att det inte är tillåtet att avleda dräneringsvatten i spillvattenledningen. Vidare bör lämpliga åtgärder på de allmänna ledningarna vidtas där skador och inläckage förekommer på ledningsnätet. Med anledning att fyra av de fem observerade rörbrotten förekommer på ledningssträckan mellan Aspeboda kyrka och Aspelundens förskola bör denna ledningssträcka prioriteras. Alternativa åtgärder för detta är förnyelse eller relining av de ledningssträckor där skador har påträffats, se bilaga 4. Förnyelse innebär schaktning och byte av de gamla ledningarna. Relining används som åtgärd av gamla ledningar, där ett nytt rör placeras i den redan befintliga ledningen utan att behöva schakta (VVSteknik u.å.).

Utredningen av tillskottsvatten i Norrköping av Uusijärvi (2013) inkluderade även åtgärder samt uppföljning. De åtgärder som vidtogs var relining och schaktning samt byte av vattenledningar. Vid uppföljning av åtgärderna som vidtagits, hade tillskottsvattnet minskat med 14 %. Bräddningar på ledningsnätet hade också minskat i antal till följd av det minskade tillskottsvattnet. Fortsatt vattentillskott från de privata ledningarna observerades dock kvarstå efter de genomförda åtgärderna på det allmänna nätet.

Med anledning att tillsynsmyndigheten dessutom har ställt krav att minska inläckaget vid slamavskiljarna, behöver åtgärder vidtas för att täta slamavskiljarna. Eftersom inläckage har observerats i slambrunnarna, kan lagning av skadan dessutom bidra väsentligt till att minska tillskottsvattnet.

5.7 Fortsatt utredning

Om Falu Energi och Vatten åtgärdar de brister som finns på det allmänna ledningsnätet och alla felkopplingar inom fastigheterna kopplas bort, finns det fortsatt risk för tillskottsvatten på ledningsnätet. Möjliga felkopplade dräneringar samt inläckage av grund- och dricksvatten på servisledningarna kan fortsatt bidra med tillskottsvatten efter att åtgärderna vidtagits. För att fullt ut utreda tillskottsvattnet på spillvattennätet i Aspeboda behöver därmed anslutningen av samtliga dräneringar kontrolleras. Tyvärr finns i dagsläget ingen utredningsmetod som helt kan bekräfta att dräneringar är felkopplade på spillvattennätet, vilket gör det svårt att identifiera och ställa krav på bortkoppling. Men eftersom många dräneringar i Sverige antas vara felkopplade enligt Svenskt Vatten (2019) är det en viktig källa av tillskottsvatten som vidare behöver utredas för att minska vattentillskotten till spillvattenledningarna.

Inläckage av grund- och dricksvatten på de privata ledningarna undersöktes inte under examensarbetet. Detta kan vara en betydande källa av tillskottsvatten på ledningsnätet i Aspeboda, om skador och brister förekommer på servisledningarna. För att fullständigt eliminera tillskottsvattnet, behöver därmed även servisledningarna undersökas.

Något som även fortsatt bör utredas är tillskottsvatten från bräddutlopp, som vid höga vattennivåer i recipienten kan leda in tillskottsvatten på ledningsnätet. Med anledning att bräddutloppet är beläget strax innan pumpstationen är det också viktigt att undersöka hur ofta bräddning förekommer, eftersom det har stor påverkan på flödet som kommer in i pumpstationen.

Utöver ledningarnas skick kan inläckaget i ledningarna även undersökas genom att studera grundvattennivåerna i området, för att se om det finns korrelation mellan grundvattennivåerna och tillskottsvattnet. Antingen kan grundvattennivåer i grundvattenrör jämföras med spillvattenflödet, eller så används Future City Flow om en längre tidsserie finns tillgänglig. Andelen grundvattenpåverkat tillskottsvatten i Aspeboda skulle då kunna fastställas.

