



Riskbedömning av Grundvattenresursen i Gråbo

Granskande kartläggning för existerande riskkällor i Gråboområdet samt förslag på uttökning av det befintliga vattenskyddsområdet.

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

Alexander Gereonsson, Hugo Hultén, Louise Liljeblad, Markus Löfgren

KANDIDATARBETE 2021

Risk Assessment of the Groundwater Source in Gråbo

An evaluative survey of existing threats in the Gråbo area and
a suggestion on how to expand the local water protection area.

ALEXANDER GEREONSSON
HUGO HULTÉN
LOUISE LILJEBLAD
MARKUS LÖFGREN



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Geologi och Geoteknik
ACEX10-21-39
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Göteborg, Sverige 2021

Risikanalyt av Grundvattentäkten i Gråbo
Grundvattenskydd

© ALEXANDER GEREONSSON, HUGO HULTÉN, LOUISE LILJEBLAD, MARKUS LÖFGREN
2021.

Handledare: Andreas Lindhe, Avdelningen för Geologi och Geoteknik
Examinatorr: Lars Rosén, Avdelningen för Geologi och Geoteknik

Kandidatarbete 2021
Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Geologi och Geoteknik
ACEX10-21-39
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslag: Grustäkten i Gråbo 210405
Gothenburg, Sweden 2021

Sammanfattning

Detta arbete syftar till att ge en övergripande riskbedömning av grundvattentäkten i Gråbo, Lerums kommun, Sverige. Grundvattenresursen ligger i ett isälvsdelta och bedöms ha mycket stor uttagspotential. Deltat är för närvarande under utredning för att undersöka möjligheterna till att även försörja områden utanför Lerums kommun via ökat uttag. För att bedöma förhållandena i området användes ett riskbaserat tillvägagångssätt med hänsyn till de lokala förutsättningarna. Riskanalysen har legat till grund för att avgöra förutsättningarna för att kunna bevara god vattenkvalitet även vid ökat uttag, samt utökning av det befintliga vattenskyddsområdet.

Risken för försämrad grundvattenkvalitet har utvärderats genom att bedöma områdets sårbarhet, potentiella föroreningskällor samt den sannolikhet och konsekvens som ett potentiellt utsläpp är förknippat med. Sårbarheten har undersökts genom att kombinera data över områdets geologiska och hydrogeologiska egenskaper i det grafiska informationssystemet ArcGIS. De potentiella föroreningskällorna i området identifierades dels genom en fältstudie och dels genom att studera befintliga kartmaterial över området. Respektive föroreningskälla har därefter bedömts utifrån ett sannolikhets- och konsekvensperspektiv och har därefter uppskattats i en relativ riskbedömning. Den sammantagna riskbedömningen ligger sedan till grund för motiveringen kring utvidgning av det befintliga vattenskyddsområdet samt kring de åtgärder som skulle komma att bli aktuella. Resultatet från den sammantagna riskbedömningen visar på att det befintliga vattenskyddsområdet bör utökas för att skydda det befintliga uttaget samt för att skydda möjligheten till ökat uttag i framtiden.

Resultaten från arbetet tyder på att området från rondellen mellan väg 190 och Gråbovägen i väst, till Hjällsnäsviken i öst är sårbart för föroreningar. Dessutom är majoriteten av de identifierade föroreningskällorna stationerade inom detta område. I öst bör området som angränsar till Mjörn skyddas, dels då sårbarhetskartan visar att detta område är sårbart och dels för att öka möjligheterna för konstgjord infiltration. Vidare utgör industrieponisjön samt plantskolan de största punktkällorna för föroreningar i området och väg 190 är den största diffusa föroreningskällan. För de båda punktkällorna är det i huvudsak lokala åtgärder som krävs för att minska dess påverkan på grundvattnet. För väg 190 är det främst dagvattenhanteringen närmast vägen som är den betydande åtgärden.

Nyckelord: Akvifer, Riskbedömning, Sårbarhetsanalys, Föroreningskällor, Grundvattenskydd, Vattenskyddsområde, Gråbodeltat, Utsläppsintervall, PAH, Dagvatten

Abstract

This work aims to provide an overall risk assessment of the groundwater resource in Gråbo, in the Municipality of Lerum, Sweden. The groundwater resource is located under a glaciofluvial delta and is considered to have a very good abstraction potential. The possibility of supplying a larger part of the Gothenburg area with drinking water from this area is currently being examined. Given the local geological conditions, a risk-based approach has been used to assess the need for protection of this location. Based on the risk analysis, an evaluation has been made of the conditions for being able to maintain good water quality with increased abstraction, while also expanding the existing water protection area.

The risk has been evaluated by assessing and combining the vulnerability, potential sources of pollution and the consequences of a potential discharge to the groundwater resource. The vulnerability has been investigated by combining data on the geological and hydrogeological characteristics in a Graphical Information System (ArcGIS). The potential sources of pollution in the area were identified partly through a field study and partly by studying existing maps of the area. Each source of pollution has subsequently been assessed from a probability and consequences perspective, which has accordingly been estimated in a relative risk assessment. The overall risk assessment then provides support for the design and delimitation of the water protection area and any relevant measures.

The results from the overall risk assessment show that the existing water protection area should be expanded upon to protect the existing outlet, and to ensure the possibility of increased extraction in the future. The results from this study also indicate that the western area from the roundabout between Väg 190 and Gråbovägen to Hjällsnäsviken in the eastern part is highly vulnerable. In addition, the majority of the identified sources of pollution are stationed within this area.

The area adjacent to Mjörn is not only a vulnerable area, but it should also be protected to enable artificial infiltration in the future. Furthermore, the industrial landfill lake and the nursery-garden is shown to be the two largest point sources, with Väg 190 as the largest diffused source of pollution. For the two point sources, it is mainly local measures that are required to reduce its impact on the groundwater. For Väg 190, it is mainly stormwater management (adjacent to the road) that is the most significant measure.

