



CHALMERS

Riskbedömning av grundvattenförekomster i Floda

Grundvattenskydd

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

CLARA ALKEMARK

IYAS AL ASFAR

JAKOB HAMMERLID

MÅNS LJUNGSTRÖM

MATHILDA RINGDAHL

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

AVDELNINGEN FÖR GEOLOGI OCH GEOTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige, 2020

www.chalmers.se

Kandidatarbete ACEX10-20-37

Risk assessment of the groundwater in Floda

Groundwater protection

CLARA ALKEMARK
IYAS AL ASFAR
JAKOB HAMMERLID
MÅNS LJUNGSTRÖM
MATHILDA RINGDAHL

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Geologi och Geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020

Riskbedömning av grundvattenförekomster i Floda
Grundvattenskydd

CLARA ALKEMARK
IYAS AL ASFAR
JAKOB HAMMERLID
MÅNS LJUNGSTRÖM
MATHILDA RINGDAHL

Handledare: Andreas Lindhe
Examinator: Lars Rosén

Kandidatarbete ACEX10-20-37
Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Geologi och Geoteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Abstract

This report seeks to make a risk assessment of the groundwater in the area around Floda, in the municipality of Lerum, Sweden. *Water protection areas*¹ have for a long time been designed based on, for an example, the retention time of the groundwater and activities within the catchment area. To enable well designed *water protection areas*, a risk-based approach is needed considering the local conditions. Hence, a risk assessment is needed to help preserving the groundwater quality by adapting the *water protection area* to the risks in the area. The risk here is evaluated by identifying the vulnerability of the different parts of the analysed area, potential pollutant sources as well as the threat they pose to the water. Furthermore, this is combined with data on water flow direction and geological fracture zones. The vulnerability was estimated using the geological and hydrogeological properties of the area and the potential pollutant sources were identified through a field study. Based on these factors, a relative risk assessment score from 2 to 12 was estimated. It was identified that the two eskers in the area were at the largest risk of contamination. There is currently a *water protection area* covering parts of the northern esker. Recommendations about the size and delination of this *water protection area* are made based on the risk assessment. Since the *water protection area* only covers the south western part of the northern esker, it is recommended to extend the area to include the entire northern esker, to protect the possibility of future use of the groundwater. Additionally, there is another esker in the southern part of the area that is recommended to protect in form of a water protection area as well, due to additional pressures from climate change in the future.

¹ *Water protection area*, or vattenskyddsområde in Swedish, is an area, established by a Swedish municipality or the county administration, in where land use and handling of chemical substances is regulated to protect the groundwater.

Keywords: Grundvattenskydd, sårbarhet, grundvattenförorening, riskbedömning, vattenskyddsområde

Begreppsregister

Här beskrivs definitionen av särskilda begrepp som används kontinuerligt i rapporten.

Grundvattentäkt: En naturlig reservoar av sötvatten i mark som utnyttjas för vattenförsörjning.

Vattenskyddsområde: En geografisk avgränsning som fastställs av länsstyrelsen eller kommunen området ligger i. Inom området finns föreskrifter för skydd om vatten som oftast reglerar markanvändning och hantering av kemikalier (Havs- och Vattenmyndigheten, 2020).

Hydrogeologi: Grundvattens förekomst, egenskaper och rörelser i jord och berg.

Sårbarhet: Hur lätt grundvattnet kan kontamineras av en föroreningskälla samt hur kritisk ett utsläpp i tåkten med hänsyn till dess värde. När sårbarhet bedöms tas hänsyn till jordarternas och berggrundens permeabilitet och uttagsmöjligheter av grundvatten.

Grundvattnets värde: Detta bedöms med hänsyn till uttagsmöjligheter av grundvattnet. En hög uttagsmöjlighet ger ett högt värde.

Föroreningskälla: En källa till eventuella föroreningar som kan kontaminera grundvattnen.

Hot: Föroreningskällornas toxicitet sammanvägt med sannolikhet för att det sker utsläpp.

Riskinventering: En inventering av föroreningskällorna i området genom platsbesök och kartstudier.

Riskbedömning: En bedömning som tar hänsyn till grundvattnets sårbarhet, eventuella hot, grundvattnets flödesriktning och sprickzoner.

Innehållsförteckning

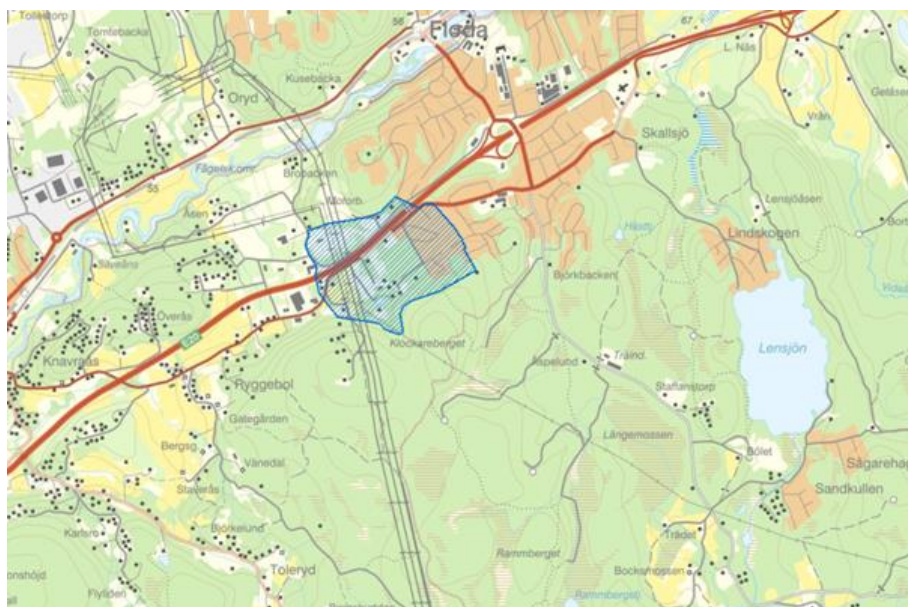
1 Inledning	1
1.2 Bakgrund	2
1.3 Syfte och frågeställning	2
1.4 Avgränsningar	2
2 Metod och utförande	4
2.1 Geologisk och hydrogeologisk beskrivning	4
2.2 Grundvattnets sårbarhet	4
2.3 Föroreningskällor och hot	4
2.4 Riskbedömning	5
3 Geologisk och hydrogeologisk beskrivning	7
3.1 Sveriges berggrund	7
3.1.1 Områdets berggrund	8
3.1.2 Sprickzoner	9
3.2 Sveriges jordarter	11
3.2.1 Områdets jordarter	12
3.3 Hydrologi och hydrogeologi	14
3.3.1 Grundläggande processer	14
3.3.2 Områdets hydrogeologiska egenskaper	16
3.4 Grundvattnets sårbarhet	20
4 Föroreningskällor och hot	21
4.1 Vägar	22
4.2 Kyrkogård	24
4.3 Jordbruk, skogsbruk och djurhållning	25
4.4 Bensinstationer	27
4.5 Bebyggelse	27
4.6 Sabotage, kris och krig	29
4.7 Klimatförändring	30
4.8 Sjöar och Badplatser	30
5 Riskbedömning	32
6 Diskussion och slutsats	34
7 Referenser	37

1 Inledning

I dagens Sverige är grundvattnet en av våra viktigaste naturresurser (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-a) eftersom det är ett nödvändigt livsmedel då hälften av befolkningen får sitt dricksvatten från grundvattnet (Svenskt Vatten, 2007). Grundvatten är mycket känsligt för föroreningar som exempelvis petroleumprodukter, näringsämnen och bekämpningsmedel som kan vara mycket giftiga för både människa, djur och natur. Om inte grundvattnet skyddas kan kvaliteten försämrats och tillgången kan inte längre nyttjas i dricksvattensyfte (Atangana, 2018). För att skydda den värdefulla resursen inrättas vattenskyddsområden som ska förhindra att föroreningar sprids till grundvattentäkterna (Havs- och Vattenmyndigheten, 2019a). Enligt Miljöbalken (SFS 1998:808) ska vattenskydd dessutom bidra till en hållbar utveckling, och därav ska “nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö”.

Vattenskyddsområdena i Sverige har sedan länge utformats med avseende på bland annat vattnets transporttid och pågående verksamheter inom avrinningsområdet. Detta behöver kompletteras för att beakta förändringar som exempelvis klimatförändringar.

Klimatförändringar hotar med torka och översvämningar vilket leder till att nya och förstärkta hotbilder kan förekomma för grundvattentäkterna (Svenskt Vatten, 2007). För ett långsiktigt, hållbart skydd måste grundvattnet behandlas som en värdefull resurs och utefter framtidens prövningar. Genom att upprätta skyddsområden med avseende på en grundlig riskbedömning kan skyddsområdet utformas så det är anpassat till området och på så sätt kan grundvattenmagasinen säkras en god kvalitet även i framtiden (Havs- och Vattenmyndigheten, 2019a). I denna rapport presenteras en riskbedömning för grundvattnet i ett område kring Skallsjödeltat i Floda, Lerums kommun (se figur 1) där ett redan inrättat skyddsområde ingår.



Figur 1: Karta över studerat område i Floda där befintligt vattenskyddsområde visas i blått [Karta]. (Naturvårdsverket, u.å.). Återgiven med tillstånd.

1.2 Bakgrund

År 2010 utförde Sweco (2010) en riskinventering och riskbedömning av Skallsjö vattentäkt som underlag för att inrätta ett vattenskyddsområde, se figur 1 ovan. Det har nu gått 10 år sedan dess vilket kan innebära att nya föroreningskällor kan ha tillkommit eller att det kan finnas källor som inte tagits hänsyn till från början. Den äldre bedömningen bör också kompletteras med en grundlig studie av sårbarheten i området. Enligt Havs- och Vattenmyndigheten (2019b) är det viktigt att emellanåt identifiera hot för att kunna förebygga föroreningsrisker så att en god grundvattenkvalitet kan bibehållas. Därför är det motiverat att göra en ny riskinventering och riskbedömning som kan komplettera den äldre från Sweco.

Den befintliga grundvattentäkten är placerad på en isälvsavlagring och är en av Lerum kommuns 4 vattentäkter (Lerums Kommun, 2020). Vattnet som utvinns i Lerum kommun används till:

- 5 % till mat och dryck
- 20 % till toalettspolning
- 20 % till disk
- 10 % till tvätt
- 40 % till personlig hygien
- 5 % till övriga ändamål

Söder om det nuvarande skyddsområdet finns det ett grundvattenmagasin i ytterligare en isälvsavlagring. Det är intressant att även studera närområdet kring denna och utvärdera om den kan vara intressant att skydda för framtida grundvattenuttagsmöjligheter. Havs- och Vattenmyndigheten (2019a) nämner att ett vattenskyddsområde skall uträttas om uttaget från grundvattentäkten överstiger 10 m³ eller om täkten försörjer över 50 personer. Vilket kan vara bra att ha i åtanke om det i framtiden skulle utvinnas grundvatten på fler ställen i området.

1.3 Syfte och frågeställning

Syftet med det här kandidatarbetet är att göra en bedömning av föroreningsrisken för grundvattnet i området kring Skallsjö vattentäkt och Floda i Lerums kommun, se figur 1. Genom att studera geologin och hydrogeologin i området ska en sårbarhetsbedömning genomföras med avseende på jordarternas och berggrundens permeabilitet samt grundvattnets värde. Sammanvägt med de hot som finns i området, grundvattnets flödesriktning och sprickzoner kan riskbedömningen av grundvattnet sedan utföras. Riskbedömningen kommer sedan ligga till grund för en diskussion om rekommendationer och slutsatser om hur vattenskyddsområden bör utformas, både Skallsjö vattenskyddsområde och andra eventuella områden.

1.4 Avgränsningar

Denna analys gjordes med hänsyn till att grundvattnet inte ska få en försämrad kvalitet. Därför kommer inte den slutgiltiga dricksvattenkvaliteten eller vattenrening diskuteras. Området som studeras visas i figur 1. Föroreningskällor, geologin och hydrogeologin utanför dessa gränser inkluderades inte i analysen. Utvärderingen av geologin och föroreningskällorna baserades på platsbesök, kartor och litteratur. Faktiska undersökningar av

flödesriktningar, uttagsmöjligheter, jordlagerföljder, sprickzoner och föroreningar i marken har inte utförts.

2 Metod och utförande

Här beskrivs de fyra huvudsakliga stegen i den metod som tillämpats för att bedöma föroreningsrisken i det analyserade området. Metoden beskriver hur arbetet är utfört och vilken typ av hjälpmedel som har använts.

2.1 Geologisk och hydrogeologisk beskrivning

Den geologiska beskrivningen redogör för markegenskaperna i området för att få underlag till en sårbarhetsanalys och riskbedömning. Inledningsvis ges en översiktlig beskrivning av Sveriges geologiska och hydrogeologiska förhållande och historia. Denna beskrivning baseras på litteratur och kartunderlag med fokus på Göteborgsregionen. De aspekter som tas upp är berggrundsegenskaper, spricktektonik, jordartssammansättning och hydrogeologiska processer.

Området (se figur 1) undersöktes sedan ingående. Kartor och bilder över området tas fram och studeras. Dessa visar jordarter, bergarter, jordlagerföljder, sprickzoner, uttagsmöjligheter och grundvattnets flödesriktningar. Utvärderingen baseras huvudsakligen på kartor och data från Sveriges Geologiska Undersökning.

2.2 Grundvattnets sårbarhet

Sårbarheten beskriver hur lätt grundvattnet kan kontamineras av en föroreningskälla samt hur kritisk ett utsläpp i området är med hänsyn till dess skyddsvärde. Sårbarheten bedömdes med hänsyn till jordarternas och berggrundens genomsläplighet av vatten samt uttagsmöjligheten av grundvatten. Uttagsmöjligheten beskriver kapaciteten för grundvattenutvinning, således hur stort värde grundvattenresursen har. Höga värden gör en täkt mer skyddsvärd och är därmed mer sårbar. Likväl bedöms en hög genomsläplighet medföra en hög sårbarhet, eftersom föroreningar lättare kan spridas vid dessa förhållanden. Sårbarheten baseras på genomsläpligheten och uttagsmöjligheten eftersom det finns ett beroende mellan dessa aspekter. Generellt sett hittas höga uttagsmöjligheter där permeabiliteten är hög och där uttagsmöjligheten är låg är permeabiliteten generellt sett också låg. Områden med hög sårbarhet markeras med röd färg, medelhög sårbarhet som gul och låg sårbarhet som grön i en karta. Sårbarhetsanalysen baseras huvudsakligen den geologiska och hydrogeologiska beskrivningen samt kartor och information från Sveriges Geologiska Undersökning.