6. Slutsatser

Källorna av tillskottsvatten på spillvattennätet i Aspeboda kommer från inläckage på det allmänna ledningsnätet samt felkopplade stuprör, spygatter och rännstensbrunnar. Spillvattenflödet observerades även ha en trög nederbördspåverkan utifrån flödesanalyserna och en stor utspädningsgrad på ledningsnätet vid torrväder. Källorna till den tröga nederbördspåverkan och utspädningen av spillvattnet gick dock inte att fastställa. Utifrån resultat och diskussion av de utredningar som genomförts förmodas den tröga nederbördspåverkan härstamma från både inläckage på ledningsnätet samt felkopplade dräneringar.

För att effektivt minska tillskottsvattnet på ledningsnätet bör åtgärder prioriteras på ledningssträckan mellan Aspeboda kyrka och Aspelundens förskola, där både schaktning och relining är lämpliga åtgärder. Dessutom måste krav ställas på fastighetsägarna om bortkoppling av stuprör, spygatter och rännstensbrunnar som bekräftades vara felkopplade på spillvattenledningen.

Referenser

- Adcon (2015). *Rain Gauge – ADCON RG1*. [Broschyr]. ADCON Telemetry. adcon.com/download/leaflet-rg1-rain-gauge/ [2023-04-22]
- Andersson, P. (u.å.a.). *Mainstream Flödesmätare*. PBA-Instrument AB. [Opublicerat material].
- Andersson, P. (u.å.b.). *Flödesmätare- installation*. PBA-Instrument AB. [Internt material]
- Billvik, S (2021). *Metod åtgärda tillskottsvatten*. Falu Energi och Vatten. [Internt material].
- Clementson, I., Alenius, E. & Gustafsson, L. (2020). *Tillskottsvatten i avloppssystem – nya tankar om nyckeltal*. (2020-13). Svenskt Vatten Utveckling. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/tillskottsvatten-i-avloppssystem-nya-tankar-om-nyckeltal/> [2024-01-03]
- Dala VA (u.å.). *Hantering av dag- och dräneringsvatten*. Dala VA. <https://fev.se/download/18.61cdb3ec169d8248e9c2079c/1566991564868/Dag-%20och%20dr%C3%A4neringsvatten%20information.pdf> [2024-01-09]
- DHI (u.å.). *Future City Flow*. DHI. [Internt material].
- Eliasson, J. (2019). *Identifiering av okända avloppsströmmar – en studie i Perstorp industripark*. Lunds universitet. Institutionen för kemiteknik. <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8992421&fileId=8992423> [2024-04-23]
- Falu Energi och Vatten (2008). *ABVA för Falu kommun*. Falu Energi och Vatten. <https://fev.se/download/18.52358dcb169d83420186eee/1566991566053/ABVA%202009%20VA.pdf> [2023-12-22]
- Falu Energi och Vatten (2021). *Resultat tillskottsmätningar*. Falu Energi och Vatten . [Internt material].
- Falu Energi och Vatten (2023a). *Aspeboda – ledningsnät spill*. Falu Energi och Vatten. [Internt material].
- Falu Energi och Vatten (2023b). *Inläckage o problem S nätet*. Falu Energi och Vatten. [Internt material].
- Falu Energi och Vatten (u.å.). *VA-banken*. (4). Aveki. [Internt material].
- Hach (2019). *LCK 303 Ammonimkväve*. <https://se.hach.com/asset-get.download.jsa?id=57895528153> [2024-03-07]
- Lantmäteriet (u.å.). *Aspeboda. SWEREF99 15 45*. Ortofoton, Lantmäteriet. [Kartografiskt material]. [Internt material].
- Lundblad, U. & Backö, J. (2012). *Undersökningsmetoder för att hitta källorna till tillskottsvatten*. (Rapport 2012-13). Svenskt Vatten Utveckling. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/undersokningsmetoder-for-att-hitta-kallorna-till-tillskottsvatten/> [2023-12-21].
- Lundblad, U. & Backö, J. (2014). *Juridisk och ekonomisk hantering av tillskottsvatten som sker till spillvattenförande ledning innanför förbindelsepunkt*. (Rapport 2014-11). Svenskt Vatten Utveckling. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/juridisk-och-ekonomisk-hantering-av-tillskottsvatten-som-sker-till-spillvattenforande-ledning-innanfor-forbindelsepunkt/> [2023-12-21]
- Malm, A., Horstmark, A., Jansson, E., Larsson, G., Meyer, A., Uusijärvi, J. (2011). *Handbok i förnyelseplanering av VA-ledningar*. (Rapport 2011–12). Svenskt Vatten Utveckling. https://vav.griffel.net/filer/Rapport_2011-12.pdf [2024-01-11]
- Manovanyy, A., Johannesdottri, S., Schwede, S., Ahlgren, A., Flodin, E., Shanmugam, K. (2022). *Återvinning av näringsämnen från avlopp*. (Rapport 2022-6). <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2022/11/svu-rapport-2022-06.pdf> [2024-05-26]