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Syfte och problemformulering	1
1.2 Avgränsningar	1
1.3 Bakgrund	2
1.4 Risk	4
2 Metod	5
2.1 Övergripande metod för kartläggning och bedömning av riskkällor i Gråboområdet . . .	5
2.2 Bakgrund till sårbarhetsanalys, DRASTIC-metoden	6
2.3 Bakgrund till arbetsgång för sannolikhet & konsekvens	8
3 Sveriges geologi och hydrogeologi	10
3.1 Sveriges berg- och jordarter	10
3.2 Hydrologi & hydrogeologi	12
3.2.1 Vattenbalansen	12
3.2.2 Grundvattenbildning	12
3.2.3 Tillrinningsområde och Vattenskyddsområde	13
3.2.4 Grundvattenflöde	13
4 Områdesbeskrivning Gråbodeltat	15
4.1 Lokal geologi och hydrogeologi	15
4.2 Lokala riskkällor	16
4.2.1 Bensinstationer	17
4.2.2 Hårdgjorda ytor	18

4.2.3	Olyckor på Väg 190	19
4.2.4	Aktiviteter på grustäkten	20
4.2.5	Hjällsnäsviken	20
4.2.6	Kolerakyrkogård	21
4.2.7	Avfallsområde	22
4.2.8	Plantskola och jordbruk	23
4.2.9	Industri	24
4.2.10	Avlopp	25
4.2.11	Ökat uttag	26
4.3	Allmänna riskkällor	26
4.3.1	Klimatförändring	26
4.3.2	Kris och krig	27
5	Sårbarhetsanalys	28
5.1	Arbetsgång och Resultat av Sårbarhetsanalys i ArcGIS	28
5.1.1	D - Djup till Grundvattenyta	29
5.1.2	R - Grundvattenbildning	30
5.1.3	A - Akviferens material	31
5.1.4	S - Material i översta delen av omättade zonen	32
5.1.5	T - Topografi	33
5.1.6	I - Omättade zonen material under jordmån	34
5.1.7	C - Hydraulisk konduktivitet	35
5.2	Resultat Sårbarhetsanalys	36
6	Resultat	38

7	Diskussion	40
7.1	Svagheter och förbättringsmöjligheter i utförandet	42
7.2	Hantering av allvarliga föroreningskällor	43
7.3	Sårbarhetskartan och dess innebörd	44
8	Slutsats	45
	Referenser	46
	Appendices	50

1 Inledning

Färskvatten är inte bara ett av samhällets mest viktiga livsmedel, det spelar dessutom en viktig roll för flertalet andra funktioner i samhället. Vid den svenska dricksvattenproduktionen hämtas hälften av råvattnet från ytvattensamlingar och den andra hälften från grundvattenakviferer [1]. Tillgången på grundvatten varierar i olika delar av Sverige. I Västra Götaland har exempelvis tillfälliga varningar för grundvattenbrist utfärdats de senaste åren, något som inte skett överallt i resterande delar av landet [2]. Då färskvatten är så värdefullt försöker kommunerna skydda de färskvattenresurser som existerar. Konsekvenserna av en föroreningshändelse är olika allvarliga beroende på bland annat utsläppets storlek och egenskaper.

För att skydda resurserna inrättas i Sverige vattenskyddsområden. Inrättande av vattenskyddsområden sker med stöd från miljöbalken och det övergripande syftet med de är enligt miljöbalken att försäkra en god vattenkvalitet och säkra råvattentillgångar på lång sikt [3]. Då vattenskyddsområden är förknippade med flertalet restriktioner vad gäller de verksamheter som tillåts ske inom dess gränser görs viktigt förarbete innan gränserna dras. En del av detta förarbete är det som kommer presenteras i denna rapport: en riskbedömning. Målet med riskbedömningen är att skapa en grundläggande förståelse för de föroreningskällor som kan påverka en vattentäkt samt de konsekvenser som dessa för med sig i det fall att ett utsläpp skulle ske.

1.1 Syfte och problemformulering

Syftet med arbetet är att utföra en riskanalys för den grundvattenresurs som påverkas av Gråbo tätort samt kringliggande miljö. Målet med riskanalysen är att identifiera och kartlägga relevanta föroreningskällor. Utöver detta kommer dessa källor utvärderas och den risk de utgör analyseras. I de fall där risken anses för stor presenteras förslag på hur dessa kan mildras för att öka skyddet på grundvattenresursen. Det hot som undersöks är det hot som grundvattenkvaliteten i grundvattenakviferen utsätts för.

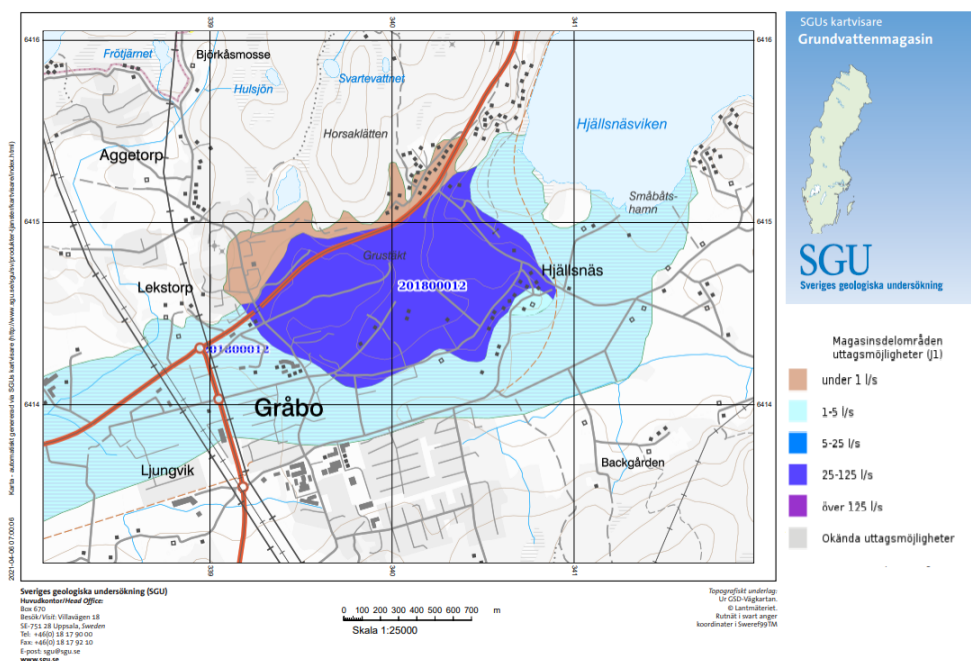
1.2 Avgränsningar

För att uppnå syftet med arbetet görs ett antal avgränsningar relaterade till processer och arbetsgången. Då arbetet fokuserar på Gråbodeltat och det kringliggande området görs en geografisk avgränsning utanför vilken potentiella föroreningskällor inte antas påverka vattenkvaliteten i deltat. Då den sårbarhetsanalys som görs med DRASTIC endast möjliggör analys av en akvifer [4] undersöks endast den centrala råvattentäkten trots att mindre, enskilda vattentäkter, finns i området.