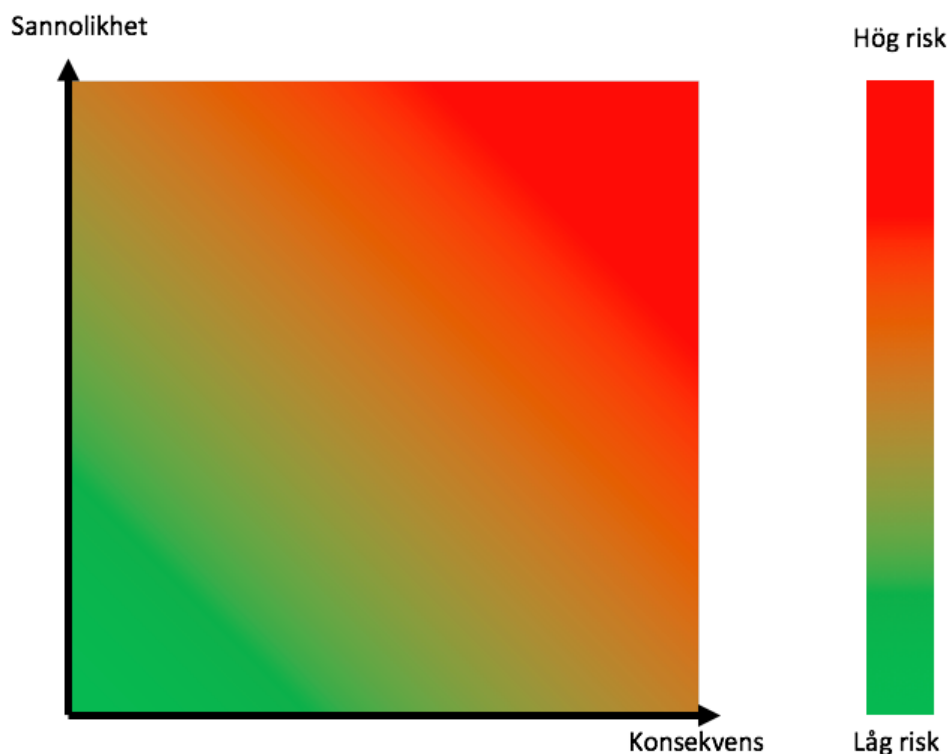
2.3 Föroreningskällor och hot

För att utvärdera vad som kan utgöra ett hot för grundvattnet gjordes en riskinventering i området. De föroreningskällor som kan utgöra ett hot för vattentäkten och grundvattnet i omkringliggande område inventerades genom ett platsbesök. Förundersökningar baserades på bland annat en tidigare riskinventering utförd av Sweco (2010) och genom kartstudier. Under platsbesöket markeras föroreningskällorna på en karta för att senare kunna utvärdera hur stort hot de utgör.

Efter att föroreningskällorna identifierats görs en utvärdering av hotbilden från föroreningskällorna. Med hjälp av litteraturstudier kan en bedömning göras av vilka föroreningar som utgör ett hot och hur stor sannolikheten är att ett utsläpp sker.

2.4 Riskbedömning

En risk definieras ofta som en sammanvägning av sannolikheten och konsekvensen av en oönskad händelse (se figur 2). För att göra en riskbedömning behöver således en utvärdering göras av både sannolikheten att utsläpp sker samt hur stor konsekvensen blir om det sker. Sannolikheten är en funktion av det som kan hända i området och hur det kan leda till att det sker ett utsläpp från en föroreningskälla. Konsekvensen är en sammanvägning av föroreningens toxicitet och spridning till grundvattnet.



Figur 2: Risk som en funktion av konsekvens och sannolikhet.

Riskbedömningen utförs genom att väga samman föroreningskällans hot, grundvattnets sårbarhet, sprickzoner och flödesriktning. Hotet bestäms av föroreningskällornas sannolikhet för att det sker utsläpp samt av dess toxicitet. Som tidigare nämnt är sårbarheten en sammanvägning av jordarternas och berggrundens permeabilitet samt grundvattnets värde. Jordarter och berggrund med hög sårbarhet bidrar till en större spridning av föroreningar. Sprickzoner och flödesriktningar bedömdes separat eftersom dessa aspekter är beroende av var föroreningskällorna är placerade. Sprickzoner kan medföra att utsläpp av föroreningar kan spridas inom och från mindre genomsläppliga jordarter och berggrund. Grundvattnets flödesriktning visar hur föroreningskällorna kan spridas i grundvattenmagasinet. Är en föroreningskälla belägen uppströms kan det leda till en större spridning än om den är belägen nedströms. För att bedöma riskerna som finns i området skapades ett klassningssystem med en poängskala enligt figur 3.

Hot	Poäng
Låg	1
Låg-medel	2
Medel	3
Medel-hög	4
Hög	5

+

Sårbarhet	Poäng
Låg	1
Medel	3
Hög	5

=

Riskbedömning	Klassning
2	Låg
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	Hög

+

Sprickzon	Poäng
Ja	1
Nej	0

+

Flödesriktning	Poäng
Uppströms	1
Nedströms	0

$$\text{Riskbedömning} = \text{Hot} + \text{Sårbarhet} + \text{Sprickzon} + \text{flödesriktning}$$

Figur 3: Klassningssystem för riskbedömningen.

Den lägsta risken för grundvattnet blir klassad med en 2:a och den högsta risken blir klassad med en 12:a och beräknas enligt ekvationen i figur 3. Hot betyder hur farlig föroreningskällan är med avseende på toxiciteten samt hur sannolikt ett utsläpp är, detta ger 1-5 poäng. Sårbarhet beskriver sammanvägningen av jord-och bergarters egenskaper, hydrogeologiska förhållanden och grundvattnets värde. Sårbarheten viktas lika hög som hotbilden. Sprickzoner och flödesriktning poängsätts 0 eller 1 och kommer därmed ha en lägre inverkan på risknivån. Ligger föroreningskällan uppströms kan föroreningarna spridas över en större yta i området. Poängen från hot, sårbarhet, sprickzon och flödesriktningen summeras för att få en total riskbedömningspoäng. Den beräknade riskpoängen är en relativ poäng som underlättar jämförelsen av de olika föroreningskällorna. Riskbedömningen presenteras i form av en karta och tabell för att sedan kunna urskilja vilka områden som bör skyddas.

3 Geologisk och hydrogeologisk beskrivning

Följande delar beskriver den allmänna information och teori som behövs som underlag för att ta fram resultatet och senare tolkning av grundvattnets sårbarhet som är nödvändigt för att utföra en riskbedömning.

3.1 Sveriges berggrund

Berggrunden i Sverige kan delas upp i tre huvuddelar, urberg, sedimentbergstäckte och fjällberggrunden. Sveriges berggrund är generellt väldigt gammal, de största och äldsta delarna av Sveriges berggrund består av urberg och tillhör Fennoskandiska skölden, se figur 4. Den allra äldsta delen finns i norra Sverige och är av arkaisk ålder, det vill säga mer än 2500 miljoner år gammal, den består i huvudsak av olika gnejsiga och delvis omvandlade djupbergarter (Avdelningen för Geologi och geoteknik, 2020).



Figur 4: Sveriges Berggrund. (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-b). Återgiven med tillstånd.

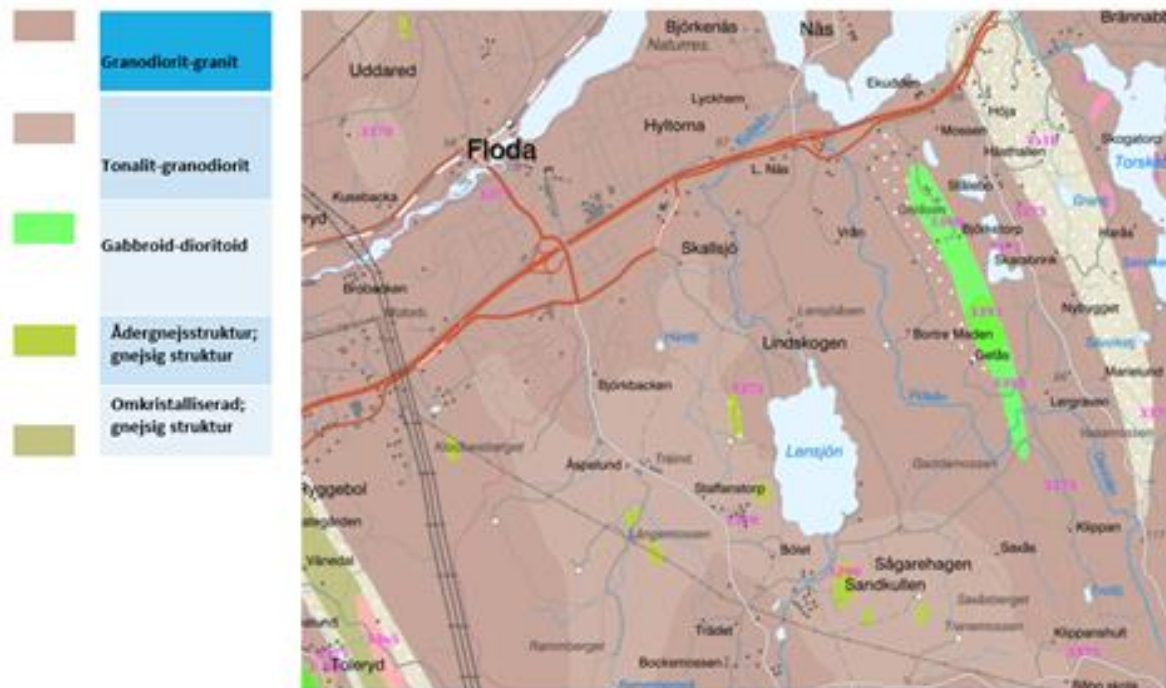
Största delen av Sveriges berggrund bildades och omvandlades under Svekokarelska bergskedjebildningen och är mellan 2000 och 1650 miljoner år sedan. Denna del domineras av djupbergarter, främst graniter. Sydvästra Sveriges berggrund bildades för 1700 och 1550 miljoner år sedan. Den största delen av den omvandlades kraftigt för 1100 – 900 miljoner år sedan under Svekonorvergiska bergskedjebildningen då två kontinenter kolliderade. Här dominerar granitoida gnejser (Avdelningen för Geologi och geoteknik, 2020).

De sedimentära bergarterna i Sverige finns främst i Skåne, på Öland och Gotland, dessa ligger ovanpå urberg. De delar bildades för mellan 545 – 55 miljoner år sedan och är därmed mycket yngre. Fjällberggrunden, Kaledoniska bergskedjan, är också relativt ung och bildades för 510 – 400 miljoner år sedan under prekambrisk till siluriska åldrar. Dominerande

bergarter är omvandlade sedimentära bergarter med inslag av intrusiva och vulkaniska bergarter (Avdelningen för Geologi och geoteknik, 2020).

3.1.1 Områdets berggrund

Området som undersöks i Floda tillhör det Svekonorvergiska bergskedjebildningen och är beläget i den sydvästsvenska gnejsregionen, de dominerande bergarterna är gnejs och granit men består också av några andra bergarter som gabbro och diorit (se figur 5).



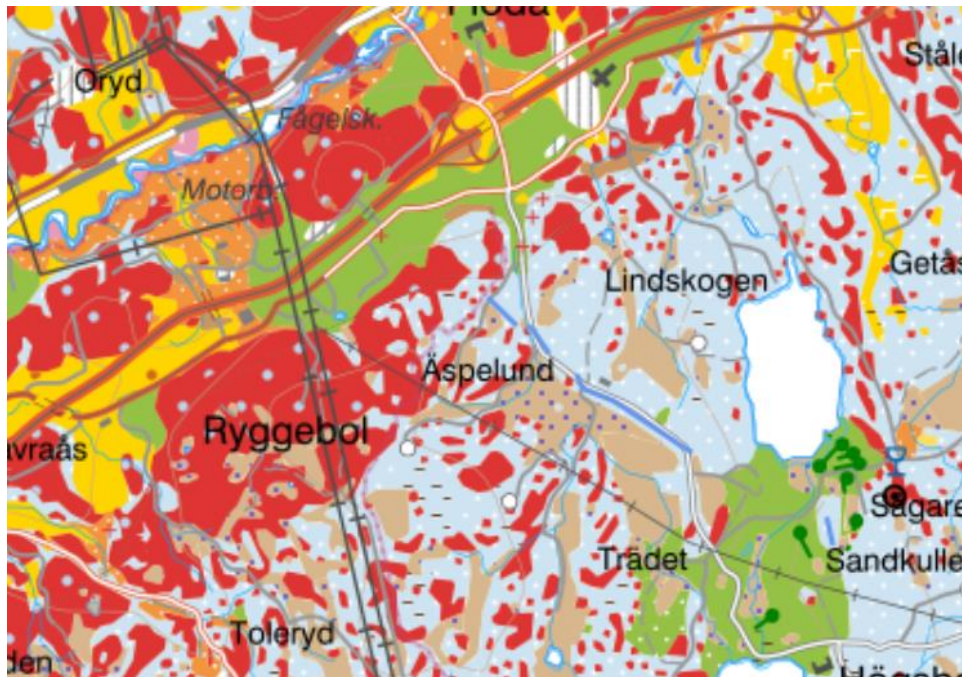
Figur 5: Berggrundskarta över Floda. Modifierad bild från Sveriges Geologiska Undersöknings Kartverktyg [Karta]. (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c). Återgiven med tillstånd.

Granit bildas när magma stelnar långsamt djupt under jordytan. Då magman transporteras till ytan av ett vulkanutbrott stelnade den till ett starkt och tätt berg. Granit är ett kristallint grovkornigt (kornen är större än 1 millimeter) berg som huvudsakligen består av fältspat och kvarts (Stevenson, 2018). Diorit och gabbro är också grovkorniga, som bildas när kylning av magma periodvis minskar i kiseldioxid och berikas med järn- och magnesiumrika mineraler.

Gnejs är en metamorf bergart som skapats genom omvandling av granit. De höga temperaturerna och trycket har förändrat berget så att mineraler har separerats i lager. Plattformiga eller långsträckta mineraler som glimmer eller amfibol, i mörka lager växlar lager av ljusa mineraler utan särskild form. Vanligtvis är fältspat och kvarts dominerande inom de ljusa skikten. Metamorfiska bergarter bildas djupt i jordskorpan genom högt tryck och höga temperaturer vilket har lett till nya strukturer och mineralsammansättningar (Avdelningen för Geologi och geoteknik, 2020)

De bergarter som finns i det studerade området är hårt impermeabelt kristallint berg. Vatten kan transporteras på ytan av dessa berg med även i bergets sprickor som senare beskrivs. Där lutningen på berget är stup kan vatten transporteras med hög hastighet i långa sträckor. Därför är spridningsrisken för föroreningar större där berget har stor lutning (Strähle, 2001). I

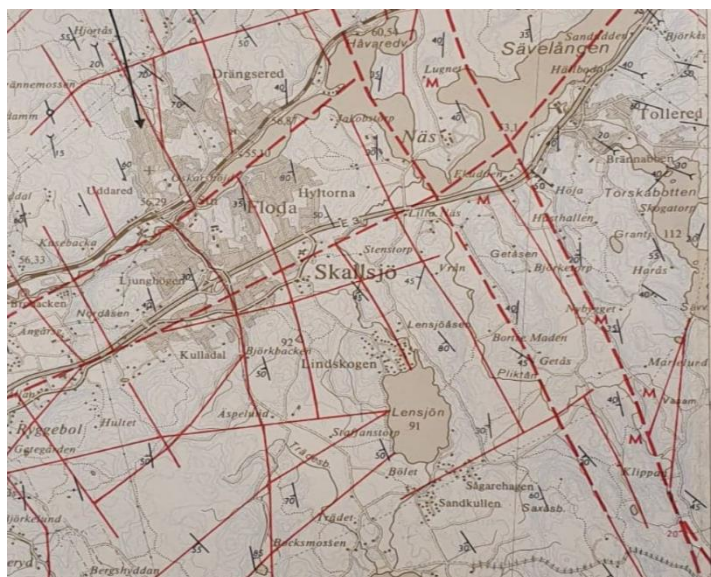
Figur 6 visar de röda stråken som är berg i dagen. Finns det berg i dagen kan vattnet strömma på berget och färdas långa sträckor. Detta leder till att även föroreningar flödas längre sträckor.



Figur 6: Karta över berg i dagen (visas i rött). Från Sveriges Geologiska Undersöknings Kartverktyg [Karta]. (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c). Återgiven med tillstånd.