- Myndighetsnämnden för bygg- och miljöfrågor (2022). *Din avloppsanordning uppfyller inte dagens krav*. Falu kommun. [Internt material].
- Nationalencyklopedin (u.å.). *hydrogram*. <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/hydrogram> [2024-04-09]
- Pollex (u.å.). *Identifiera läckage och få bukt med tillskottsvatten*.
<https://pollex.se/utredning/utredning-av-tillskottsvatten> [2024-01-02]
- Pulsar Measurement (2022). *DFM 6.1*.
https://pulsarmeasurement.com/downloads/download/dfm_6.1_brochure.pdf [2023-02-19].
- Ringqvist, A. (2021). *Utläckage från vattennät – en betydande källa till tillskottsvatten i spillvattennät?*. Uppsala universitet. Civilingenjörsprogrammet i system i teknik och samhälle. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1524777/FULLTEXT01.pdf> [2024-04-29]
- Sandberg, M. (2021). *Distributed Temperature Sensing för kontroll av inläckage i spillvattenledningar*. Uppsala universitet. Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik. http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Moa_Sandberg.pdf [2024-05-03]
- Scherling, M., Ohlin Saletti, A. & Sjöstrand, K. (2023). *Beslutsstöd för tillskottsvatten. Verktyg för vattenbalans, nulägesanalys och åtgärdsvärdering*. (Rapport 2023-6). Svenskt Vatten Utveckling. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/beslutsstod-for-tillskottsvatten/> [2024-01-04]
- Sjökvisst, E., Ericsson, A. & Johnell, A. (2022). *Framtidsklimat i Falu kommun*. (2022/10). SMHI. [Internt material].
- South, N., Hashemi, H., Olsson, L., Hosseini, S.H., Aspegren, H., Larsson, R., Berndtsson, R., Das, R., Marmbrandt, A., Olsson, J. & Persson, A. (2019). *Väderradarteknik inom VA-området – test av metod*. (Rapport 2019–3). Svenskt Vatten Utveckling.
<https://www.svensktvatten.se/contentassets/37084ad45b77468d9162f2044e8de473/sv-raprt-19-3.pdf> [2024-05-09]
- Svenskt Vatten (2006). *TV-inspektion av avloppsledningar i mark*. 1 utgåvan, Elanders Östervåla.
- Svenskt Vatten. (2019). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. 2 utgåvan, Finborg graphic AB.
- Uusijärvi, J. (2013). *Minskning av in- och utläckage genom aktiv läcksökning*. (Rapport 2023-03). <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/minskning-av-in-och-utlackage-genom-aktiv-lacksokning/> [2024-01-03]
- VVSteknik. (u.å.). *Vad är relining?*. <https://dalarnarelining.se/vad-ar-relining> [2024-05-08]
- Åkerblom, A., Lüdtke, M., Lans, N., Linderholm, L., Johansson, E., Lundin, M., Gunnarsson, Å., Åkerblom, S. & Svanström, S. (2020). *Rening av avloppsvatten i Sverige 2020*. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/4aa988/globalassets/media/publikationer-pdf/8800/978-91-620-8895-8.pdf> [2023-01-02]

Personlig kommunikation

- Chapman, S. Aspebodaskolan. (2024-03-22)
- Fredriksson, M. Falu Kommun. (2024-03-22).
- Aspebo föräldrakooperativ. (2024-02-25).
- Jackson, E. Svenska Kyrkan. (2024-03-22)

Dimberg, P. DHI. (2024-03-22).

Nordén, J. PAAB Tekno Trading AB. (2024-05-08).