Utöver dessa två geografiska och geologiska avgränsningar görs avgränsningar kring arbetets omfattning. De hot som presenteras och den risk som slutligen tilldelas de olika föroreningskällorna som identifieras i området kommer ej ta hänsyn till hur lätt eller svårt det är att, i ett dricksvattenverk, hantera föroreningarna. Inga detaljerade förslag på åtgärder presenteras för att hantera de identifierade riskerna då arbetets fokus är att bedöma de riskkällor som finns i området.

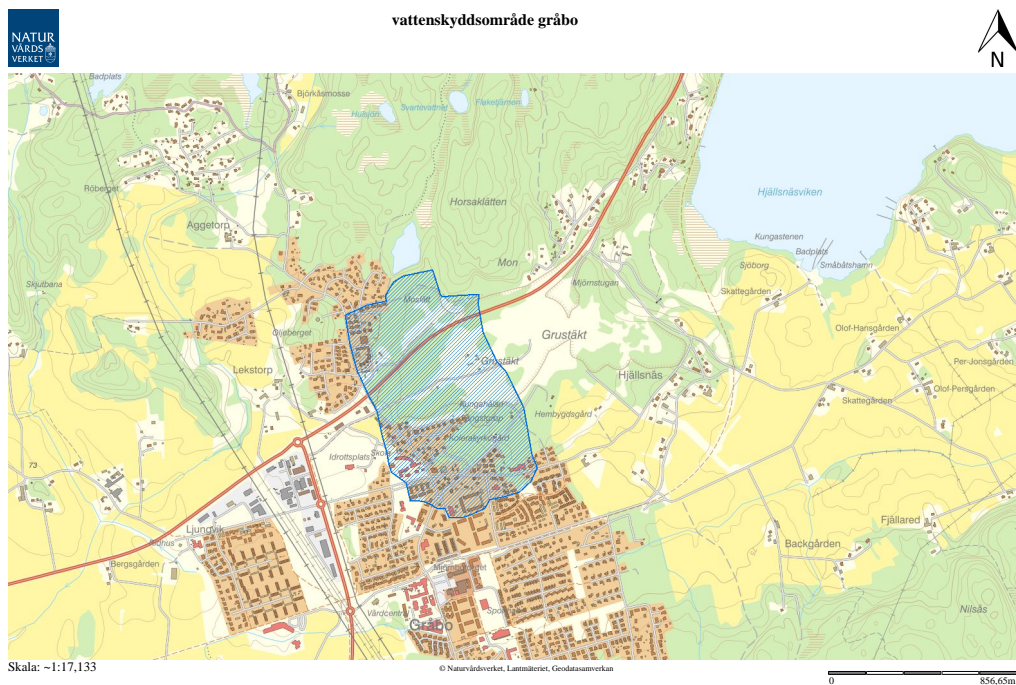
1.3 Bakgrund

I det här arbetet undersöks grundvattenresursen i Gråbo. I Gråbo finns ett isälvsdelta ur vilket råvatten hämtas. I dagsläget försörjer resursen endast tätorten Gråbo med dricksvatten. Området är dock i dagsläget under utredning för att undersöka möjligheterna till ökat uttag för att även försörja områden utanför Lerums kommun. Enligt uppskattningar från Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) kan Lerums kommun i dagsläget hämta 25-125 liter råvatten per sekund från Gråbo vattentäkt, se figur 1. Då vattentäkten i huvudsak befinner sig under en grustäkt bör området, enligt *Vägledning om inrättande och förvaltning av vattenskyddsområden* [5] skyddas genom att inrätta ett vattenskyddsområde. Det befintliga vattenskyddsområdet omfattar i första hand den västra delen av grustäkten och en mindre del av det nordöstliga delarna av Gråbo tätort, se figur 2 [6].



Figur 1: Illustrerar uttagsmöjligheterna i gråboområdet. Hämtad från SGU:s kartvisare, grundvattenmagasin

Uttag görs även från flertalet enskilda brunnar i området som inte har lika stora uttagsmöjligheter. Figur 11 visar en karta från SGU:s kartvisare och illustrerar Gråbo vattentäkt och dess uttagsmöjligheter. Uttagsmöjligheterna är betydligt lägre utanför grustäkten, 1-5 l/s.



Figur 2: Vattenskyddsområde, Gråbo

Värdet av en grundvattenresurs saknar tydlig definition. Enligt rapporten *Värdering av grundvattenresurser* [7] är det en sammanvägning av utvinningsvärden där användning av hushåll, industri och jordbruk ingår, samt in situ-värden där ekologi, rekreation och markstabilitet med flera ingår. Utöver detta bör andra egenskaper så som uttagsmöjligheter, grundvattenbildning, magasinstorlek och läge vägas in i bedömningen om hur värdefull en grundvattenresurs är. En grundvattenresurs med högt värde bidrar således stort till ett områdes färskvattenproduktion, den är viktig för dricksvattentillgången i regionen och har egenskaper som bidrar till att tillgången inte minskar vid kontrollerad användning.

Den existerande resursen i Gråbo ligger i Västra Götaland, några mil nordost om Göteborg, ett område som historiskt sett inte haft ett stort grundvattenöverskott. Akviferen har stora uttagsmöjligheter och den kringliggande miljön bidrar även den med betydande möjligheter till grundvattenuttag. Dess närhet till sjön Mjörn och de kringliggande jordlagerna gör det även möjligt att använda sig av konstgjord infiltration för att effektivisera den naturliga infiltrationen. Isälvsdeltat och grundvattenakvifen som finns i det kan anses vara mycket värdefullt tack vare dessa faktorer. Även den kringliggande grundvattenresursen med lägre uttagsmöjligheter fyller en värdefull roll i Gråboområdets färskvattenproduktion. Den stora nytta som grundvattenreservoaren tillför regionen gör den mycket värdefull och detta är något som tas hänsyn till i den riskanalys som utförs för grundvattenresursen.