3.1.2 Sprickzoner

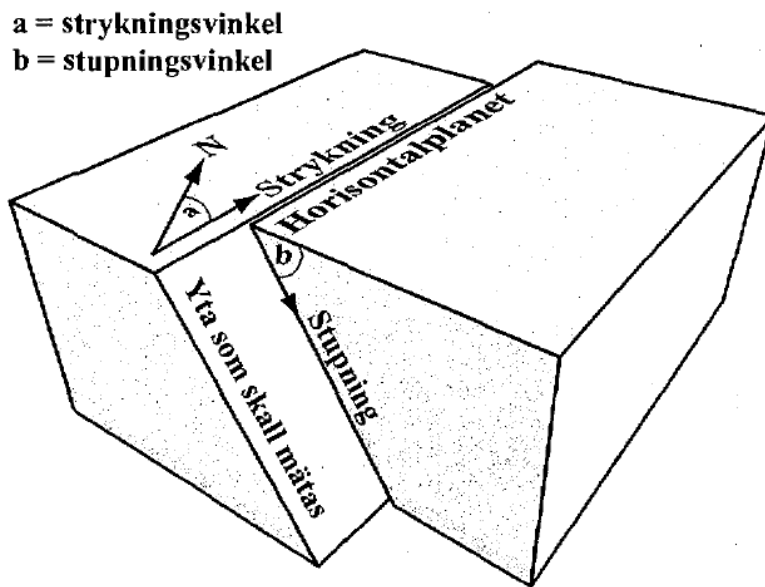
Sprickor i berget kan påverka grundvattenytans läge och kan ge indikation för vattenföringen i berget. Det är viktigt att studera sprickzonerna i området eftersom grundvattnet och därmed föroreningar transporteras i dem. Föroreningar kan på så sätt spridas och rinna ut i området genom sprickzoner (Naturvårdsverket, 2003). Områdets sprickor visas i figur 7 nedan.



Figur 7: Af-117 Tektoniska kartan för berggrundskartan Göteborg-sydost (© Sveriges geologiska undersökning). Återgiven med tillstånd.

Sprickzoner är en generisk term för alla mekaniska fel i ett stenblock. De uppstår på grund av spröd deformation och kan delas in i två huvudgrupper - naturliga och artificiella sprickor. Naturliga sprickor har uppstått på grund av geologisk aktivitet som skapat spänningar i berggrunden och de artificiella har uppstått på grund av mänsklig aktivitet som till exempel sprängning eller borrhning i berget. Sprickorna kan vara öppna eller stängda. Öppna sprickor är fyllda med luft, vatten eller omonterat bergmaterial och det är via dessa exempelvis förorenat vatten kan transporteras (Sundqvist et al., 2019).

För att veta hur vattnet flödar i sprickorna behöver dess riktning och lutning vara känd. Sprickriktningar definierar hur ett plan eller en linje är orienterad i rummet. Detta betyder riktningen för hur planet (som en spricka) riktas ut i rummet. Riktningen indikeras av två lutningar, strykning och stupning (Strähle, 2001), se figur 8. Genom att veta dessa riktningar kan det vara enklare att förutspå hur en förorening sprids via sprickor. Om en föroreningskälla ligger över en sprickzon i området kring Floda kan sprickzonen sprida föroreningar. Föroreningar kan då spridas även från områden med en mindre permeabel jordart. Strykningen är känd i området och visas i figur 7. Stupningen är dock okänd vilket leder till att flödesriktningen i sprickan är okänd. Därav är det svårt att veta hur föroreningar sprids i sprickzoner i området.



Figur 8: Strykning och stupning för en sprickzon (Strähle, 2001). Återgiven med tillstånd.

3.2 Sveriges jordarter

Vilken typ av jordart som förekommer påverkar vattenföringen i marken till en stor grad. Genomsläppligheten på marken spelar därav en avgörande roll för hur sårbarheten av grundvattnet bedöms. Sveriges jordtäcke är ett resultat av inlandsisen som täckte landet under den senaste istiden. Med förståelse för hur jordtäcket har bildats kan man göra antaganden om jordlagerföljden i och runt vattentäkten. Detta kan sedan appliceras på den hydrogeologiska analysen av området.

Den senaste istiden tog slut för 8000 år sedan (© Sveriges Geologiska Undersökning, 2020). Efter att de inlandsisen började smälta och isfrosten retirera för ungefär 22 000 år sedan tog det fram tills för 12 000 år sedan för inlandsisen att retirera till Västergötland. Det är från denna period majoriteten av jordtäcket i Floda härstammar.

Jordarter delas in i två olika kategorier, glaciala och postglaciala jordarter. Glaciala jordarter bildades av inlandsisen medan postglaciala bildades efter att isen smält. På grund av landhöjning och isens smältning var havsnivån högre mellan 22 000 och 10 000 år sedan. Detta är i kombination med att inlandsisens vikt komprimerat jordskorpan, som sedan stiger tillbaka när den avlastats. Den högsta havsnivån som uppnåddes kallas "högsta kustlinjen".

Inlandsisens rörelse över marken har eroderat berggrunden och omlagrat jordarterna. Detta har resulterat i morän. Morän består av både småkorniga partiklar och större partiklar, som stenar och block. Dock består merparten morän av partiklar mindre än 20 millimeter, olika former av grus, sand och ler. Morän kan bildas på två olika sätt och klassas efter detta. Ytmorän består av material som varit infruset i inlandsisen och sedan smält fram och bottenmorän består av material som legat under isen och pressats samman av dess vikt. Ytmoränen finns därför ofta ovan andra jordarter (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-d).

När isen smälte skapades stora mängder smältvatten som sedan rann bort från isen. Vattnet rann antingen ovanpå isen eller skapade tunnlar under isen, så kallade isälvar. Vattnet under isen hade hög hastighet och kunde därför föra med sig sten, grus, sand och finare material. Där isälvarna mynnade ut från isen saktade vattnet in och materialet avsattes. De större fraktionerna avlagrades närmare mynningen. De finare fraktionerna rörde sig längre bort och avlagras i lugnare vatten. Allt eftersom isen smälte och iskanten rörde sig bakåt så avlagrades de grövre fraktionerna i ett stråk och täcktes allteftersom med mindre fraktioner. Dessa typer av isälvsavlagringar kallas rullstensåsar (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-e).

Vid de tillfällen då isen varit stillastående under en längre period och utmynnat i en större kropp av vatten har ett isälvsdelta bildats. Detta bildar en solfjäderformad avlagring med tre olika delar, botten-, mitt- och ytbädd. Ju djupare ett sediment avlagrats desto äldre är det. Ytbädden består av ler, mjåla och morän, mittbädden av grovmo, grus och sand och bottenbädden består av sand, grus och sten.

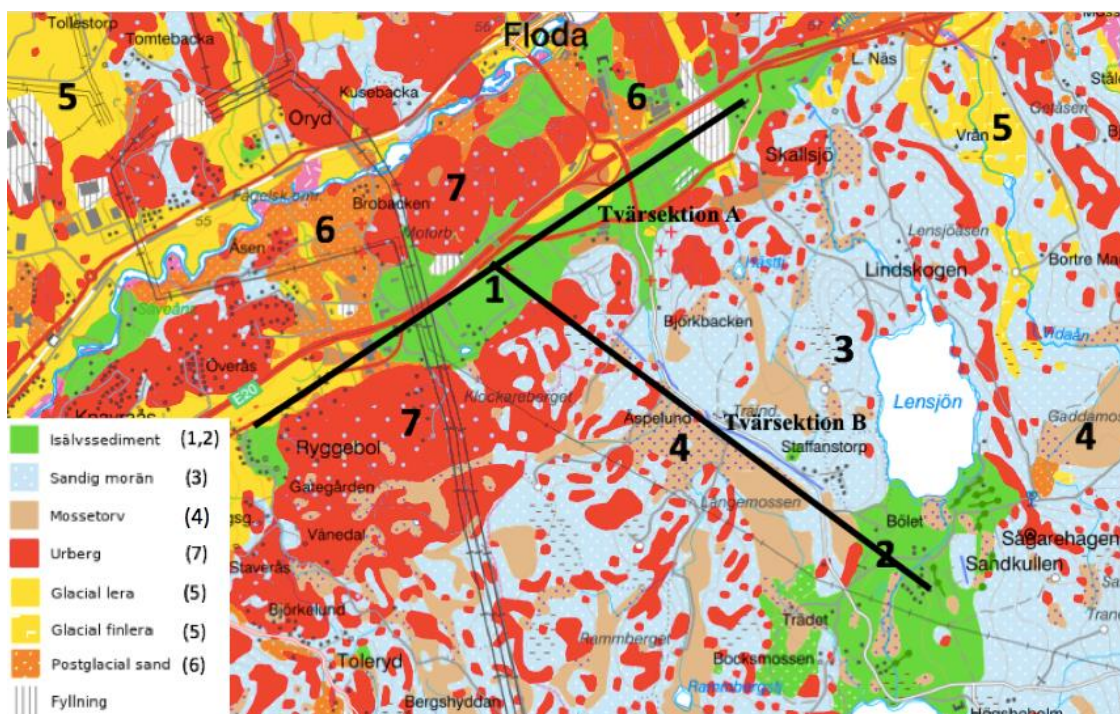
I de områdena som varit under högsta kustlinjen har havsvattnet rört om och omsorterat de olika isälvsavlagringarna. Dessa klassas som postglaciala avlagringar. De grövre partiklarna har avsatts vid strandkanten och de finare partiklarna har avlagrats på botten av havet, längre ifrån strandkanten. De finkorniga sediment som avlagrats på botten av havet kallas

postglacial lera och de som avlagrats vid strandkanten kallas svallsediment. Då vattennivån sjunkit har de finare sedimenten kommit att täckas av svallsediment i vissa fall. Eftersom dessa jordarter bildats i postglaciertid så förekommer det organiska material i dessa sediment.

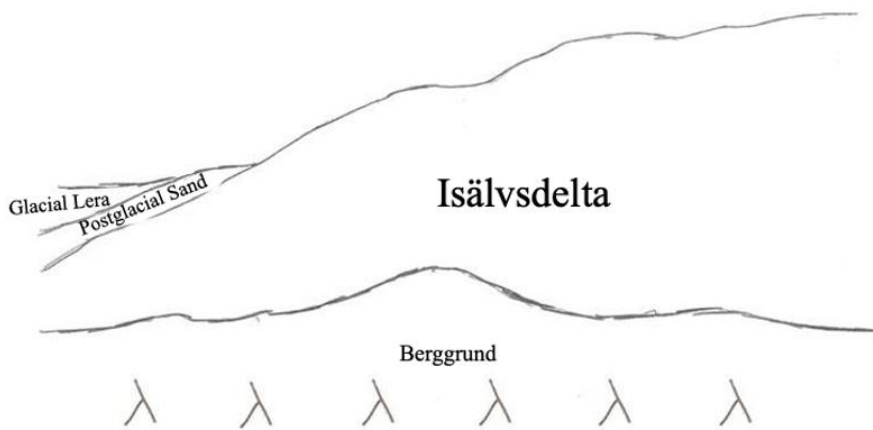
Torv är en postglacial jordart som bildats då sjöar och liknande vattensamlingar fyllts med organiskt material. Dessa områden fylls till sist med multnande organiskt material tills de inte längre är en ytvattentäkt, då har den förvandlats till en torv. Torvens utseende påverkas till stor del av vad den bestod av innan den blev en torv och hur nedbrutet materialet är (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-f).

3.2.1 Områdets jordarter

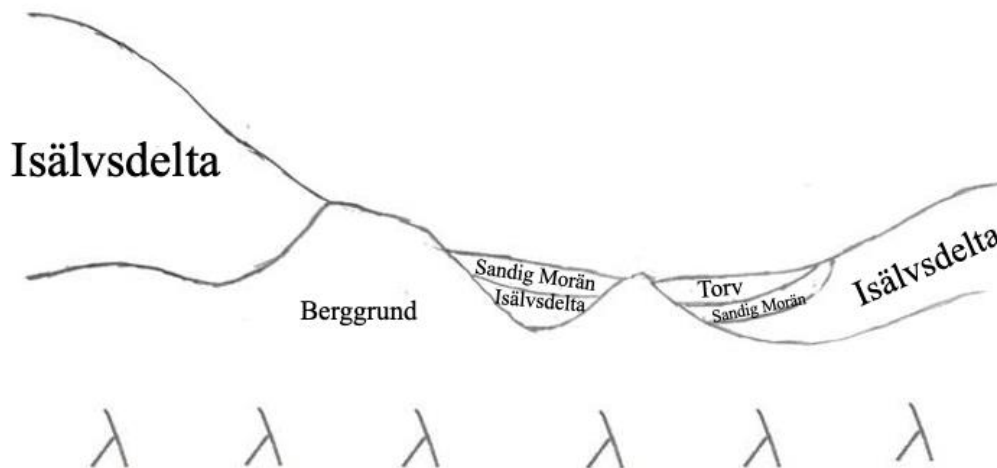
Genom att veta vilka jordarter som förekommer i området kan vi förstå områdets hydrogeologiska egenskaper som exempelvis permeabiliteten. I figurerna 9, 10 och 11 visas jordarter och jordlager.



Figur 9. Illustrerar de jordarterna i området samt positionerna för tvärsektion A och B. Modifierad karta från Sveriges Geologiska Undersöknings kartverktyg. [Karta] (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c). Återgiven med tillstånd.



Figur 10. Tvärsektion A. Tvärsektionen går i väst till östlig riktning. Illustrerar jordlagerföljden i området. Tvärsektionen är baserad på data hämtad från © Sveriges Geologiska Undersökningar.



Figur 11. Tvärsektion B. Tvärsektionen går i nord till sydlig riktning. Illustrerar jordlagerföljden i området. Tvärsektionen är baserad på data hämtad från © Sveriges Geologiska Undersökningar.

Isälvsavlagring 1, i figur 9, anses vara av karaktären isälvsdelta. Deltat antogs även fortsätta under den sandiga moränen som ligger söder om isälvsavlagringen, vilket illustreras i Tvärsektion A (se figur 10). Den sandiga moränen i området antas vara av karaktären ytmorän som lagt sig ovan isälvsavlagringen då isen smält. Ovan denna finns det både vattendrag och forna sådana som omvandlats till torv med åren. Sydväst om isälvsdelta 1 finns det även postglacial sand, ett sorts svallsediment. I den södra delen av området finns det ytterligare en isälvsavlagring. Denna misstänks också vara av karaktären isälvsdelta. Denna är betydligt lägre, vilket indikeras av att det finns områden med bottenmorän och berggrund i området (se figur 11) (Engdahl & Påsse, 2014).

Isälvsdeltat har god permeabilitet då de större partiklarna i det kommer existera närmare markytan. Den sandiga moränen har låg permeabilitet och kommer därför att isolera det underliggande deltat från ytan och gör uttagsmöjligheterna av grundvattnet lägre.