Bilagor

Bilaga 1

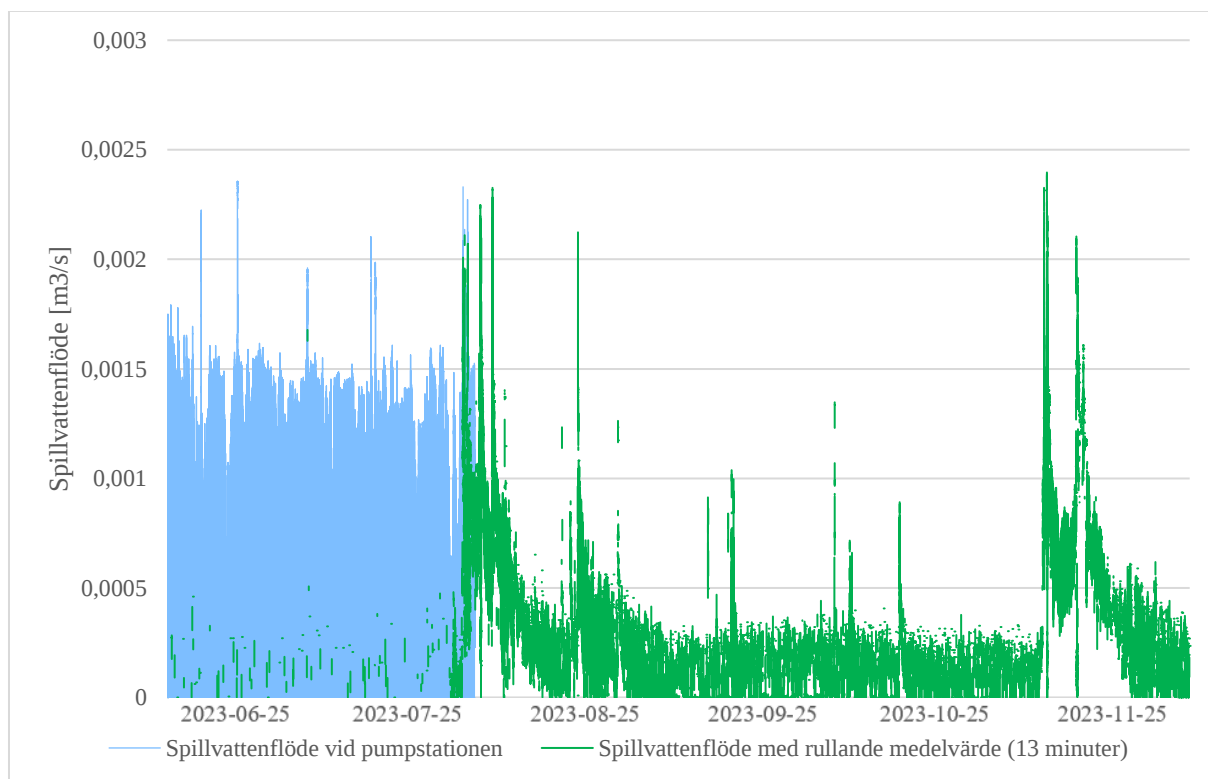
En sammanställning av de observerade felen av grad 3 och 4 från filmningen av ledningsnätet i Aspeboda presenteras i tabell 4, med tillhörande brunnnummer som presenteras i figur 18.

Tabell 4: Sammanställning av de observerade felen på ledningsnätet utifrån filmningen 2018/2019 med gradering 3 och 4.