1.4 Risk

Risk är ett begrepp som används på flera olika sätt i olika sammanhang och saknar därmed en tydlig definition. Den svenska ordboken definierar begreppet som: möjlighet till negativ utveckling eller negativt resultat [8]. Något som är generellt accepterat är att betrakta risk som en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens. Hur dessa två ingående delar används inom ramen för riskbedömning är dock inte något allmänt vedertaget.

Inom ramen för riskbegreppet används sannolikhet och konsekvens för att skapa en uppfattning om den risk som en händelse utgör. Sannolikhet och konsekvens varierar dock stort beroende på vilket håll risken undersöks från. I den här rapporten behandlas trafikolyckor som en utsläppskälla. Sannolikheten kan då syfta på sannolikheten för att en olycka sker inom området, något som kan antas vara väldigt liten. Eller sannolikheten att det, vid en olycka, sprids farliga ämnen till den närliggande grundvattentäkten. En betydligt mer sannolik händelse. Detsamma gäller konsekvens, en negativ konsekvens för en enskild individ är inte alltid lika allvarlig för samhället trots att den, av individen, kan upplevas extremt allvarlig.

En kvantifiering av sannolikhet och konsekvens är möjlig i vissa fall, exempelvis kan konsekvenser uppskattas med ekonomiska förluster eller förlorade levnadsår. Sannolikheten kan även uppskattas genom att undersöka tidigare händelser och skapa en uppfattning kring hur ofta en specifik händelse inträffar.

Eftersom det inom riskbegreppet inte finns tydliga ramar som gör det möjligt för alla att uppleva risk på samma sätt är det viktigt att när en risk analys görs vikta konsekvenserna i dess omgivning för att skapa en tydlig bild av risken [9]. Begreppet risk måste därför anpassas efter den situation som en undersökning utförs inom. Utöver detta behöver begreppet specificeras för att göra tydligt vem eller vad risken tar hänsyn till. Riskkollegiet menar även att det är vanligt att katastrofscenarier som sker väldigt sällan anses allvarligare än lindrigare konsekvenser med större frekvens. Riskernas konsekvenser och sannolikheter säger dock ingenting om riskernas acceptabilitet. Huruvida en risk anses acceptabel beror enligt Riskkollegiet främst av hur stor nytta den riskabla eller hotade verksamheten bidrar med. En positiv inställning till riskkällan eller den hotade verksamheten förändrar således den accepterade risken. Exemplet de presenterar är alkoholkonsumtion, något samhället accepterar trots att det innebär stora risker för en tidig död.

I det här arbetet utförs en riskanalys för råvattenkvaliteten i en grundvattentäkt. Således kommer sannolikheten ta hänsyn till sannolikheten att ett utsläpp av ämnen som negativt kan påverka grundvattentäkten sker och konsekvensen undersöker negativa effekter på den befintliga råvattenkvaliteten. Då det är många faktorer som ingår in i dessa två begrepp används i det här arbetet även vattentäktens sårbarhet som en bedömningsgrund för de olika riskerkällorna som finns i närområdet. Parametern sårbarhet läggs till för att kunna skilja på sannolikhet för att ett utsläpp sker och sannolikheten att det vid ett utsläpp sprids till grundvattnet. I det här arbetet kommer begreppet sårbarhet betyda sannolikheten att ett utsläpp som inträffar påverkar grundvattentäkten.

2 Metod

Arbetet grundar sig dels i en litteraturstudie kring hur de geologiska förutsättningarna ser ut, både lokalt och regionalt. Dels har den etablerade metoden DRASTIC använts för sårbarhetsklassificering av området genom att arbeta och utvärdera geologisk information från SLU, och till viss del SMHI, i ArcGIS. Resultatet av DRASTIC-analysen, områdets sårbarhet kopplas därefter ihop med bedömningar av sannolikhet till och konsekvens vid eventuellt föroreningsutsläpp. Den slutliga riskanalysen bygger alltså på dessa parametrar och ger en övergripande uppfattning kring de föroreningskällor som finns i området, var i området de finns och hur allvarliga de kan anses vara.

2.1 Övergripande metod för kartläggning och bedömning av riskkällor i Gråboområdet

För att undersöka grundvattenresursen i Gråbo har en litteraturstudie genomförts. En stor del av arbetet är baserat på fakta om regional och lokal geologi samt hydrogeologi. Informationen har hämtats ur böcker, rapporter och kartmaterial. För att identifiera hot och föroreningskällor i området användes främst tidigare utförda riskanalyser inom grundvatten och kartor. För att identifiera ytterligare hot samt för att analysera och dokumentera upptäckta hot och föroreningskällor genomfördes en fältstudie. Inga tester av markförhållanden utfördes på plats. Istället baserades analysen på det material som hämtats från litteraturstudien och de observationer som gjordes under fältstudien. Efter att lokala föroreningskällor kartlagts utfördes en riskbedömning baserat på den insamlade informationen, antaganden och sårbarhetsanalys utförd med hjälp av DRASTIC-metoden. Dessa faktorer vägdes samman i ett poängbaserat system med tre faktorer: sannolikhet till utsläpp, konsekvens och sårbarhet.

En risk beskrivs ofta, som tidigare nämnt i kapitel 1.4, av sannolikheten att en oönskad händelse sker samt en sammanvägning av konsekvensen händelsen leder till. För att genomföra riskbedömning på grundvattenskydd har angreppsättet anpassats och ytterligare begrepp beaktades. De tre parametrarna som används för riskbedömningen är:

- Sannolikhet
- Konsekvens
- Sårbarhet

Dessa poängsätts på en skala från 1 till 5. 1 är det lägsta värdet och innebär att parametern bidrar till en liten eller obefintligt hot. 5 är det högsta och indikerar en mycket hög och allvarlig risk. Utöver dessa tre parametrar kommer värdet av den påverkade grundvattenresursen att tas i beaktning vid riskbedömningen.