3.3 Hydrologi och hydrogeologi

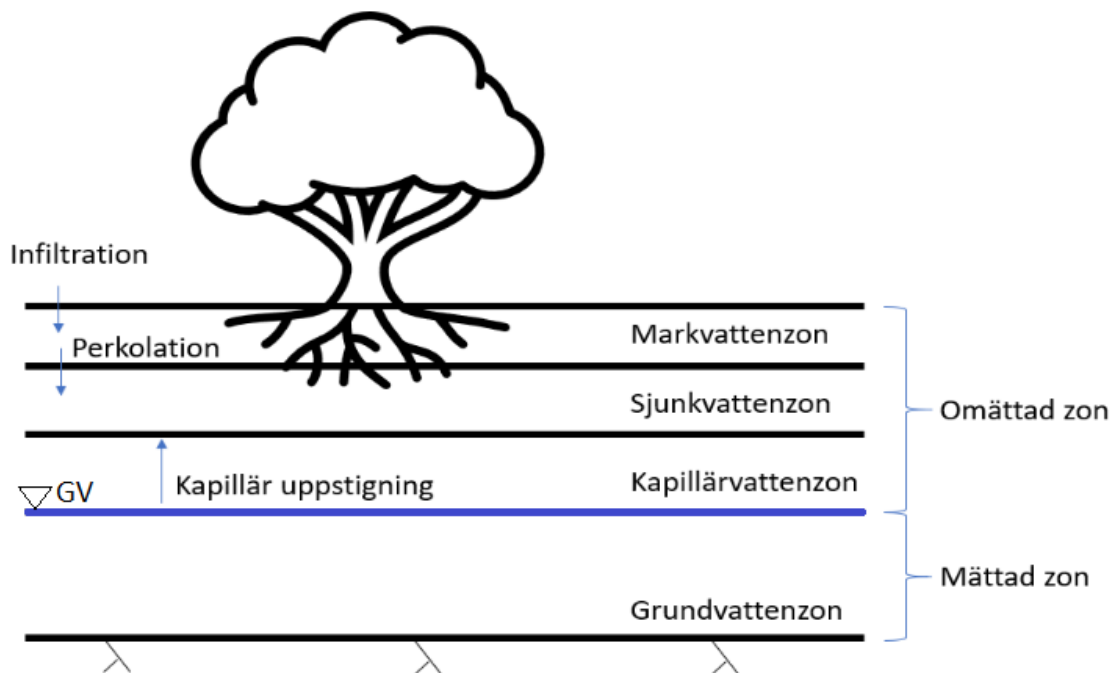
Detta kapitel ger en förståelse för hur vatten rör sig i marken, vilka hydrogeologiska egenskaper som finns i Floda. Detta behövs för att sammanställa sårbarheten och därmed riskbedömning i senare kapitel. För att veta hur föroreningar sprids ned till grundvattnet är det även bra att veta grundläggande processer hur grundvattnet fylls på och rör sig i marken.

3.3.1 Grundläggande processer

Vattenbalanskvationen kan uttryckas som att nederbörden är lika stor som avdunstning, avrinning och magasinering tillsammans. Processen påbörjas genom att nederbörd tillför vatten till jordytan som sedan tillfälligt kan magasineras i marken och i sjöar och sedan transporteras till vattendrag eller avdunstar från växter och mark. När vatten från nederbörd tränger igenom markytan kallas det för infiltration. Mängden av vattnet som infiltreras hänger främst samman med genomsläppligheten i jordlagren. Dock påverkar även faktorer så som nederbördsmängd, intensitet, topografi, tjäle och vegetation.

Generellt har jordarterna tillräckligt stor kapacitet för att all nederbörd ska kunna infiltreras. Jordarternas genomsläpplighet i det undersökta området varierar mellan medelhög och hög, förutom mindre relevanta områden med glacial lera, varvid tidigare nämnd generalisering kan appliceras. I hållområden styrs infiltrationen av berggrundens sprickighet. Om lerinnehållet i jorden är högt kan den ändå vanligtvis absorbera hela mängden nederbörd genom strukturella egenskaper som exempelvis torrsprickor.

Transporten av vatten till grundvattnet från markytan benämns perkolation (Se figur 12). Första steget är att vattnet transporteras genom den omättade zonen. Den omättade zonen innefattar markvattenzon, sjunkvattenzon och en kapillärvattenzon. Här är transporten av vattnet mestadels vertikal (Bengtsson & Carlswärd, 1993).



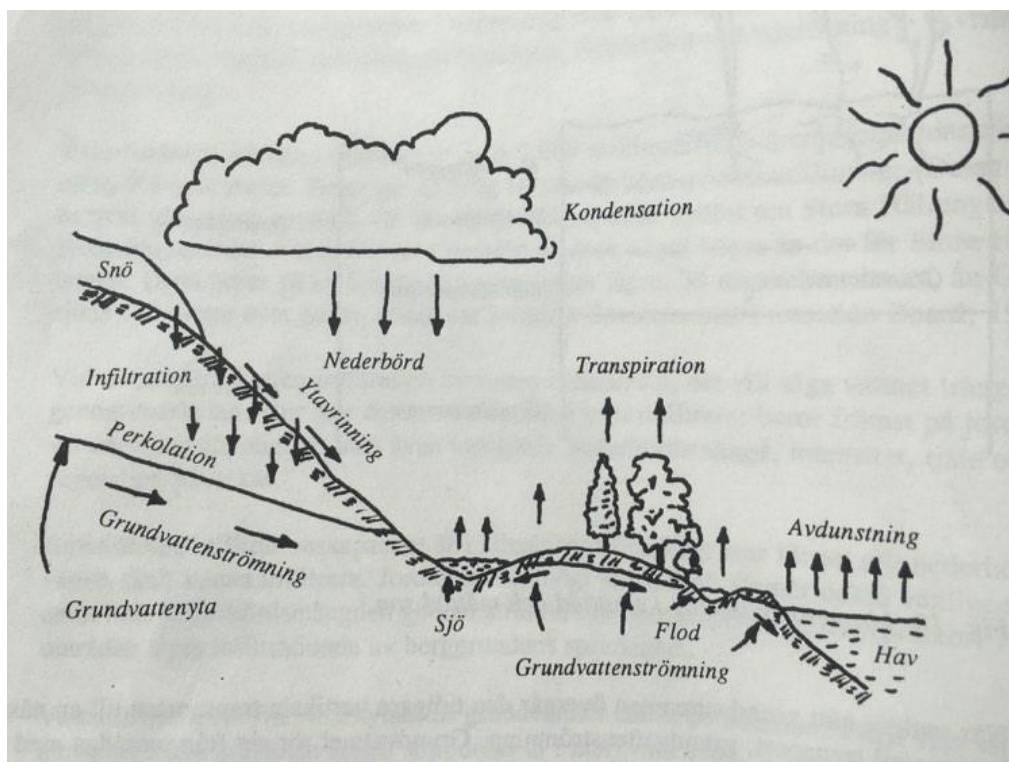
Figur 12: Grundvattenrelaterade zoner i marken.

Den övre begränsningen i markvattenzonen är markytan och den nedre är växternas undre rotzon. Tjockleken av markvattenzonen beror på vad för jordart och växtlighet området har. Kapillärvattenzonens mäktighet sätts från grundvattenytan till den högsta kapillära stighöjden i zonen. Zonens storlek kan variera stort beroende på vilka jordarter som förekommer. Små porer, i exempelvis lera, medför större kapillärstigning och större porer, i exempelvis grus, medför en mindre stigning. Markvattenzonen och kapillärvattenzonen brukar benämnas som sjunkvattenzon för att skilja den från de andra zonerna.

När vattnet passerat den omättade zonen fortsätter transporten in i den mättade zonen, grundvattenzonen. I grundvattenzonen sker så kallad grundvattenströmning, som innebär att grundvattennivån jämnar ut sig själv genom att det rör sig från de högre grundvattennivåerna till de lägre, och därefter också vidare till sjöar, hav eller vattendrag. Föroreningar sprids därav från markytan ned till grundvattnet i största del genom infiltration samt genom grundvattenströmningen. Föroreningskällan behöver därför inte vara placerat rakt över ett område för att påverka det. Därför är det också viktigt att undersöka flödesriktningar.

Allt fritt och rörligt vatten som helt utfyller alla hålrum i en jordart eller bergart, samt har ett hydrostatiskt tryck som är motsvarande eller högre än atmosfärstrycket kallas för grundvatten. De områden där grundvatten bildas kallas för inströmningsområden och där grundvattnet leds bort, utströmningsområden.

Summan av all avdunstning, alltså all avdunstning från mark- och vattenytor samt från växternas transpiration kallas för evapotranspiration. Delar av nederbörden fastnar på grenar och blad, och når alltså inte markytan. Detta fenomen kallas för interception, den varierar mellan olika träslag och årstid. När avdunstningen sen sker når vattnet åter atmosfären och kretsloppet är slutet (Grip & Rodhe, 1985) (se figur 13).

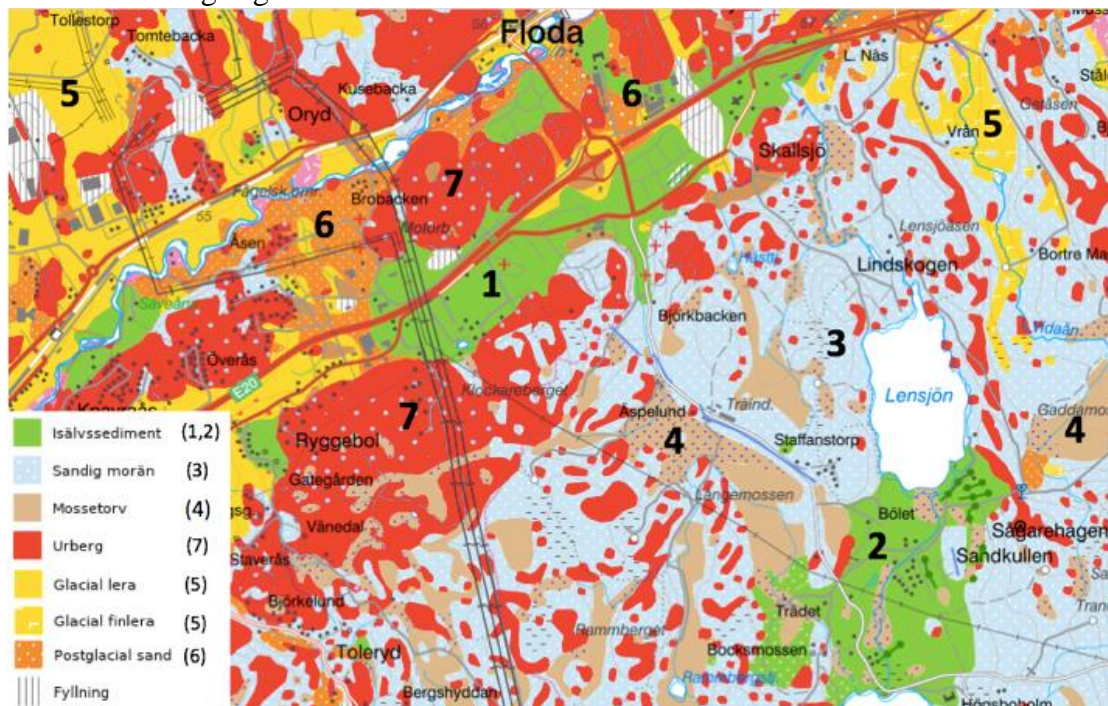


Figur 13. Hydrologiska cykeln Från: Vatten jord och berg (Knutsson & Morfeldt, 1978). Återgiven med tillstånd.

3.3.2 Områdets hydrogeologiska egenskaper

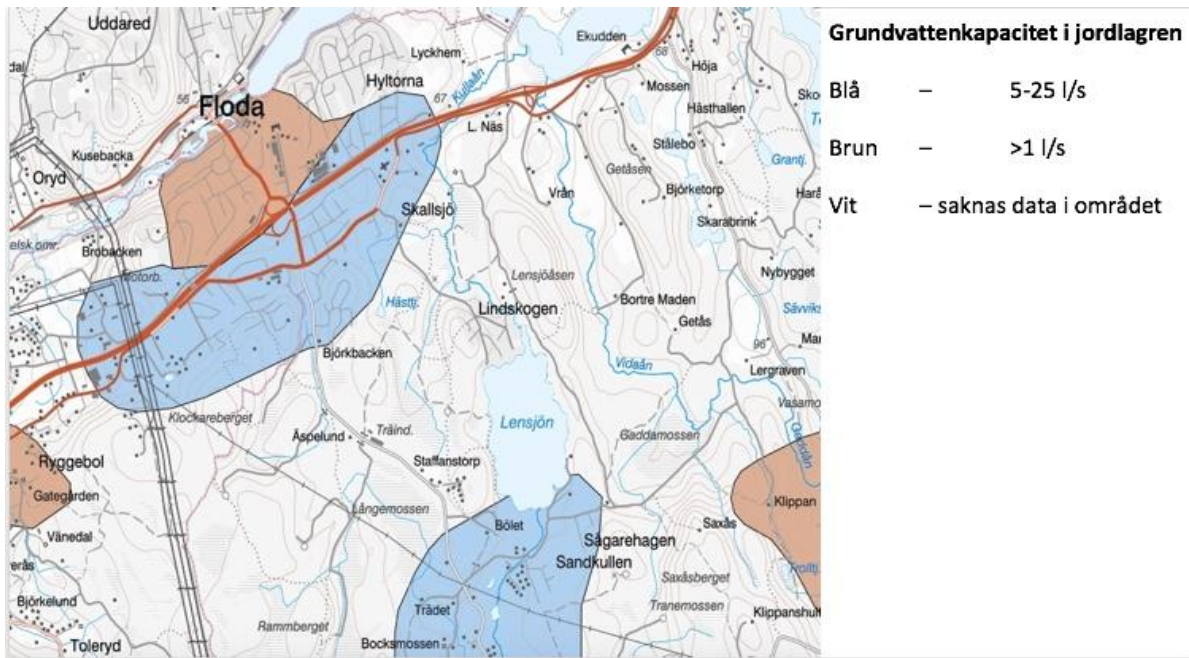
Uttagskapacitet och permeabilitet är två egenskaper som ligger till grund för att göra en bedömning av sårbarheten. Uttagsmöjligheten syftar på hur mycket grundvatten som är möjligt att utvinna och beskriver även grundvattnets skyddsvärde, medan genomsläppligheten är en egenskap som beror på jordarternas kornstorlek, men även läget i terrängen, mätnadsgrad och en del andra faktorer (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c). Nedan följer en beskrivning av uttagsmöjligheten och permeabiliteten i området för att kunna sammanställa grundvattnets sårbarhet. Grundvattnets flödesriktning visas också för att kunna utföra riskbedömningen.

Det befintliga vattentäktsområdet är lokaliserat över en isälvsavlagring som har både hög genomsläpplighet och uttagsmöjlighet, upp till 2000 kubikmeter vatten per dygn kan utvinnas. Detta område är markerat med nummer 1 (se figur 14). Detta är ett av de två områden som har ett större grundvattenmagasin. Det andra stora grundvattenmagasinet finns vid isälvsavlagringen som är lokaliserad söder om Lensjön, markerat med nummer 2. Enligt (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c) är förutsättningarna och egenskaperna lika i de båda isälvsavlagringarna.



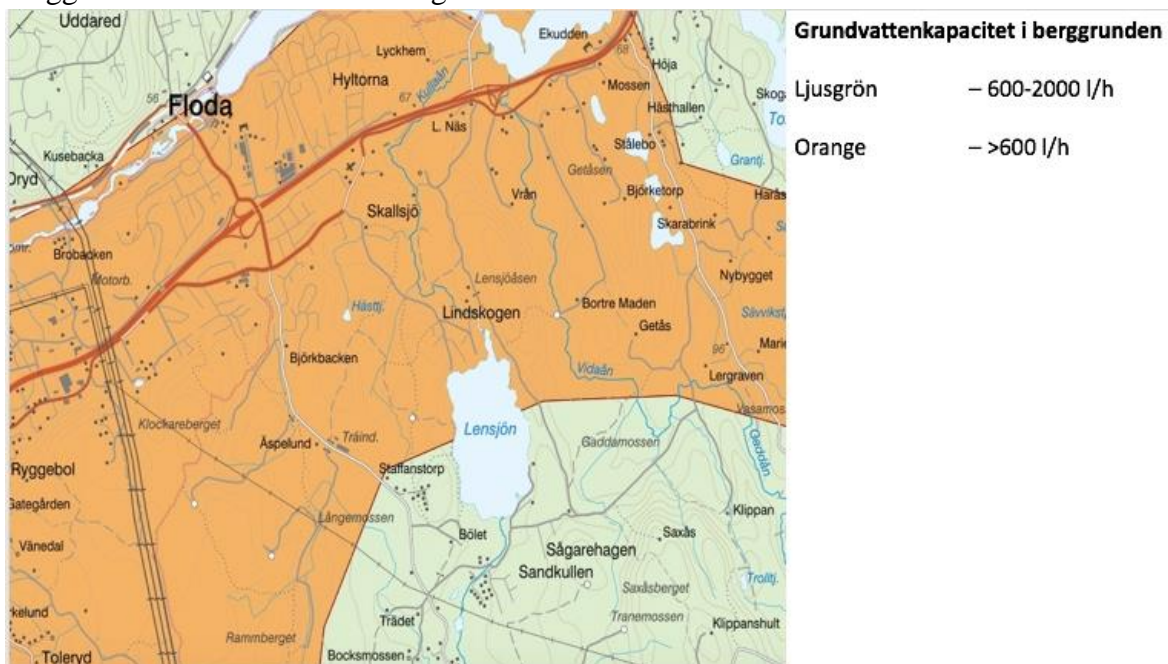
Figur 14: Modifierad jordartskarta i området, numrerat för förtydligande. [Karta] (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c). Återgiven med tillstånd.