Ledning	Avstånd från brunn	Grad	Fel	Position	Ledningsmaterial
SNB46957 → SNB46969	0,8	4	Rörbrott/Kollaps	12–12	Betong 225
SNB46957 → SNB46969	11,2	3	Inläckage	5	Betong 225
SNB46970 → SNB46971	49	3	Rotpaket	8–4	Betong 225
SNB46973 → SNB46971	28	3	Sediment	5–7	Betong 225
SNB46973 → SNB47016	1	3	Sediment	5–7	Betong 225
SNB46973 → SNB47016	21	4	Rörbrott	12–12	Betong 225
SNB46973 → SNB47016	33	3	Rotpaket	12–12	Betong 225
SNB47016 → SNB47011	34	4	Rotpaket	8–4	Betong 225
SNB47016 → SNB47011	34	4	Rörbrott	12–12	Betong 225
SNB47015 → SNB47014	2	3	Rotpaket	7–6	Lera 150
SNB47014 → SNB47011	4	3	Sprickor	6–12	Lera 150
SNB47014 → SNB47011	14	3	Sprickor	12–12	Lera 150
SNB47014 → SNB47011	25	4	Rörbrott	10–2	Lera 150
SNB46991 → STB46986	8	3	Sprickor	12–12	Betong 225
SNB46991 → STB46986	23	4	Rörbrott	12–12	Betong 225
SNB46991 → STB46986	23	3	Sprickor - Cirkulärt	12–12	Betong 225
SNB46987 → STB46986	12	3	Rotpaket	10–5	Betong 225
SNB46983 → SNB46988	56	4	Inträngande fogtätning	4–7	Plast 200
SNB46983 → STB370	7	4	Främmande föremål	5–9	Plast 200
SNB46983 → STB370	23	3	Sprickor - Längsgående	3	Plast 200
SNB46983 → STB370	31	3	Sprickor	12–12	Plast 200
SNB46996 → SNB15666	7	3	Sprickor - Cirkulär	3–9	Betong 225

Bilaga 2

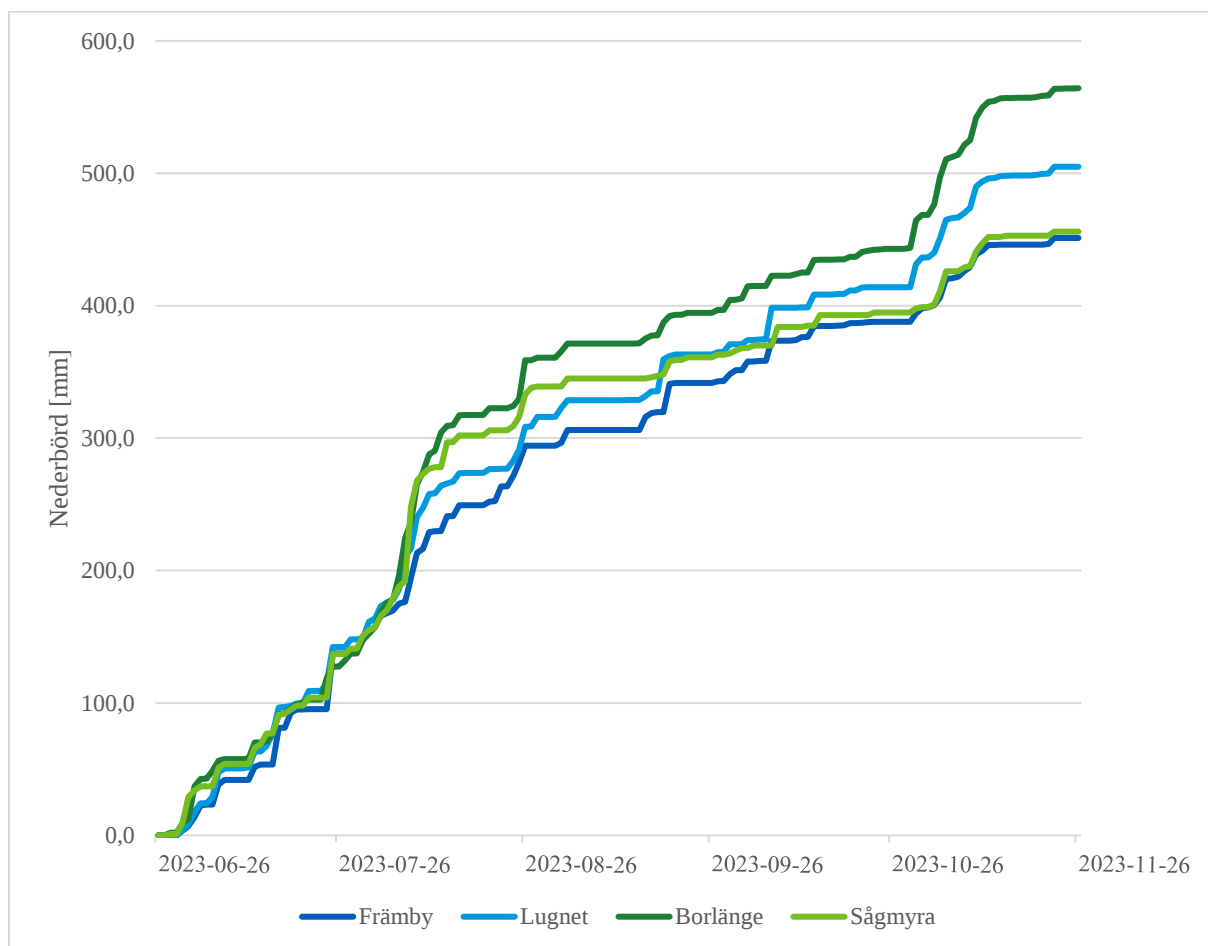
Jämförelse mellan det uppmätta spillvattenflödet vid pumpstationen och rullande medelvärden för spillvattenflödet var 13:onde minut presenteras i figur 19 nedan.