Sannolikheten definierades i arbetet som frekvensen av en händelse. De händelserna som arbetet tagit hänsyn till är ett utsläpp sker från en identifierad föroreningskälla. Identifiering av föroreningskällor görs främst med kartmaterial och observationer i området baserat på tidigare skrivna rapporter inom grundvattenskydd. Sårbarheten baserades på en DRASTIC-analys som beskrivs i kapitel 2.2 och kapitel 5. Analysen tog hänsyn till områdets geologiska och hydrogeologiska egenskaper. Data hämtades ner från SLU.se och hanterades i GIS-programmet ArcGis. För parametrar i DRASTIC där data inte finns tillgängligt uppskattades värden med hjälp av kartanalys. Indexet i DRASTIC räknades om till en femgradig skala. Även konsekvens baseras på fempoängskalan och poängfördelningen görs baserad

på inhämtad information om ämnens påverkan på grundvattnet. De olika kriterierna för tilldelning av poäng presenteras i tabell 1. För att ta hänsyn till grundvattnets värde tilldelades en ytterligare poäng om den påverkan som källan innebär främst påverkar den centrala grundvattentäkten. Antas majoriteten av utsläppet inte spridas längre än ensklida vattentäkter i källans närområde, och då inte påverka deltaavlagringen, tilldelas inga poäng med hänsyn till grundvattnets värde.

Poäng	Utsläppsintervall	Sårbarhet	Konsekvens
5	Kontinuerligt	Extremt sårbar	Vattenresursen ur bruk/Svårt skadad
4	1/vecka	Mycket sårbar	Svårhanterligt, Hälsofarligt
3	1/månad	Sårbar	Behöver behandlas/Obehagsorsakande
2	1/år	Något sårbar	Behandling krävs vid större mängder
1	1/ 5 år	Inte sårbar	Ingen konsekvens

Tabell 1: Kriterierna för tilldelning av övriga poängnivåer.

En slutlig bedömning gjordes för varje enskild föroreningskälla där källorna tilldelas poäng baserat på de fyra faktorerna som tidigare presenterats. Poängsumman användes, i samband med en sammanvägning med vattenresursens värde, för att göra en bedömning om huruvida en eller flera delar av området är i behov av skydd. De olika parametrarna ansågs ha olika stor betydelse för den totala risken. I och med detta viktades de olika i beräkningen för den totala riskpoängen. Ekvation 1 nedan användes för att beräkna den totala risksumman.

$$0,2 * Utsläppsintervall + 0,4 * Sårbarhet + 0,4 * Konsekvens + 1 * Värde = Totalriskpoäng \quad (1)$$

Den totala riskpoängen varierar mellan 1 och 6. För föroreningskällor där totalsumman är i spannet 1-3 bedömdes inga åtgärder vara nödvändiga. För 3-5 bedömdes mindre eller framtida åtgärder vara nödvändiga och för 5-6 bedömdes direkta åtgärder vara nödvändiga. Dessa värden användes även för att identifiera de delar av Gråboområdet som är i störst behov av skydd.

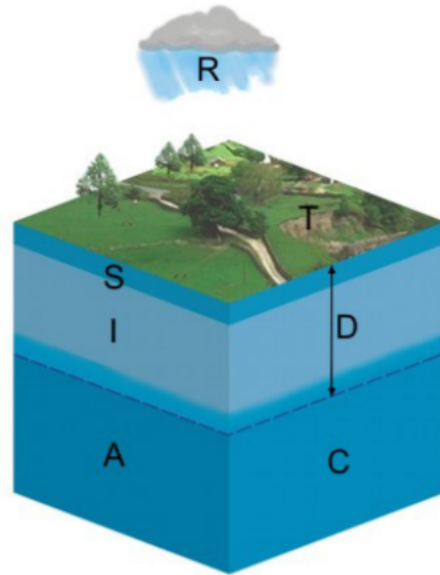
2.2 Bakgrund till sårbarhetsanalys, DRASTIC-metoden

Sårbarhetsklassificeringssystemet DRASTIC har legat till grund för hur sårbarhetskartan har tagits fram. DRASTIC är ett standardiserat klassifikationssystem för kartläggning av grundvattnets sårbarhet för föroreningar [10]. Systemet utvecklades av National Ground Water Association och Environmental Protection Agency (EPA). Systemet initierades av EPA 1987 [11] och baseras på fyra antaganden, (1) förorening når markytan, (2) nederbörd transporterar föroreningen mot grundvattnet, (3) föroreningen följer med vattnet, samt (4) det undersökta området ska vara minst 40 hektar. Denna metod avser att tillhandahålla översiktliga och kvalitativa riktlinjer, vilket betyder att systemet fokuserar på kriterier snarare än på specifika eller unika situationer inom varje område. Liknande system som till exempel RMR-index eller Bartons Q-värde har legat till grund för utvecklingen av DRASTIC och dessa system är väletablerade och vedertagna inom teknisk geologi samt inom bergmekanik [10].

Metoden har utarbetats för två typer av tillämpningar [4]. Dels en generell tillämpning där föroreningarnas egenskaper beaktas översiktligt, men även en mer specifik tillämpning med avseende på bekämpningsmedel och pesticider, vilka främst förekommer inom jordbruket. Målsättningen med DRASTIC-systemet är inte att ge en fullständigt komplett bild av grundvattnets sårbarhet då det inte tar hänsyn till föroreningens egenskaper eller hur de uppkommit i området. Med detta i åtanke bör DRASTIC endast

studeras ur ett hydrogeologiskt perspektiv där föroreningarnas egenskaper är tämligen generella. Metoden är konstruerad så att en akvifer utvärderas i en kartbild för ett område. I de flesta fall är det dock vanligare att flera akviferer förekommer inom samma område vilket betyder att ett beslut måste tas kring vilken akvifer som är av störst intresse. Exempelvis den översta akviferen, som ofta är den mest känsliga, eller den ekonomiskt mest viktiga akviferen. För att klassificera flera akviferer måste flera kartor tas fram över samma område [4]. Systemet är således i första hand avsett för översiktlig kartläggning och kan inte ersätta detaljerade undersökningar. Metoden är ämnad att utgöra ett, bland flera, underlag för planering i grundvattenfrågor.