Det finns stora områden med sandig morän söder om E20, (Ljusblått i bilden ovan, även markerat med nr 3). I dessa har genomsläppligheten klassats som medelhög. Det finns även postglacial sand/finsand i området, vilka har en genomsläpplighet som klassas som hög. Övriga jordarter som syns i figur 14, det vill säga glacial lera, kärrtorv och mossetorv har alla en låg klassad genomsläpplighet. Uttagskapaciteten varierar med jordart och plats, som nämnt tidigare stycken finns två grundvattenmagasin där kapaciteten är hög, samt ett par områden med liten kapacitet och stora ytor som saknar data vad gäller uttagskapacitet i jordlagren (se figur 15).



Figur 15: Karta över uttagkapacitet i jordlagren. [Karta] (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c). Återgiven med tillstånd.

När det kommer till berggrunden så varierar genomsläpligheten mycket lite, och håller medelhög genomsläplighetsklass. Vad gäller uttagmöjligheter och uttagkapacitet i berggrunden kan detta utläsas i figur 16 nedan.



Figur 16: Karta med uttagkapacitet i områdets berggrund. [Karta] (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c). Återgiven med tillstånd.

För att bedöma värdet på grundvattnet i området kring Floda studeras dess uttagmöjligheter. Sveriges Geologiska Undersökning (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c) har valt att dela upp uttagkapacitet i berggrund och uttagkapacitet i

jord, samt delat in kategorierna i olika klasser beroende på kapaciteten. Uppdelningen ser ut som visas i tabell 1.

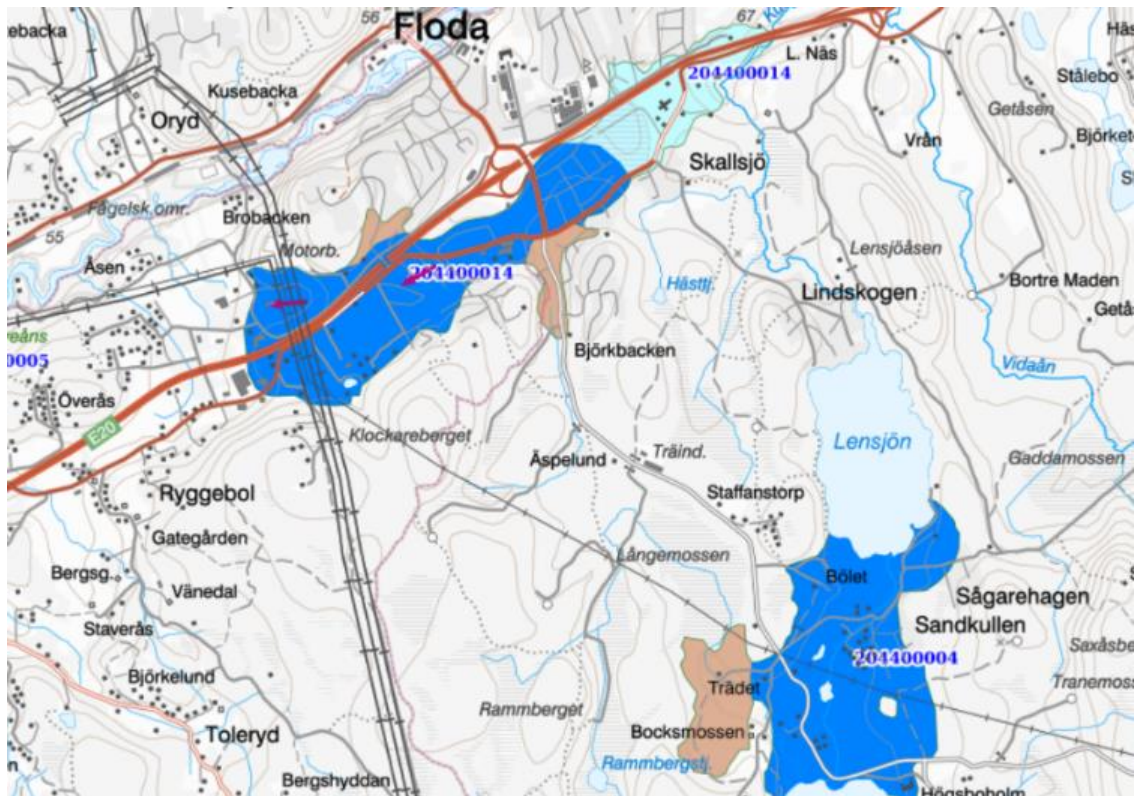
Tabell 1: Klassning för uttagskapacitet.

Klass	Jord [Liter/sekund]	Berggrund [Liter/timme]
1	>125	6000-20000
2	25-125	2000-6000
3	5-25	600-2000
4	1-5	<6000
5	<1	

I undersökt område är det framförallt de två isälvsavlagringarna som värderas högt med avseende på jordarter. Uttagsmöjligheterna i dessa tillhör klass 3 i uttagsmöjlighet från jord (5–25 liter/s) och beskrivs ha mycket goda eller utmärka uttagsmöjligheter. Vilket sätter ett högre värde än på övriga jordarter inom området. Det skall dock noteras att stora delar saknar data för kapaciteten vilket ger en osäkerhet kring värdet på övriga delar av området. Se figur 15 i kapitlet “3.3.1 Områdets hydrogeologiska egenskaper”.

Vad gäller värdet i berggrunden är det framförallt söder om Lensjön som det finns en potential för utvinning av grundvatten. Där anses uttagsmöjligheterna som tämligen goda, (600–2000 liter/h). Detta är också i anslutning till en av isälvsavlagringarna vilket bidrar till att värdet blir högre än om isälvsavlagringen inte funnits där. Även en bit öster ut längs E20 och nordväst om E20 klassas uttagsmöjligheterna som tämligen goda. I övrigt är uttagskapaciteten i området klassad som mindre god (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c).

Grundvattnets flödesriktning behövs också beskrivas för att utföra riskbedömningen. För den norraisälvsavlagringen går flödesriktningen i öst-västlig riktning (se figur 17). Detta innebär att exempelvis föroreningar sprids från öst till väst. Det saknas data för den södra isälvsavlagringen och detta skapar en viss osäkerhet för en senare riskbedömning.



Figur 17: Karta med flödesriktning i grundvattenmagasin. [Karta] (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c). Återgiven med tillstånd.

3.4 Grundvattnets sårbarhet

Sårbarheten är en sammanvägning av de geologiska och hydrogeologiska egenskaperna samt grundvattnets skyddsvärde. Varför vissa områden är mer sårbara grundar sig alltså i vad för jordarter, bergarter och deras genomsläpplighet som finns på platsen. Sårbarheten beror också till stor del på vilka områden som har stor uttagskapacitet av grundvatten. Sårbarheten beskriver skyddsbehovet sammanvägt med vilka områden som är mer känsliga för störningar som finns i området. Kartan, i figur 18, nedan visar områdets sårbarhet tillsammans med sprickzoner och flödesriktningar som följs av en förklarande beskrivning.



Figur 18. Modifierad karta för sårbarheten, sprickzoner och flödesriktning i området. [Karta] (© Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.-c). Återgiven med tillstånd.

I kartan ovan visas sårbarheten i området. Rött representerar hög sårbarhet, där jordarternas och berggrundens genomsläpplighet är mycket hög, samt att värdet, d.v.s. uttagsmöjligheten är hög. Gulmarkerade områden representerar medelhög sårbarhet, då det inte är lika hög genomsläpplighet i jord och berg samt måttlig uttagsmöjlighet. De gröna områdena representerar låg sårbarhet, här är både genomsläppligheten och grundvattnets värde lågt.

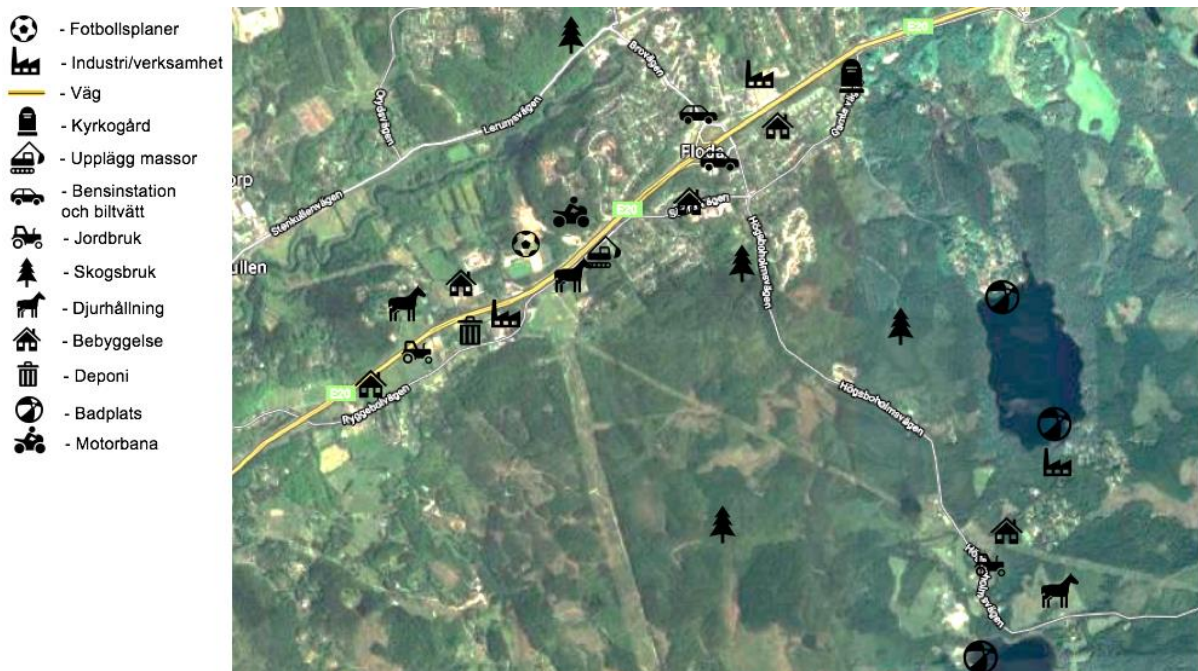
De större streckade röda linjerna är stora sprickzoner och de mindre röda heldragna linjerna är smala sprickzoner, de små blå pilarna markerar flödesriktning. Sprickor och flödesriktning ses som en separat faktor i den slutgiltiga riskbedömningen eftersom de påverkar vattnet beroende på vart föroreningskällor är placerade, men är med i figuren ovan för att ge ett förtydligande för hur föroreningar kan spridas.

4 Föroreningskällor och hot

Följande kapitel beskriver vilka potentiella föroreningskällor som finns i området kring Floda och vilket hot de utgör för omgivningen. De föroreningskällor som påträffats är listat nedan och visas geografiskt i figur 19.

Typer av föroreningskällor i det studerade området listas nedan. Utöver dessa källor förs även ett resonemang kring sabotage kris och krig.

- Vägar
- Kyrkogård
- Jordbruk, Skogsbruk och Djurhållning
- Bensinstationer
- Föroreningar från bebyggelse
- Sjöar och badplatser



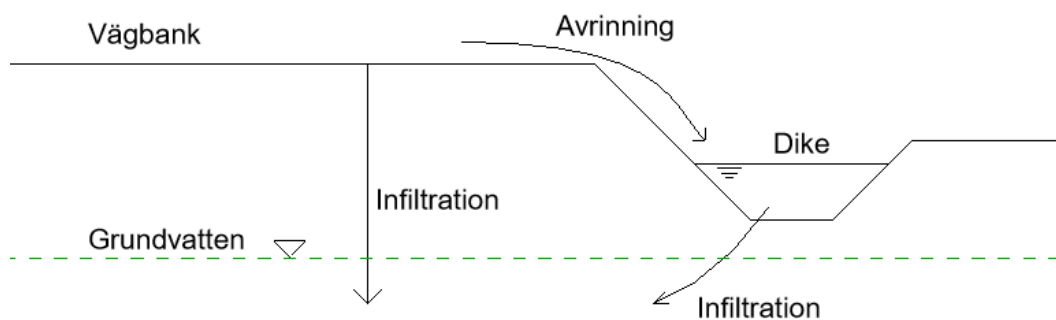
Figur 19: Geografisk placering av risker. Modiefierad bild från Google Maps. [Karta]. (Google, u.å.). Återgiven med tillstånd.

4.1 Vägar

Europaväg 20 sträcker sig igenom isälvsdeltat (se figur 6) och det befintliga vattenskyddsområdet (se figur 20). Det förekommer också en del mindre vägar i hela det studerade området inklusive de två isälvsdeltan. Detta kan utgöra ett hot för grundvattnet. De hot och föroreningsämnen som kan spridas via vägen diskuteras här. Föroreningarna från vägen följer ofta med dagvattnet och filtreras sedan ner i marken till grundvattnet enligt figur 21 nedan. Antingen genom direkt infiltration eller via diken längs vägen (Rivett et al., 2016).



Figur: 20 Bild på motorvägen som går genom vattenskyddsområdet.



Figur 21: Dagvattenavrinning från vägbank till grundvatten.

En vanlig förorening som kan utgöra ett hot för grundvattnet är tungmetaller, de släpps oftast ut genom slitning av bromsbelägg, väglaget och däckerna. Vanliga metaller som kan förekomma är bly, zink koppar och kadmium (Trafikverket, 2011). Trafik på vägar innebär även utsläpp i form av läckage från fordon som exempelvis petroleumprodukter och kylarvätska som kan förorena grundvattnet (Naturvårdsverket, 2004). Petroleumprodukter är cancerogent kan orsaka skada för det centrala nervsystemet och är därför farligt för både människor och djur (Naturvårdsverket, 1998).

Vid vägsplitage finns det även en risk att andra farliga ämnen från asfalten kan spridas till grundvattnet. Bland annat kan asfaltens bindemedel innehålla ämnet Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) som är ett kolväte. Detta är mycket skadligt för miljö och människor (Trafikverket, 2011). PAH klassas som cancerogent och höga halter i grundvattnet medför att grundvattentäkten inte kan användas som dricksvattenkälla (© Sveriges Geologiska Undersökning, 2013). Det förekommer dock inga höga halter PAH i grundvattentäkten i Skallsjö (VISS -Vatteninformationssystem för Sverige, u.å.).

Däckslitage är en av de största orsakerna till mikroplastföroreningar (Andersson-Sköld et al., 2020). Ett fåtal gummiliknande partiklar från däckslitage på vägar har hittats i grundvatten i landet. Mikroplaster sprids lättast i mark med hög genomsläpplighet (van't Land, 2018), exempelvis via isälvsavlagring som motorvägen och mindre vägar är placerade på. Det är oklart i dagsläget hur konsumtion av mikroplaster påverkar människor och djur (Livsmedelsverket, 2019). Mikroplasterna har visat sig vara skadliga för exempelvis skaldjur så det finns också en möjlighet att mikroplaster även kan påverka andra djur och människor på ett negativt sätt (Xu, Ma, Ji, Pan, & Miao, 2020). Mikroplaster kan därav vara ett allvarlig hot för grundvattnets kvalitet.