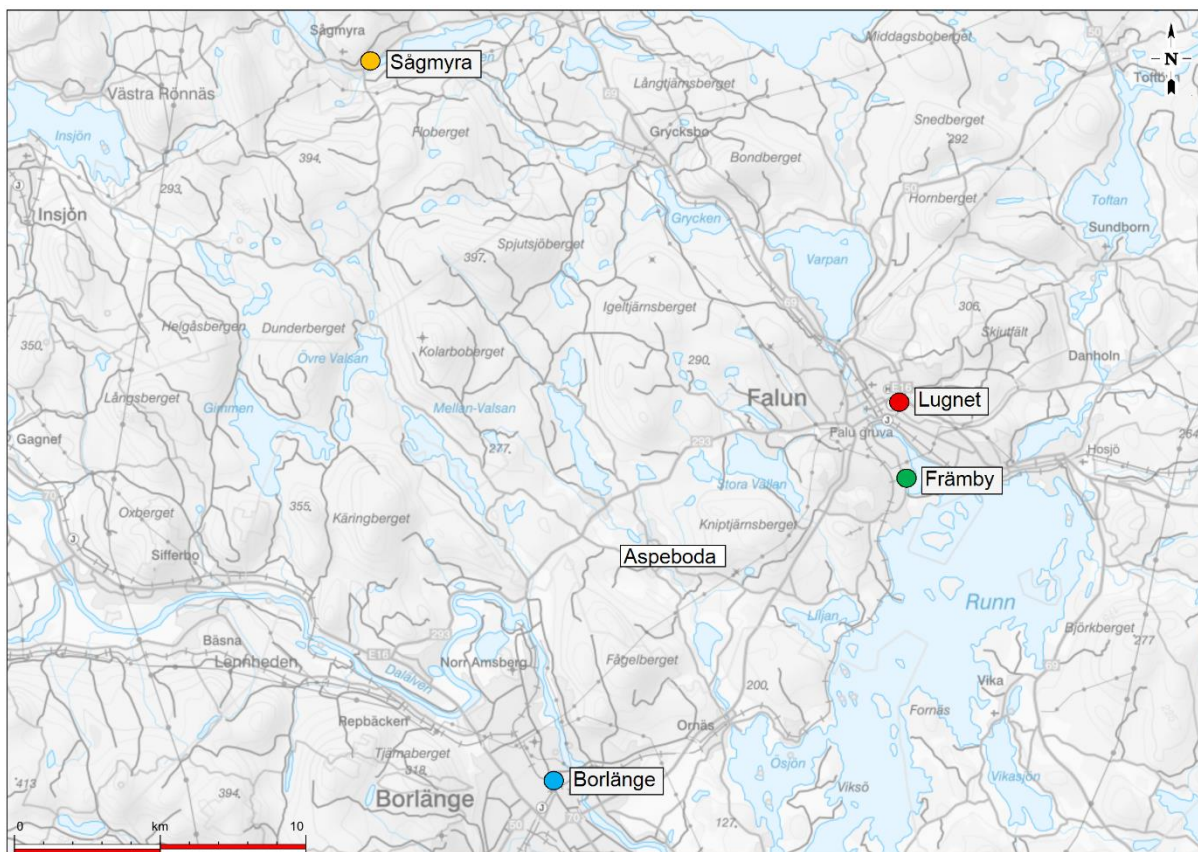
Figur 19: Spillvattenflödet uppmätt från pumpstationen i blått samt spillvattenflödet vid pumpstationen med rullande medelvärde var 13:onde minut.