Systemet är baserat på sju olika hydrogeologiska parametrar för att klassificera hur sårbart eller föroreningskänslig en akvifer är [10]. Figur 3 visar var de sju olika parametrarna verkar. Parametrarna viktas i förhållande till varandra, samt med hänsyn till respektive betydelse för grundvattnets sårbarhet. Ju mer betydelsefull en parameter är, desto högre viktas den. Vid klassificering poängsätts parametrarna, som delas in i intervall (D, R, T och C) eller materialtyper (A, S och I). Med hänsyn till grundvattnets sårbarhet är en låg poäng hos en parameter mer fördelaktigt än en hög. För A och I anges både ett poängintervall samt ett typ-poäng. Det är därmed möjligt för användaren att ändra poängen inom dessa intervall, för ett visst geologiskt material, med hänsyn till variationer i materialets egenskaper [10]. Alltså, ju högre DRASTIC-index ett område får, desto mer sårbart är detta område i förhållande till omgivningen. Indexet är således ett relativt värde och resultaten ska därmed inte ses som ett absolut mått på grundvattnets sårbarhet.



Figur 3: Modell för samtliga parametrar i DRASTIC-metoden och var respektive parameter verkar [12].

- D - Djup till grundvattenytan
- R - Grundvattenbildning
- A - Akviferens material
- S - Jordmån
- T - Topografi
- I - Omättade zonens material
- C - Hydraulisk konduktivitet

Varje parameter tilldelas alltså ett värde mellan 1 och 10 baserat på de lokala förhållandena, där ett högt värde betyder större sårbarhet. För att kunna göra en bedömning av rimliga parametervärden finns det en framtagen standard med stort tolkningsutrymme. Parametrarna viktas även mellan 1 och 5, med hänsyn till deras relativa betydelse för föroreningspotentialen. Respektive parameters viktfaktor och värde multipliceras sedan och indexet beräknas som summan av parametrarnas produkt. Enligt ekvation 2 där W står för vikten och R för betyget.

$$DRASTIC_{index} = \sum P_W P_R = D_W D_R + R_W R_R + A_W A_R + S_W S_R + T_W T_R + I_W I_R + C_W C_R \quad (2)$$

Med hänsyn till parametrarnas relativa betydelse för föroreningspotentialen ser ekvationen ut som följande:

$$DRASTIC_{index} = 5D_R + 4R_R + 3A_R + 2S_R + T_R + 5I_R + 3C_R \quad (3)$$

Att på ett systematiskt sätt kunna kartlägga ett område är väsentligt för att kunna göra ett bra planeringsarbete vid grundvattenfrågor [4]. I dagsläget finns det dock ingen standardiserad, enhetlig metod för att skapa kompletta sårbarhetskartor. Då olika områden har olika behov i kombination med att begreppet risk kan tolkas och definieras på olika sätt gör att det blir komplext att skapa ett system som är konsekvent och applicerbart överallt. Parametrarna i DRASTIC är statiska vilket innebär att de endast beskriver naturliga, hydrogeologiska förhållanden som inte varierar över långa tidsperioder [4]. Därmed bör DRASTIC således endast studeras ur ett hydrogeologiskt perspektiv, med mycket generell hänsyn till föroreningsens egenskaper.

Dock tenderar variationen mellan resultat från olika områden att vara relativt låg [10]. Detta beror antagligen på att DRASTIC-indexet baseras på ett relativt stort antal parametrar. Korrelationen mellan de olika parametrarna minskar även sannolikheten för felbedömningar. Detta under förutsättning att parametrarna har behandlats och utvärderats separat under klassificeringssteget. Det är dessutom viktigt att ha i åtanke att DRASTIC inte har utformats i syfte att ge exakta resultat, utan att metoden snarare ska ses som ett sätt att få en allmän beskrivning av de hydrogeologiska förutsättningarna.

Sorption, flödes hastighet och utspädning är parametrar som kan antas vara väsentliga faktorer vid utvärdering av grundvattens sårbarhet, speciellt i svenska förhållanden [10]. Detta är dock parametrar som inte tas hänsyn till i DRASTIC-systemet i dagsläget och om dessa faktorer hade vägts in i resultatet hade det kunna resultera i ett mer rättvist resultat med högre användbarhet. Så länge resultaten/konsekvenserna av indexet inte är tydliga eller vetenskapligt definierade, kan man inte förvänta sig en bra anpassning till uppmätta data.

2.3 Bakgrund till arbetsgång för sannolikhet & konsekvens

Den metod som användes för att göra sannolikhets och konsekvensbedömningar följer den mall som Räddningsverket, idag Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), presenterar för riskanalys [13]. Arbetsgången de använder är dock generell för alla riskanalyser så ett antal förändringar i metoden gjordes för att se till att den fungerade för att analysera en grundvattenresurs.

Utöver rapporten MSB producerat användes även en riskanalys som Livsmedelsverket utfört för en dricksvattentäkt som underlag. Från dessa rapporter hämtades information om hur konsekvens- och sannolikhetsnivåer ställs upp och de krav som de olika nivåerna bör uppfylla för att tilldelas en specifik sannolikhets- eller konsekvenspoäng. Kraven författarna ställde upp för detta arbete visas i tabell 1, kapitel 2.1.

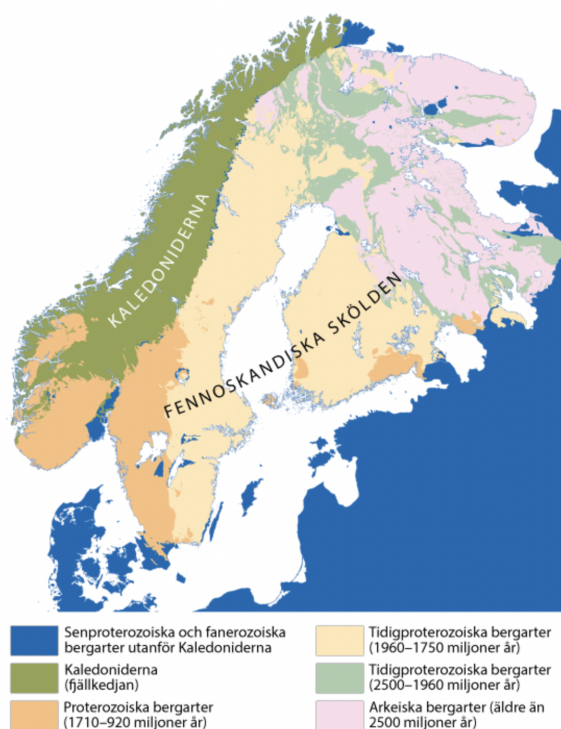
I båda rapporterna önskas expertkunskap kring både sannolikhet och konsekvensbedömningar för att få en så bra uppfattning som möjligt. I de fall där expertkunskap inte är tillgänglig rekommenderas att den grupp som utför arbetet gör rimliga bedömningar kring sannolikheter och konsekvenser. Livsmedelsverket rekommenderar att vid osäkerheter kring sannolikheter bör en pessimistisk bedömning göras utifrån dagens förhållanden [14]. För konsekvens rekommenderas en pessimistisk bedömning endast vid stora osäkerheter. Vid liten osäkerhet rekommenderas den, av gruppen ansedda, mest rimliga konsekvensen vara det som bör undersökas.