Motorvägen som går genom det undersökta området är en transportled för bland annat farliga godstransporter. Om en olycka sker och det uppstår läckage kan det ge stora konsekvenser för grundvattnet (Sweco, 2010). Enligt Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2019) är farligt gods ämnen som vid läckage kan utgöra skada på bland annat den omgivande miljön, exempelvis grundvattnet. Farligt gods delas in i nio klasser:

- Explosiva ämnen och föremål
- Gaser
- Brandfarliga vätskor
- Brandfarliga fasta ämnen
- Oxiderande ämnen och organiska peroxider
- Giftiga och smittfarliga ämnen
- Radioaktiva ämnen
- Frätande ämnen
- Övriga farliga ämnen

Vidare kan vägsalt kontaminera grundvattnet (Atangana, 2018). Detta används vid halkbekämpning. Klorider från vägsaltet kan lösas i dagvattnet som sedan kan kontaminera grundvattnet. Föroreningskällan skapar problem eftersom saltet inte går att förtära samt att klorid korroderar ledningar och rör. År 2000 och 2003 förekom låga kloridvärden i området (Sweco, 2010). Mellan 2013 och 2017 gjordes 12 mätningar av kloridhalten och utifrån dessa mätvärden anses den vara god (VISS -Vatteninformationssystem för Sverige, u.å.).

Kloridhalten borde därav inte påverka grundvattnet i stor skala.

Motorvägar innebär en mängd olika potentiella hot för grundvattnet i dess närhet. Sannolikheter för ett oönskat utsläpp i någon form i grundvattnet är därför stort. Även mindre vägar har liknande påverkan men i mindre utsträckning då dessa inte är lika trafiktäta och inte heller lika vanliga för transport av farligt gods. Norr om isälvsavlagringen finns det också en motorkrossbana som kan leda till liknade hot som för andra vägbanor. Eftersom det finns

många möjliga fall av toxisk föroreningsspridning och många vägar i området anses vägarna bidra med ett högt hot.

4.2 Kyrkogård

I Floda finns Skallsjö församling. Kyrkan har en stor omkringliggande kyrkogård, vilken kan vara en risk för grundvattnet eftersom den är placerad i den norra sårbara isälvsavlagringen (se figur 6 och 19). I den tidigare riskanalysen nämndes inte kyrkogården som en risk (Sweco, 2010). Enligt Camper (2014), som är verksam som samhällsbyggare på WSP, kan vattnet som filtreras genom gravplatser innehålla patogener och tungmetaller som sedan kan spridas ned till grundvattnet. Patogener är ett samlingsnamn för till exempel virus och bakterier som är sjukdomsframkallande (Nationalencyklopedin, u.å.-a). Skulle patogener hamna i grundvattnet och sedan användas som dricksvatten eller spridas till badplatser kan konsumenterna bli sjuka. Dessa patogener sprids endast från gravplatser vid nederbörd och under det första året efter begravningen. Camper beskriver vidare att reduktionen av patogener sker i det översta jordlagret. Skulle patogenen komma nedanför detta skikt är chansen att de överlever större på grund av att det finns färre konkurrerande bakterier som reducerar patogenerna. Även kylan i marken bidrar till att de överlever längre. I kropparna som begravs finns en viss mängd kväve och fosfor som kan spridas ned till grundvattnet och bidra till övergödning.

Tungmetaller från kyrkogårdar kommer ofta från askspridning, rök från krematorier och utsmyckningar på begravningsplatser eller kyrkan. Nu för tiden tas ofta tungmetallerna bort innan kroppen kremeras och röken renas innan den släpps ut (Camper, 2014). Kyrkan i Floda var ej försedd med tak av koppar eller bly (se figur 22). Därav bör inte tungmetaller vara en stor föroreningrisk.



Figur 22: Kyrka och begravningsplats i isälvsdeltat.

Hansson (Hanson, 2007), verksam för Grundvattengruppen, nämner också hans rapport att bekämpningsmedel som används i små mängder på grusgångar och begravningsplatser kan vara en föroreningskälla. Många bekämpningsmedel är hälsofarligt för människan och bör ej konsumeras. Enligt Miljöbalken (SFS 1998:808) ska vatten som kommer från en begravningsplats behandlas som miljöfarlig verksamhet då det avses vara avloppsvatten.

Moderna begravningsplatser är ofta dränerade för att sänka grundvattennivån så att spridning av farliga ämnen minskar (Camper, 2014). Det saknas vetenskap för hur kontaminerat vatten vid kyrkogården vid Skallsjödeltat tas omhand. Högst sannolikt är i alla fall de nyare gravarna dränerade och äldre gravarna bör inte längre sprida patogener. Inga kopparkoppar eller andra stora metallytor påträffades. Det måste dessutom regna kraftigt för att patogener och metaller ska följa med dagvattnet. Det är svårt att avgöra hur stort hot kyrkogården utgör då det inte finns mycket forskning inom ämnet men sannolikheten att kyrkogården skulle sprida föroreningsämnen så som patogener och tungmetaller i så stor utsträckning att den utgör ett hot anses ändå vara liten. Det som skulle kunna utgöra ett större hot är bekämpningsmedel om det används på kyrkogården. Sannolikheten för utsläpp är låg och föroreningarnas toxicitet är relativt låg. Därav anses hotet från kyrkogården vara låg.

4.3 Jordbruk, skogsbruk och djurhållning

I det studerade området påträffades jordbruk, skogsbruk och djurhållning. Enligt Lerums Kommun (Lerums kommun, u.å.) finns det idag jordbruksmark nord-öst och syd-väst om norra isälvsavlagringen. Det förekommer också jordbruk i den södra isälvsavlagringen. Djurhållning hittas i båda isälvsavlagringarna. Skogsbruk förekommer i högst grad på de mindre permeabla jordarna. Alla dessa källor kan medföra risker för grundvattnet. Jordbruk och skogsbruk bidrar framförallt till spridning av bekämpningsmedel, växtnäringsämnen och petroleumprodukter (Burri, Weatherl, Moeck, & Schirmer, 2019). Jordbruk och skogsbruk påverkar inte bara grundvattnets kvalitet, utan också dess kvantitet. Mängden vatten kan minska på grund av bevattning av åkrar och skogsplantering.

Tidigare har det förekommit bekämpningsmedel i dricksvattnet vilket gjorde att vattenverket stängdes och uppdaterade sin dricksvattenrening (Sweco, 2010). Bekämpningsmedel kan ha hög toxicitet i stora mängder vilket kan utgöra ett stort hot för grundvattenkvalitén. Bekämpningsmedel används främst i jordbruket (Burri et al., 2019) men det kan också förekomma inom skogsbruk och påverkar då omgivningen på liknande sätt. Enligt VISS (u.å.) så finns det en stor risk att värden för bekämpningsmedel inte uppnår god status år 2027. Eftersom jordbruk och skogsbruk är de största källorna till utsläpp av bekämpningsmedel bör detta beaktas vid bedömningen av hotet de utgör för grundvattnet.

Växtnäringsämnen används i både jordbruk och skogsbruk. Det finns kemiskt framställda gödsel och naturliga gödsel (från djurspillning). De båda typerna bidrar till grundvattenföroreningar eftersom de sprider näringsämnen, vilket leder till övergödning i mark och närliggande ytvattenkällor. Naturgödsel är också ett hot på grund av mikrobiella föroreningar som kan innehålla patogener. Dessa överlever under långa transporter och kan därav sänka kvalitén på grundvattnet (Sweco, 2010). För höga halter av växtnäringsämnen kan göra att grundvattnet inte längre kan nyttjas som dricksvatten. Inom jordbruket och skogsbruket förvaras ofta petroleumprodukter i bränsletankar. Det kan förkomma spill och läckage vilket utgör en risk då föroreningen kan spridas till grundvattnet (Atangana, 2018). Som tidigare nämnt är petroleumprodukter skadliga för människa och djur.

Skogsbruk och jordbruk medför en del risker, utöver det ovannämnda, för grundvattnet. Avverkning av skog till timmer eller för att skapa åkermarker bidrar till att växtligheten minskar och därmed också den skyddande effekt som växtligheten har för grundvattnet. Som nämnt i kapitel 3.3.1 bidrar växtligheten via interception till att inte all nederbörd infiltreras i marken. Avverkning kan därav leda till att mer vatten når grundvattnet och därav kan mer föroreningar spridas. Växtlighet bidrar till att organiska föroreningar, metaller och näringsämnen inte sprids ned till grundvattnet utan tas upp av växterna, detta kallas fyto Remediering. Föroreningar ackumuleras i växten och bryts ned av den (Prabakaran et al., 2019). Näringsläckaget till grundvattnet ökar också vid avverkning. Skog och mark läcker naturligt näringsämnen som kväve och fosfor men avverkningen ökar rörligheten av näringsämnena i marken och de förs vidare till grundvattnet (Nationalencyklopedin, u.å.-b). Maskinerna som används i skogsbruket och jordbruket utgör en risk för läckage av exempelvis petroleumprodukter till grundvattnet (Atangana, 2018). Ytterligare risk är läckaget av fenoler vid timmerupplag. Fenoler är giftigt vid förtäring, inandning och hudkontakt. Ämnet anrikas i näringskedjan och kan orsaka genetiska defekter (Naturvårdsverket, 2019a).

Under riskinventeringen visade det sig att det förekom mycket djurhållning inom isälvsavlagringarna, mestadels handlade detta om hästagar, stall och ridanläggningar (se figur 23). Precis som jordbruk och skogsbruk bidrar djurhållning till avverkning av växtlighet och har liknande påverkan som tidigare nämnts. Djurhållning kan också bidra till spridning av näringsämnen och patogener från fekalier till grundvattnet (Ottosson, 2012).



Figur 23: Djurhållning inom isälvsavlagringen.

Jordbruk, skogsbruk och djurhållning finns i stor omfattning i området, det finns vissa anvisningar och begränsningar hur bland annat bekämpningsmedel och gödning ska skötas i vattenskyddsområden, däremot ligger vissa jordbruk och skogsbruk utanför

vattenskyddsområdet där sådana begränsningar inte råder. Med ovanstående information som grund anses sannolikheten att föroreningar sprids från skogsbruk, jordbruk och djurhållning vara hög. Föroreningskällan omfattar ett stort område, det finns flera olika föroreningar och olika sätt för dem att spridas på. Föroreningsämnena är dock olika farliga. Djurhållning antas bidra till ett lågt hot och skogsbruk och jordbruk som bidrar till fler och mer toxiska ämnen klassas som ett medel-högt hot.

4.4 Bensinstationer

Under riskinventeringen påträffades två bensinstationer vid Skallsjömotet. Den ena ligger i isälvsavlagringen och den andra på en mindre permeabel jordart. Som tidigare beskrivet är petroleumprodukter ett hot för grundvattnet och vid en bensinmack kan läckage av petroleumprodukter ske. Små läckage förekommer vid tankning av bilar och andra fordon, större läckage skulle kunna ske vid en olycka eller vid sabotage. Båda mackarna har biltvättar vilket kan orsaka läckage av spillvatten från dagvattensystemet. Kemikalier som används vid tvätt och partiklar från bilen sköljs med i spillvattnet och vidare till grundvattnet (Naturvårdsverket, 1998). Bland dessa partiklar förekommer bland annat Alifater, ftalater och PAH som är giftiga för människa och natur (Munz, 2018).

Sannolikheten att bensinstationerna i området bidrar förorenat grundvatten bedöms som låg. Detta beror på att spillvatten och dagvatten från bensinstationer ska tas om hand av dagvattensystemen och renas innan utsläpp. Även fast ämnena som kan spridas vid utsläpp är farliga anses därför hotet vara lågt.

4.5 Bebyggelse

Bebyggelse i området medför en hel del hot för grundvattnet eftersom det finns många källor för utsläpp. Vissa utsläpp är diffusa, de kan vara svåra att kontrollera och kommer exempelvis ifrån bostäder. Andra utsläpp är större punktkällor och kommer exempelvis från verksamheter och olyckor (Burri et al., 2019).

Hushåll och privatpersoner är inte de allvarligaste källorna till föroreningar men de kan bidra med så kallade kontinuerliga, diffusa utsläpp i små mängder. Exempelvis vid uppställning och tvätt av fordon med avfettningsmedel kan kemikalier infiltreras genom jorden och förorena grundvattnet (Munz, 2018). Läckage i avloppsledningar kan leda till att näringsämnen, läkemedelsrester och mikrobiologiska föroreningar förs vidare med grundvattnet och förorenar vattentäkten. Hemkemikalier för privat bruk så som bekämpningsmedel eller gödningsmedel som bryts ned långsamt kan finnas kvar i marken en lång tid efter användning. Användning av oljecisterner för upphettning av bostäder, främst vid påfyllning och transport, medför en risk för förorening av grundvattnet. Det kan också förekomma allmän nedskräpning, avfallsupplag och oförsiktighet som kan sprida giftiga ämnen till grundvattnet (Burri et al., 2019) (se figur 24).



Figur 24: Allmän nedskräpning på privat tomt.

Utsläpp från verksamheter kan vara små precis som de från hushållen. Verksamheter påverkar oftast grundvattnet genom dess hantering av petroleumprodukter och lösningsmedel. Utöver detta kan företag förvara farliga kemikalier i större skala som kan läcka ut i grundvattnet (Burri et al., 2019). Vid riskinventeringen hittades flera upplag av schaktmassor samt deponier med skrot, skräp och virke (se figur 25 och 26). Schaktmassorna har enligt Swecos (2010) analys en oklar påverkan på grundvattnet. Om dessa deponier innehåller miljöfarliga ämnen kan de urlakas från massorna och spridas ned i grundvattnet. Utsläpp från skrot, skräp och virke kan på samma sätt påverka grundvattnet men i lite större utsträckning och på fler ställen.



Figur 25: Upplag av jord- och sand-massor.



Figur 26: Deponi av skrot, skräp och virke från verksamhet

I samband med bebyggelse förekommer även energianläggningar som kan medföra läckage av petroleum vid byggnationen och läckage av köldbärarvätska vid drift som kan förorena grundvattnet. Vid installation av bergvärme borrar det i berget, dessa borrhål kan bli en transportväg för föroreningar till grundvattnet. Utsläppet kan då möjligtvis spridas fortare (Sweco, 2010).

Anläggningsarbeten för bebyggelsen kan också ha en betydelse för grundvattnet. På samma sätt som för bergvärme borrar det ofta vid denna typ av arbeten, men det förekommer också schaktning och sprängning. Detta medför som tidigare förklarat nya transportvägar för föroreningar ned till grundvattnet (Sweco, 2010).

Vid platsbesöket hittades fotbollsplaner i form av tre gräsplaner, en konstgräsplan och en grusplan. På gräsplaner kan besprutningsmedel och växtnäringssämnen användas, dessa kan spridas ner till grundvattnet. Delar av konstgräsplanerna består av återvunnet gummi från bildäck som innehåller vissa skadliga ämnen, exempelvis PAH, ftalater och vissa metaller. Dessutom saltas vissa grusplaner vilket enligt beskrivet ovan också kan innebära vissa risker (Kemikalieinspektionen, 2006).

Då det kan vara svårt att kontrollera utsläpp från allmän bebyggelse anses sannolikheten till förorening vara hög. Däremot släpps föroreningarna ut i små mängder och är ofta inte så farliga. Därav bedöms olika föroreningskällor olika. Industrier anses innebära ett medel-högt hot. Fotbollsplaner och deponier antas bidra med ett medel hot. Upplag av massor antas bidra till ett lågt-medel hot och bostadsområden anses bidra till ett lågt hot.