Bilaga 3

Jämförelse av nederbördsdata mellan de närmaste mätstationerna av nederbörd, se figur 20. Nederbördsstationerna vid Lugnet och Borlänge var mätstationer från SMHI. Mätstationerna vid Främby och Sågmyra var utplacerade nederbördsmätare av Falu Energi och Vatten. Lokaliseringen av mätstationerna presenteras i figur 21.



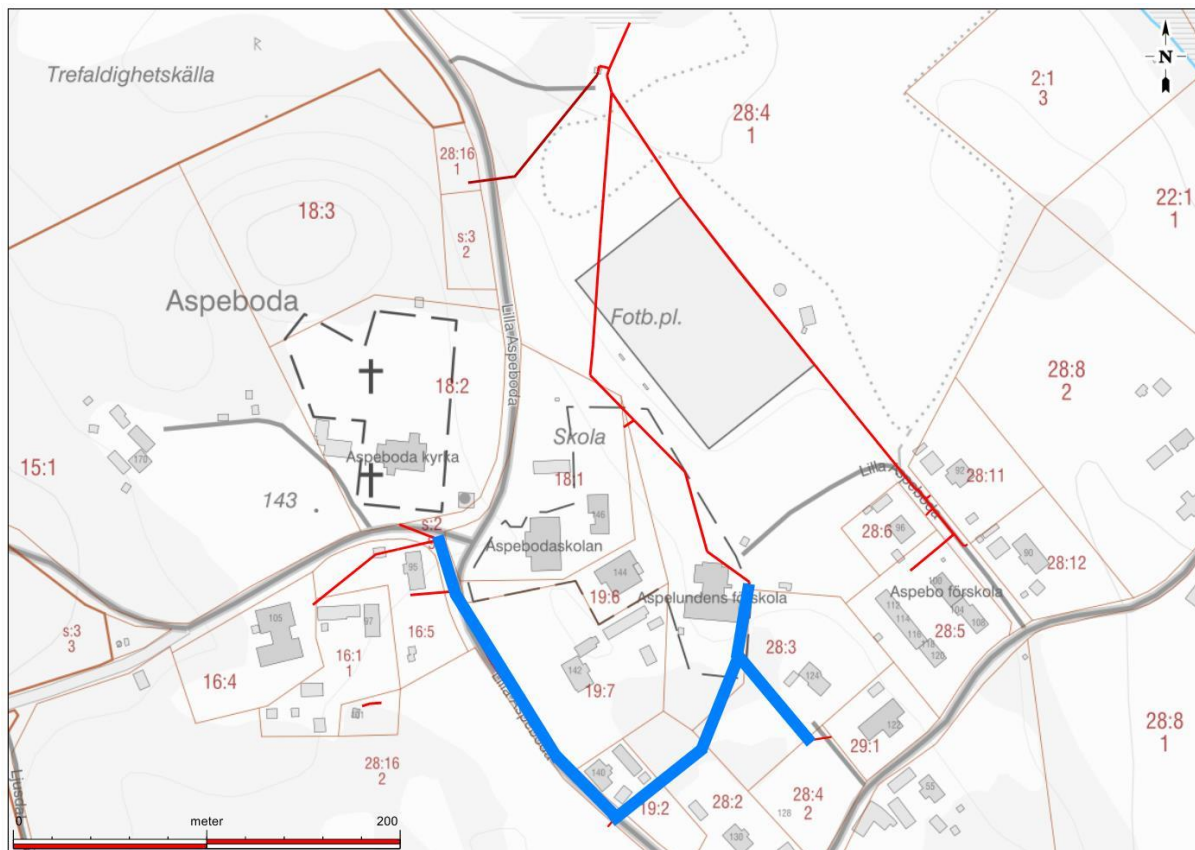
Figur 20: Jämförelse av ackumulerad nederbördsdata från nederbördsstationerna i Främby, Lugnet, Borlänge och Sågmyra.