3 Sveriges geologi och hydrogeologi

I följande kapitel presenteras delar av den teori som anses vara nödvändig för att läsaren ska förstå hur föroreningar sprids i området genom och på jorden och för att kunna göra en bra sårbarhetsbedömning för området.

3.1 Sveriges berg- och jordarter

Den svenska berggrunden består av tre huvuddelar; urberget, rester av ett sedimentbergartstäckes samt av fjällberggrund, se figur 4. Urberget utgör en del av den Fennoskandiska urbergsskölden och de äldsta bergarterna är arkeiska, alltså mer än 2 500 miljoner år gamla [15]. Dessa arkeiska bergarter återfinns i norra Sverige. De bergarter som dominerar är olika gnesjer och delvis omvandlade djupbergarter. Större delen av Sveriges berggrund består av tidigproterozoiska bergarter och är mellan 2500 – 1750 miljoner år gamla. Detta bildades i samband med den svekokarelska bergskedjebildningen och i detta täcke domineras av djupbergarter, främst granit [15].



Figur 4: Sveriges berggrund. Hämtad från SGU, Sveriges berggrund, 2021-02-18. Återgiven med tillstånd[15].

Ovanpå urberget finns sedimentära bergarter som är yngre och dessa återfinns i stora delar av Skåne, Öland, Gotland, Östgöta- och Närke-slätten, Västgötabergsen och längs fjällranden. De yngsta bergarterna finns i sydligaste och sydvästligaste Skåne och utgörs av bergarter som bildades under den geologiska tidsperioden Tertiär, ungefär 55 miljoner år gamla. Fjällkedjan tillhör den Kaledoniska bergskedjan där även norra Skottland, nordvästra Irland och Nordgrönland ingår. Fjällkedjan är relativt ung och bildades för omkring 510 – 400 miljoner år sedan [16].

Genom jordens historia har ett flertal istider funnits och Sveriges jordarter skapades under den senaste istiden som varade från ca 115 000 – 10 000 år sedan. Under istiden bredde istäcket ut sig över hela Sverige och nådde ända ner till Tyskland när den var som störst. Den senaste istiden tog slut för ca 10 000 år sedan och Sveriges jordarter kan delas in i glaciala och postglaciala jordarter. De glaciala bildades under istiden och de postglaciala bildades efter istiden. Eftersom de bildades vid olika tidpunkter och under olika förhållanden så har de olika egenskaper [17].

Trycket från isen pressade ner marken i jordskorpan på vissa ställen flera hundra meter. När isen sedan drog tillbaka hamnade den nedtryckta marken under havsytan. Högsta kustlinjen är ett begrepp för att beskriva den högsta havsnivån under istiden. Eftersom isen inte var jämn tjock blev trycket inte jämnt och marken trycktes ner olika mycket i olika områden. Efter att inlandsisen smälte bort har landhöjningarna varit olika omfattande för olika delar av landet och detta medför att högsta kustlinjen skiljer sig i landet [18].

Inlandsisen eroderade berg och ombildade äldre jordarter när isen rörde sig över landskapet. Detta resulterade i en jordart som kallas för morän. Moränens karaktär kan skifta beroende på andelen av olika kornfraktioner. Morän består av både finkorniga partiklar och större partiklar. Det finns två olika klasser av morän, yt- och bottenmorän och de bildades precis som namnen antyder på olika platser. Ytmorän bildades av material som transporterades upp på isen eller av material som smält fram i isen. Denna typ av morän är som alla andra moräner osorterad, lösare packad än bottenmoränen och kan sakna de finaste kornfraktionerna. Ligger som ett lager ovanpå bottenmoränen. Bottenmoränen bildades av material som fanns under isen och är mycket mer hårt packat än ytmoränen [18].

När isen smälte bildades mycket smältvatten som antingen rann upp på isen, i eller under isen, där vattnet skapade tunnlar. Dessa tunnlar kallas för isälvar. Isälvarna rann med en mycket hög hastighet och förde med sig material så som sand, grus, sten och även finare material. Vid iskanten minskade strömhastigheten och materialen avsattes. De material som var lättare fördes längre bort än de tyngre materialen [18].

Isen retirerade sakta men stod stilla när klimatet under vissa perioder blev kallare igen. Även om isen stod still fortsatte isälvarna att avsätta material vid iskanten. I de fall där isälvarna mynnade ut i havet bildades isälvsdeltan, en solfjäderformad avlagring. Isälvsdeltan består av tre olika lager, bottenbädd, mittbädd och ytbädd. Där bottenbädd är det äldsta då det avsattes först. I och med uppdelningen av materialen vid mynningen, där lättare material fördes längre bort än tyngre material skapade isälvarna jordarter som är väl sorterade. På detta sätt skapades isälvsdeltan och de jordarter som delat består av [18].

Vid de områden där marken har varit under högsta kustlinjen har vattnet omsorterat jorden. Detta är de jordarter som bildas i det postglaciala skeendet. När vattnet omsorterar jorden följer lättare material med vattnet längre från strandkanten som sorteras på botten medans tyngre material stannar kvar nära strandkanten. Vid och på strandkanten bildas svall och svämsediment. Dessa jordarter innehåller organiskt material. Ovanpå det bildas sedan torv. Torv bildas när vattendrag eller vattenansamlingar växer igen av organiskt material [18].

3.2 Hydrologi & hydrogeologi

Genom att undersöka vattnets kretslopp kan en uppfattning skapas kring hur vattnet i olika faser rör sig genom planetens ekosystem i ett cirkulärt system. Kretsloppet följer vattnets rörelser från nederbörd, till infiltration, till magasinering och vidare till avdunstning och tillbaka till nederbörd. Avsnittet som följer behandlar grundpelarna i hydrologi och hydrogeologi och ger en förståelse för de processer som styr vattens flöde i mark.