4.6 Sabotage, kris och krig

Swecos (2010) riskinventering nämnde att sabotage, kris och krig kan vara en risk för grundvattnet. Detta beror på att vattenförsörjningen är livsviktig för människan och kan bli lidande under dessa förhållanden. Infrastrukturen och installationer kan ta fysisk skada på

grund av exempelvis förstörelse. Informationsspridning av vattentäktens utformning, Vanläggningar och sårbarhet är sekretessbelagt enligt offentlighet- och sekretesslagen.

Sannolikheten för sabotage, kris och krig antas vara låg som samhället ser ut idag. Om det skulle ske är sannolikheten låg att denna vattentäkt skulle angripas. Det är större chans att en vattentäkt som försörjer fler människor skulle vara målet. Det är därför svårt att bedöma hur högt hot sabotage, kris och krig kan bidra med och därför klassas inte föroreningskällorna efter detta i resultatet utan nämns senare i diskussionen.

4.7 Klimatförändring

Just nu pågår det stora klimatförändringar i världen och i Sverige vilket kan utgöra ett stort hot för våra grundvattenmagasin. Troligtvis kommer det innebära ett mildare klimat med perioder av torka och perioder med ökad nederbörd i framtiden. Klimatförändring kan därav öka hotet av de föroreningar som finns i området.

Många processer i marken påverkas av väder och klimat, exempelvis det infiltrerande vattnets ursprungskvalitet, grundvattenbildningens storlek, grundvattennivåer och flöden samt uppehållstider i grundvattnet. Detta medför att kvalitén på grundvattnet kan påverkas. Då grundvattennivån förväntas att stiga blir det omättade skiktet mindre vilket påverkar filtreringen av föroreningar. Upphållstiden för grundvattnet påverkar turbiditeten, salthalten, mängden organiska ämnen och syrehalten (Svenskt Vatten, 2007).

Vid ökad nederbörd finns risk för översvämningar och breddning av avloppssystem, vid dessa förhållanden blir det lättare för föroreningar att transporteras och dessa riskerar att föras till våra vattendrag och vattentäkter (Sweco, 2010).

Torkan kan innebära att regnvatten kan transporteras en längre sträcka över mark eftersom det blir svårare för nederbörden att infiltreras. Detta medför att dagvattnet kan föra med sig mer föroreningar innan vattnet infiltreras till grundvattnet. Enligt Naturvårdsverket (2019b) kan torkan också innebära att föroreningar som tidigare varit stabila i marken kan börja röra på sig och spridas till grundvattnet. I perioder kan också akviferen minska i volym vilket kan medföra att dricksvatten inte längre kan utvinnas.

Klimatförändringar kommer att ske, det är bara en tidsfråga. Om inga åtgärder görs kan de andra föroreningskällorna också utgöra ett större hot. Detta beror på att klimatförändringar kan öka spridningen av de befintliga föroreningskällorna. Denna kategori är också svår att bedöma i klassningssystemet. Därav klassas inte heller föroreningskällorna efter detta i resultatet eftersom det är svårt att använda som en variabel i riskbedömningen. Detta nämns dock senare i diskussionen.

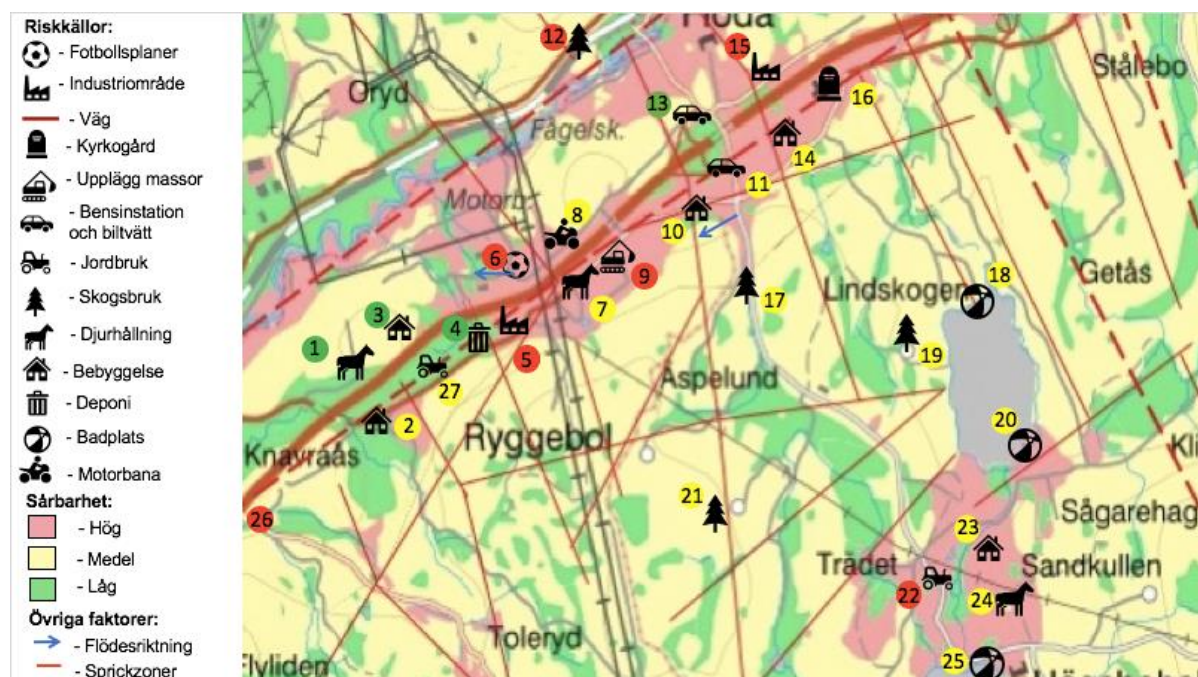
4.8 Sjöar och Badplatser

Det förekommer sjöar med några mindre badplatser som kan utgöra ett hot för grundvattnet. Dessa är placerade i närhet till den södra isälvsavlagringen. Om det skulle börja utvinnas vatten i den södra isälvsavlagringen kan det vara bra att ha i åtanke. I kapitlet Hydrogeologi beskrivs det att sjöar i dagsläget fylls på av grundvatten. Men vid pumpning av stora vattenvolymer från grundvattnet, med närhet till en sjö, kan vattnet från sjöarna istället infiltreras till grundvattnet istället. Klimatförändringar leder till stigande ytvattennivåer vilket också kan öka risken för att sjöar infiltrerar grundvattnet. Utsläpp i sjöarna kan då påverka

grundvattnet. Mänsklig aktivitet såsom vid en badplats kan ha negativa konsekvenser på kvaliteten på grundvattnet. Detta antas utgöra ett lågt hot mot grundvattenkvalitén eftersom sannolikheten är låg och föroreningarna som kan släppas ut är mindre farliga.

5 Riskbedömning

I figur 27 är föroreningskällorna utplacerade på en karta som visar områdets sårbarhet, sprickzoner och flödesriktning. Sårbarhet, sprickzoner och flödesriktningen avgör i vilken utsträckning grundvattnet kan kontamineras av en föroreningskälla och sammanvägt med skyddsvärdet bestämmer detta hur stora konsekvenserna blir vid utsläpp. Föroreningskällorna lokaliserade i de röda områdena, över sprickzoner och uppströms flödesriktningen har större potentiell påverkan på grundvattnet jämfört med de föroreningskällorna som är placerade i de gula och gröna områdena samt långt från sprickor och nedströms flödesriktningen. Numreringen av föroreningskällorna har markerats i färger som motsvarar risknivåerna enligt tabell 2. Klassningen bestäms enligt figur 3 i metodkapitlet och resultatet redovisas i figur 27 och tabell 2.



Figur 27: Modifierad karta för sårbarheten, sprickzoner, flödesriktning och föroreningskällor i området. [Karta] (© Sveriges Geologiska Undersökning, n.å.-c). Återgiven med tillstånd.

Tabell 2: Riskbedömning för grundvattnet i området, föroreningskällorna har sorterats utifrån risknivån.

Föroreningskälla	Typ av föroreningskälla	Sårbarhet (Låg-hög)	Hot (Låg-hög)	Närhet av sprickzon	Flödesriktning ²	Riskbedömning (2–12 poäng)
26	Väg	Hög (5)	Hög (5)	Ja (1)	Uppströms (1)	12
12	Skogsbruk	Hög (5)	Medel-hög (4)	Ja (1)	Data saknas ³ (1)	11
15	Industri	Hög (5)	Medel-hög (4)	Ja (1)	Uppströms (1)	11
5	Industri	Hög (5)	Medel-hög (4)	Ja (1)	Nedströms (0)	10
6	Fotbollsplaner	Hög (5)	Medel (3)	Nej (0)	Uppströms (1)	9
9	Upplägg av massor	Hög (5)	Låg-medel (2)	Ja (1)	Uppströms (1)	9
22	Jordbruk	Hög (5)	Medel-hög (4)	Nej (0)	Data saknas ³ (1)	9
7	Djurhållning	Hög (5)	Låg (1)	Ja (1)	Uppströms (1)	8
8	Motorbana	Hög (5)	Låg-medel (2)	Nej (0)	Uppströms (1)	8
10	Bostadsområde	Hög (5)	Låg (1)	Ja (1)	Uppströms (1)	8
11	Bensinstation med biltvätt	Hög (5)	Låg (1)	Ja (1)	Uppströms (1)	8
14	Bostadsområde	Hög (5)	Låg (1)	Ja (1)	Uppströms (1)	8
16	Kyrkogård	Hög (5)	Låg (1)	Ja (1)	Uppströms (1)	8
17	Skogsbruk	Medel (3)	Medel-hög (4)	Ja (1)	Data saknas ³ (1)	8
20	Badplats	Hög (5)	Låg (1)	Ja (1)	Data saknas ³ (1)	8
21	Skogsbruk	Medel (3)	Medel-hög (4)	Ja (1)	Data saknas ³ (1)	8
27	Jordbruk	Medel (3)	Medel-hög (4)	Ja (1)	Nedströms (0)	8
2	Bostadsområde	Hög (5)	Låg (1)	Ja (1)	Nedströms (0)	7
19	Skogsbruk	Medel (3)	Medel-hög (4)	Nej (0)	Data saknas ³ (1)	7
23	Bostadsområde	Hög (5)	Låg (1)	Nej (0)	Data saknas ³ (1)	7
24	Djurhållning	Hög (5)	Låg (1)	Nej (0)	Data saknas ³ (1)	7
25	Badplats	Hög (5)	Låg (1)	Nej (0)	Data saknas ³ (1)	7
18	Badplats	Medel (3)	Låg (1)	Ja (1)	Data saknas ³ (1)	6
4	Deponi	Låg (1)	Medel (3)	Ja (1)	Nedströms (0)	5
13	Bensinmack med biltvätt	Medel (3)	Låg (1)	Nej (0)	Uppströms (1)	5
1	Djurhållning	Medel (3)	Låg (1)	Nej (0)	Nedströms (0)	4
3	Bostadsområde	Medel (3)	Låg (1)	Nej (0)	Nedströms (0)	4

² med avseende på isälvsavlagringen.

³ Anta uppströms eftersom det är det värsta scenariot.

6 Diskussion och slutsats

Resultaten från riskbedömningen av det studerade området visar tydligt att föroreningsrisken blir betydligt högre vid isälvsavlagringarna där genomsläppligheten och grundvattnets värde är högt (se tabell 2), följaktligen där sårbarheten är hög. De föroreningskällor som bidrar till störst risk är vägar (nr 26), industriområden (nr 5 och 15) och skogsbruk (nr 12). Även fotbollsplanerna (nr 6) och upplägg av massor (nr 9) visade sig bidra till en hög risk för grundvattnet. Dessa är alla placerade i den norra isälvsavlagringen. Den största risken i den södra isälvsavlagringen är utsläpp från jordbruk (nr 22). Föroreningar från dessa källor kan men stor sannolikhet ske och de kan även orsaka farliga utsläpp till grundvattnet som påverkar både människa, djur och natur. Deras placering på de sårbara isälvsavlagringarna kan orsaka en stor spridning av föroreningar i grundvattnet. Många av föroreningskällorna är också placerade på sprickzoner samt uppströms den norra isälvsavlagringen vilket också leder till en högre riskpoäng eftersom spridningen potentiellt kan bli större. Därav får de totalt en hög riskpoäng.

De föroreningskällor lägst antal poäng är djurhållning (nr 1), bensinstation (nr 13), bebyggelse (nr 3) och deponi (nr 4). Dessa föroreningskällor är lokaliserade på mindre sårbara jordarter och de flesta är även placerade nedströms den norra isälvsavlagringen. Dessutom har dessa föroreningskällor antagits utgöra ett lägre hot än de tidigare nämnda föroreningskällorna. Således resulterar detta i att sammanvägningen av sannolikheten för utsläpp och toxiciteten av utsläppet är lägre. Det betyder dock inte att ett utsläpp från en bensinmack är mindre skadligt än utsläpp från exempelvis jordbruk, utan att risken för en betydande spridning är mindre. Spridningen från dessa föroreningskällor antas vara begränsad och därmed inte medföra någon större skada för människor, djur och natur. Därav får de en låg riskpoäng. Bensinstationerna är ett tydligt exempel på hur markens egenskaper påverkar risken för grundvattnet. Den ena, nr 13, får en låg riskpoäng eftersom den är placerad på en mindre sårbar jordart. Den andra, nr 11, får en medelhög riskpoäng eftersom den ligger i en isälvsavlagring där spridningsrisken av föroreningar är större. Resterande föroreningskällor får också medelhög riskpoäng (gula området i tabell 2). Dessa kan orsaka stora problem för grundvattnet i dess omgivning och därav borde dessa också tas hänsyn till vid en eventuell revidering av vattenskyddsområdet.

Den metod som här presenteras kan användas för att identifiera risker för grundvattenförekomster och visa den risk som olika föroreningskällor utgör. Den tillämpning som presenteras visar att metoden är praktiskt tillämpbar. Resultaten kan utgöra ett underlag för att identifiera lämpliga restriktioner eller andra åtgärder i syfte att skydda en vattentäkt genom exempelvis ett vattenskyddsområde. Tillämpning av denna metod kan enkelt göras även för andra platser. Om genomsläpplighet, sprickzoner, flödesriktningar och föroreningskällor är kända kan riskbedömningssystemet användas. Däremot kan det vara svårt och tidskrävande att fastställa alla föroreningskällor samt vilket hot de utgör. Resultatet är enkelt att tolka och tämligen tillförlitligt, däremot finns vissa osäkerheter.

Jordarterna är uppskattade utifrån data och kartor ifrån Sveriges Geologiska Undersökning och kan skilja sig från hur det faktiskt ser ut i området. Tvärsektionerna som visar jordlagerföljden (se figur 10 och 11) är framtagna genom data som bara visar jordlagerföljden i specifika punkter i området samt genom en uppskattning av hur Sveriges jordarter brukar

förekomma. Det innebär att jordlagerföljden inte nödvändigtvis är densamma bara en kort bit därifrån. Detta ger en osäkerhet som leder till att den antagna förorenings-spridningen mest sannolikt skiljer sig från den faktiska samt att grundvattnets värde, med avseende på uttagsmöjligheter, kan vara felbedömt.

Vattnets flödesriktning och sprickbildningen i berget har också betydelse. Då det inte finns någon data över sprickornas lutning, storlek eller hur vattnet rör sig i sprickorna gjordes analysen för värsta tänkbara scenario, alltså att föroreningarna kan spridas från de minst sårbara till de mest sårbara områdena. Flödesriktningen var dessutom bara känd i isälvsavlagringen och därför antas även där värsta scenario i poängsättningen i riskbedömningen där flödesriktningen inte var känd. Detta innebär alltså att en del föroreningskällor kan utgöra ett mindre hot än vad som är bedömt i riskbedömningen. Den framtagna sårbarheten av området är därför bara en uppskattning.