Figur 21: Lokalisering av de fyra nederbördsrätarna i Sågmyra (orange), Lugnet (röd), Främby (grön) och Borlänge (blå) samt lokaliseringen av ledningsnätet i Aspeboda (Falu Energi och Vatten u.å.). © Lantmäteriet Falu kommun Geodatasamverkan och Mät & karta, Falu kommun.

Bilaga 4

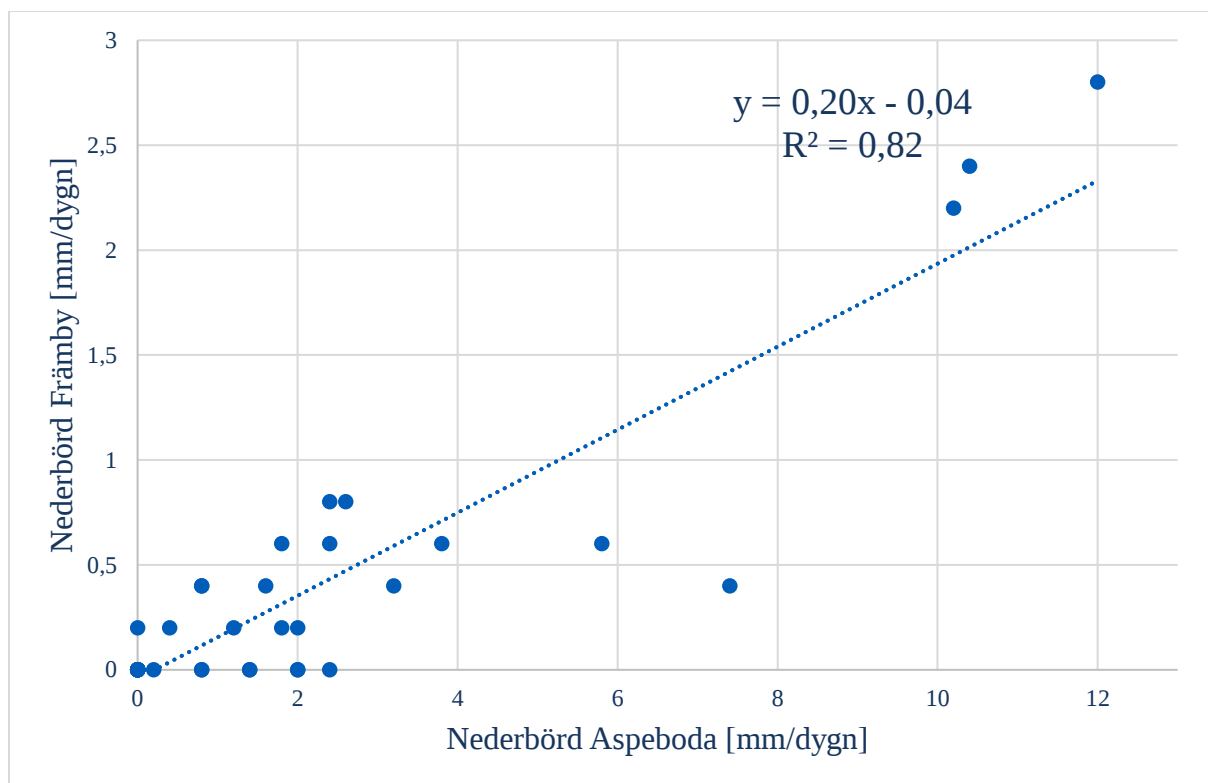
Ledningssträckan där schaktning eller relining anses som lämpliga åtgärder för att minska tillskottsvattnet i Aspeboda illustreras i figur 22. På ledningssträckan observerades fyra rörbrott samt stor utspädningsgrad.



Figur 22: Ledningssträcka där relining eller schaktning föreslås som lämpliga åtgärder (Falu Energi och Vatten u.å.). © Lantmäteriet Falu kommun Geodatasamverkan och Mät & karta, Falu kommun.

Bilaga 5

Se figur 22 för regressionsanalys mellan nederbörds-mätning per dygn i Aspeboda och Främby mellan 21 mars – 30 april 2024.



Figur 22: Regressionsanalys mellan uppmätt dygnsvärde av nederbörd i Aspeboda och Främby för perioden 21 mars – 30 april 2024.