Dessutom är riskbedömningssystemet en förenkling av verkligheten. I systemet har en hög sårbarhet samma poäng som ett högt hot trots att sårbarheten kanske har högre inverkan på hur stor risken är. Det kan påverka hur resultaten tolkas.

Värt att nämna är också att riskinventeringen kunde ha gjorts mer omfattande, i detta fall kunde endast ett litet område studeras vid platsbesöket och genom kartstudier. Det kan därför finnas fler föroreningskällor i området som kan hota grundvattnets kvalitet. Till exempel visas det i figur 27 att en större sprickzon i sydväst-nordöstlig riktning går genom det befintliga vattenskyddsområdet, vid en mer omfattande studie och riskinventering skulle föroreningskällor längs med en sådan sprickzon studerats. Dessutom hade det varit bra att i mer detalj kartlägga flödet i sprickzonen för att kunna ta reda på vilka föroreningskällor som innebär störst risk med avseende på spridning.

På grund av sekretesslagarna som gäller för dagvattenhantering fanns inte tillgänglig information om hur dagvattnet från exempelvis motorväg, bensinstationer och begravningsplatser tas om hand. Det är därför svårt att veta hur sannolikt det är att en olycka eller annat som kan sprida föroreningar inträffar samt hur stor konsekvens det innebär. Exempelvis är det också väldigt svårt att utan djupare undersökningar veta hur industrier hanterar sina avfall, därmed blir det svårt att avgöra hur mycket föroreningar som släpps ut. De bedömningar som gjorts har därför baserats på allmän information som finns tillgänglig.

Vidare är riskbedömningen gjord utifrån hur det ser ut i nuläget. Det som också bör tas hänsyn till är framtiden och klimatförändringar. Som beskrivet i kap. 4 kommer hoten att förstärkas av klimatförändringarna. Det betyder att riskerna eventuellt bör klassas högre. Exempelvis kan bensinmackarnas hantering av dagvatten och annat avfall bli otillräcklig då exempelvis skyfall och översvämningar blir allt vanligare. Hotet för föroreningskälla nr 11 (Bensinstationen) skulle då kunna klassas som högt istället för lågt och därmed ge 12 poäng istället för 8 i riskbedömningen. Vissa föroreningskällor påverkas dock mer än andra och kan då leda till ett skifte i vilken föroreningskälla som är mest skadlig. Föroreningskällor ovan jord bör påverkas mer av nederbörden än andra, exempelvis påverkas en bensinstation mer än gravplatserna. Vissa föroreningskällor påverkas inte alls av det, till exempel de utsläpp från

industrier som endast påverkas av produktionen. Dock bör spridningen bli större för alla utsläpp.

Riskbedömningen har inte heller tagit hänsyn till sabotage, kris och krig. Detta beror på att det anses vara liten sannolikhet att det skulle ske samt att det är svårt att bedöma genom den riskbedömningssystem som tillämpas i den här rapporten. Dessutom är åtgärder mot sabotage, kris och krig inte desamma som för övriga föroreningskällor. Däremot kan det, om det sker, öka hotbilden för de föroreningskällor som finns och orsaka större och allvarigare föroreningar än vad det i nuläget finns risk för.

Metoden skulle kunna utvecklas i syfte att förbättra resultatens beskrivning av de verkliga förhållandena. En grundligare riskbedömning hade kunnat göras med hjälp av kompletterande undersökningar så som provtagningar för föroreningskoncentrationer, flödesriktningar, jordlagerföljder och spricklutningar. För att kunna bedöma sannolikhet för utsläpp från föroreningskällorna skulle det vara bra att kunna ta reda på hur dagvatten från tas omhand på plats samt en inventering av ämnen som används i industrier, skogsbruk och jordbruk. Nu har en allmän diskussion först baserats på generell information.

Arbetet har slutligen visat att isälvsavlagringarna har en hög uttagsmöjlighet för utvinning av dricksvatten men de har också den största hotbilden och sårbarheten. De områdena med exempelvis morän och torv som har sämre uttagsmöjligheter är mindre sårbara för förorenings spridning. Det leder till att dessa områden inte är i lika stort behov av grundvattenskydd. Eftersom det nuvarande vattenskyddsområdet ligger i den sydvästra delen av den norra isälvsavlagringen, alltså nedströms finns det en risk att föroreningar i den nordöstra delen av området sprider sig med flödet till vattenskyddsområdet. Som tidigare nämns ska ett vattenskyddsområde inrättas om grundvattenmagasinet är större än 10 m³ och försörjer mer än 50 personer. I dagsläget försörjer kanske inte den södra isälvsavlagringen 50 personer men det finns kapacitet för det. För att i framtiden ha god tillgång till grundvatten av hög kvalitet kan det därför vara motiverat att utöka det nuvarande vattenskyddsområdet till hela den norra isälvsavlagringen samt att inrätta ett nytt vattenskyddsområde kring den södra isälvsavlagringen.

De huvudsakliga slutsatserna från denna fallstudie är att:

- Sårbarhet och hot har stor påverkan på risken som grundvattnet utsätts för.
- Isälvsavlagringar är mest skyddsvärda utifrån uttagsmöjligheter av grundvattnet.
- Befintligt vattenskyddsområde bör utökas för att säkra högkvalitativa vattenresurser i framtiden.
- Den använda metoden är användbar för att skapa en övergripande riskbedömning av grundvattenförekomster.
- Metoden är väldigt beroende av befintliga data över det område som skall undersökas, och blir därmed bristfällig om dessa saknas. Kompletterande undersökningar kan därför behövas när en riskbedömning genomförs.

7 Referenser

- Andersson-Sköld, Y., Johannesson, M., Gustafsson, M., Järllskog, I., Lithner, D., Polukarova, M., & Strömvall, A.-M. (2020). *Mikroplast från däck-och vägslitage* (VTI-rapport 1028) Hämtad 2020-04-29 från <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1393275/FULLTEXT03.pdf>
- Atangana, A. (2018). Chapter 3 – Groundwater Pollution. In *Fractional Operators with Constant and Variable Order with Application to Geo-Hydrology*. Academic Press. (s. 49–72). doi: 10.1016/B978-0-12-809670-3.00003-5
- Avdelningen för Geologi och geoteknik. (2020). BOM200 - Teknisk Geologi för Samhällsbyggnadsteknik åk 1 (S1). *Exkursionskompendium*. Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Bengtsson, M.-L., & Carlswärd, A. (1993). *Hydrogeologisk Sårbarhetsklassificering av Stora Hällungens tillrinningsområde, Stenungssunds kommun*. (Masteruppsats). Göteborg: Geologiska institutionen, Chalmers Tekniska Högskola.
- Burri, N. M., Weatherl, R., Moeck, C., & Schirmer, M. (2019). A review of threats to groundwater quality in the anthropocene. *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.236>
- Camper, P.-A. (2014). *Dräneringsvatten från begravningsplatser*. (SVU-rapport 2014-06) Hämtad 2020-04-29 från <https://www.svensktvatten.se/rapporter/svu-rapporter/avlopp--miljorapporter/>
- Engdahl, M., & Påsse, T. (2014). *Geologisk beskrivning av Säveåns dalgång*. (SGU-rapport 2014:37) Hämtad 2020-04-29 från <http://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1437-rapport.pdf>
- Google. (u.å.) *Google Maps*. Hämtad 2020-05-03 från <https://www.google.se/maps/@57.7966626,12.3652242,14506m/data=!3m1!1e3>
- Grip, H., & Rodhe, A. (1985). *Vattnets väg från regn till bäck*. Uppsala: Hallgren & Fallgren Studieförlag AB
- Hanson, G. (2007). *Påverkansbedömning: Grundvatten Metodutveckling och nationell analys av grundvattenförekomsternas potentiella föroreningsbelastning*. Hämtad 2020-04-29 från <http://extra.lansstyrelsen.se/viss/SiteCollectionDocuments/sv/vattenforekomst/gvpaverkan/P%C3%A5vGVGHansson.pdf>
- Havs- och Vattenmyndigheten. (2019a). *Vägledning om vattenskyddsområde*. Hämtad 2020-04-29 från www.havochvatten.se
- Havs- och vattenmyndigheten. (2019b). *Principer för riskbedömning i arbetet med vattenskyddsområde*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.havochvatten.se/download/18.25d1ce5d16d9ef4f55b36fe8/1570526642995/principer-riskbedomning-arbetet-vattenskyddsomrade.pdf>
- Havs- och Vattenmyndigheten. (2020). *Beslut om vattenskyddsområde*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.havochvatten.se/hav/vagledning--lagar/vagledning/provning-och-tillsyn/dricksvatten-och-vattenskydd/vattenskyddsomrade.html>
- Kemikalieinspektionen. (2006). *Konstgräs ur ett kemikalieperspektiv*. Hämtad 2020-05-03 från <https://www.kemi.se/global/pm/2006/pm-2-06.pdf>
- Knutsson, G., & Morfeldt, C.-O. (1978). *Vatten, jord och berg*. Stockholm: Ingenjörsläroverket AB.

- Lerums Kommun. (2020). *Dricksvatten*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.lerum.se/Bygga-bo-och-miljo/Vatten-och-avlopp/Kommunalt-vatten-och-avlopp/Dricksvatten/>
- Lerums kommun. (u.å.). *Gällande detaljplan*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.lerum.se/Bygga-bo-och-miljo/Kommunens-planarbete/gallande-detalj-planer/>
- Livsmedelsverket. (2019). *Mikroplast*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/mikroplast?AspxAutoDetectCookieSupport=1>
- Munz, V. (2018). *Emissions of Organic Pollutants från Vehicles A Pilot Study of an Experimental Car Wash*. (Projektuppsats). Göteborg: Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik, Chalmers Tekniska högskola. Hämtad 2020-04-29 från <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/255703/1/255703.pdf>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2019). *Transport av farligt gods*. Hämtad 2020-04-29 från www.msb.se/farligtgoods.
- Nationalencyklopedin. (u.å.-a). *Näringsläckage*. Hämtad 2020-05-03 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/n%C3%A5ng/n%C3%A4ringsl%C3%A4ckage>
- Nationalencyklopedin. (u.å.-b). *Patogen*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/n%C3%A5ng/patogen>
- Naturvårdsverket. (1998). *Förslag till riktvärden för förorenade bensinstationer*. Hämtad 2020-05-03 från <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-4889-9.pdf>
- Naturvårdsverket. (2003). *Vattenskyddsområde, Handbok med allmänna råd*. (NVV-handbok 2003:6) Hämtad 2020-04-29 från <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-0128-0.pdf>
- Naturvårdsverket. (2004). *Föreningar i dagvatten*. Hämtad 2020-04-29 från <https://naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/regeringsuppdrag/2017/Foreningar-i-dagvatten.pdf>
- Naturvårdsverket. (2019a). *Utsläpp i siffror - Fenoler*. Hämtad 2020-04-29 från <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Ovriga-organiska-amnen/Fenoler/>
- Naturvårdsverket. (2019b). *Vattenbrist och torka - så påverkar det miljön*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vatten/Vattenbrist-och-torka/>
- Naturvårdsverket. (u.å.) *Skyddad natur*. Hämtad 2020-05-03 från <https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/>
- Ottosson, J. (2012). *Dricksvatten och mikrobiologiska risker från lantbrukens djur*. Hämtad 2020-04-29 från https://pub.epsilon.slu.se/10621/11/ottosson_j_120709.pdf
- Prabakaran, K., Li, J., Anandkumar, A., Leng, Z., Zou, C. B., & Du, D. (2019). Managing environmental contamination through phytoremediation by invasive plants: A review. *Ecological Engineering*. Elsevier B.V. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.07.002>
- Rivett, M. O., Cuthbert, M. O., Gamble, R., Connon, L. E., Pearson, A., Shepley, M. G., & Davis, J. (2016). Highway deicing salt dynamic runoff to surface water and subsequent infiltration to groundwater during severe UK winters. *Science of the Total Environment*, 565, 324–338. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.095>
- SFS 1998:808. *Miljöbalk*. Stockholm: Miljö- och energidepartementet.

- Stevenson, D. S. (2018). *Granite Skyscrapers: How Rock Shaped Earth and Other Worlds*. doi: 10.1007/978-3-319-91503-6
- Strähle, A. (2001). *Definition och beskrivning av parametrar för geologisk, geofysisk och bergmekanisk kartering av berg*. Hämtad 2020-04-29 från https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/035/32035036.pdf
- Sundqvist, U., Graffner, O., Lindblad, T., Ch Borg, G., Wallroth, T., Holmström, P., ... Håkansson, K. (2019). *Undersökningar av föreningar i berggrund*. (NVV-rapport 5930) Hämtad 2020-04-29 från <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5930-9.pdf>
- Svenskt Vatten. (2007). *Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.svensktvatten.se/globalassets/dricksvatten/ravatten/m135.pdf>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (2013). *Bedömningsgrunder för grundvatten*. Hämtad 2020-04-29 från <http://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1301-rapport.pdf>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (2020). *Klimatets förändringar över tiden*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.sgu.se/om-geologi/ett-klimat-i-standig-forandring/klimatets-forandringar-over-tiden/>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (u.å.-a). *Isälvsediment – spår av isälvarna*. Hämtad 2020-05-03 från <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/isen-smalter/isalvsediment-spar-av-isalvarna/>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (u.å.-b). *Morän – spår av inlandsisen*. Hämtad 2020-05-03 från <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/inlandsisen/moran-spar-av-inlandsisen/>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (u.å.-c). *SGUs Kartvisare*. Hämtad 2020-05-03 från <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-berg-50-250-tusen.html>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (u.å.-d). *Sveriges berggrund*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.sgu.se/om-geologi/berg/sveriges-berggrund/>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (u.å.-e). *Torv – från sjö till torvmark*. Hämtad 2020-05-03 från <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/erosion-och-igenvaxning/torv-fran-sjo-till-torvmark/>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (u.å.-f). *Vår viktigaste naturresurs*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.sgu.se/geologisk/naturresurser/var-viktigaste-naturresurs/>
- Sweco. (2010). *Skallsjö Vattenskyddsområde, Tekniskt underlag med förslag till vattenskyddsområde och skyddsföreskrifter*. Hämtad 2020-04-29 från <https://www.lerum.se/globalassets/documents/forvaltningssidorna/bygga-bo-och-miljo/natur-och-parker/skallsjo-tekniskt-underlag.pdf>
- Trafikverket. (2011). *Vägdagvatten Råd och rekommendationer*. (TRV-rådsdokument 2011:112) Hämtad 2020-04-29 från <https://trafikverket.ineko.se/se/v%C3%A4gdagvatten-r%C3%A5d-och-rekommendationer-f%C3%B6r-val-av-milj%C3%B6m%C3%A5tg%C3%A4rd>
- van't Land, D. (2018). *Når microplast grundvattnet? En pilotstudie om plastföreningar i Hallands län* (Kandidatuppsats). Göteborg: Institutionen för Ekonomi och Samhälle, Kulturgeografi och Geovetenskaper, Göteborgs Universitet. Hämtad 2020-04-29 från https://studentportal.gu.se/digitalAssets/1737/1737306_b1044.pdf
- VISS -Vatteninformationssystem för Sverige. (u.å.) *Skallsjö*. Hämtad 2020-04-29 från https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA19933606&managementCycleName=Cykel_3

Xu, S., Ma, J., Ji, R., Pan, K., & Miao, A. J. (2020, February 10). Microplastics in aquatic environments: Occurrence, accumulation, and biological effects. *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134699>

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR GEOLOGI OCH GEOTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020
www.chalmers.se



CHALMERS