3.2.1 Vattenbalansen

Undersöks vattnets kretslopp på en avgränsad geografisk yta används begreppet vattenbalansen. Vattenbalansen undersöker vattenflöden in och ut ur det avgränsade området [19]. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska institut, SMHI, samlar information om vattenbalansen för områden i stora delar av Sverige. De delar in balansen i sex olika faktorer. Dessa är nederbörd, lagring av snö och is, avdunstning och transpiration, lagring av mark- och grundvatten, lagring av ytvatten och utflöde [20]. Vattenbalansen kan beräknas genom formeln nedan. Där P står för nederbörd, R för avrinning, E för avdunstning och dS för magasinförändring [21]. Ingångsvärdet E skrivs ibland ET då det ofta här inräknas transpiration från växter.

$$P = R + E + dS \quad (4)$$

Vattenbalansen för ett område som SMHI delger ger en tydlig bild på hur vatten rör sig i ett område och kan ge en bild av hur grundvattenbildningen ser ut i förhållande till tidigare tidsperioder. Vatten försvinner nämligen inte. Allt vatten som tillkommer till ett område antingen magasineras, evaporerar eller på annat sätt lämnar området och förs vidare till annan plats [21].

3.2.2 Grundvattenbildning

Grundvattenmagasin är en stor del av vattenbalansen då det är ett av de vanligaste sätten som vatten bibehålls i ett område. Vatten magasineras i tre domäner, markvatten, grundvatten samt som snö och is. Markvatten beskrivs av SMHI som ”ett mått på markens fuktighet från markytan ner till grundvattnet” [22] och är således vatten som är bundet till jorden eller endast uppsuget av jorden med samma princip som en tvättsvamp [22]. Det faktum att markvatten endast är en tillfällig magasinering av vatten i jorden gör att vattenmassorna som samlas som markvatten inte är speciellt stora. .

Grundvatten är däremot ett vattenmagasin som kan ha enorma volymer. Grundvatten är vatten som magasineras i sprickor i berggrunden eller i hålrummen mellan jordarters mineralkorn [23]. Stora grundvattenresurser som används av samhället för dricksvattenproduktion kallas grundvattenakviferer.

Grundvattenreservoarernas nivåer varierar beroende på rådande förhållanden för grundvattenbildning, de vattenflöden som sker i marken och uttag av människor. Grundvattenbildningen inträffar vid olika tidpunkter på olika ställen i landet. I de södra delarna av Sverige där vattenmängderna som magasineras i snö och is är relativt små sker grundvattenbildningen löpande i med nederbörden. Magasinets mäktighet ökar under höst och vinter där nederbörden faller som regn större delen av året och under

våren i områden med större magasinering i snö och is. Under sommarmånaderna minskar grundvattenbildningen då växtligheten tar upp stora delar av markvattnet.

All nederbörd blir dock inte grundvatten. Som syns i vattenbalansen avdunstar en del av vattnet innan det når magasinet och en annan del blir avrinningsvattnet som lämnar området innan dess att det nått grundvattenmagasinet ytterligare en del av utflödande vatten är vatten som lämnar grundvattenreservoarer i ytvattendrag. Den del av vattnets kretslopp som främst bidrar till grundvattenbildningen är infiltration. Infiltrationen är en långsam process som främjas av förhållanden som även bidrar till ett områdes uttagskapacitet. Infiltration i områden med finkornigare jordarter där exempelvis lera och silt dominerar bidrar även till att rena vattnet vilket är en faktor till att råvatten hämtat från en grundvattenreservoar anses renare än ytvatten. Denna filtrerande effekt kommer av markens sammansättning. De finare jordarternas kornfraktioner bidrar till ökade kontaktytor mellan jordpartiklar och vattnet och ökar därför den renande effekten men de bidrar även till minskat vattenflöde genom jorden.

Konstgjord infiltration används flitigt i världen där jordarternas egenskaper gör det möjligt att rena stora vattenflöden. Detta är främst områden dominerade av jordarter som grus och sand. I Sverige har metoden använts sedan 1800-talet och anses vara en viktig metod för att öka och bibehålla grundvattennivåer samt att bibehålla god kvalitet i existerande grundvattenreservoarer [24]. Metoden fungerar genom att en bassäng eller dylikt konstrueras vilken fylls med ytvatten som sedan tillåts infiltrera genom de naturliga jordlagren till ett existerande grundvattenmagasin.

3.2.3 Tillrinningsområde och Vattenskyddsområde

Alla grundvattentäkter har ett område från vilket vatten efter en tid tar sig till vattentäkten genom avrinning, infiltration eller en kombination av de två. Detta område kallas för tillrinningsområde och är en viktig parameter att undersöka för grundvattentäktens säkerhet. Inom tillrinningsområdet rör sig vatten som tillkommer området i sinom tid sig ner till vattentäkten. Storleken på tillrinningsområdet är en av de faktorer som styr grundvattenresursens kapacitet. Andra faktorer är exempelvis mäktigheten på mediet den existerar i [5].

Ett stort tillrinningsområde kan dock medföra större risker till vattentäkten eftersom ett större område ofta bidrar med fler föroreningskällor. Av den anledningen inrättas i Sverige ett så kallat vattenskyddsområde kring vattentäkter. Detta område ska inrättas kring allmänna, betydande vattentillgångar med målet att skydda vattentillgången från föroreningar. Vattenskyddsområdet är ofta i liknande storlek som vattenresursens tillrinningsområde men detta gäller inte alltid. Vattenskyddsområdets syfte ligger i att reglera och skydda vattenförekomster för att säkra god vattenkvalitet. De bestämmelser som vattenskyddsområdet för med sig är exempelvis att vissa verksamheter inte får verka fritt på området och att riskkällor som hotar vattentäkten inte ska existera inom området [5].

3.2.4 Grundvattenflöde

Hur vatten rör sig i marken, hur fort det färdas och hur stor det vattenflödet blir är till stor del baserat på kringliggande jordarters hydrauliska konduktivitet. Den hydrauliska konduktiviteten kan beskrivas som jordartens vattengenomsläpplighet [23]. En hög konduktivitet, något som ofta återfinns i grovkornigare jordarter, för med sig hög vattengenomsläpplighet. Finkornigare jordar där jordarter som lera och silt dominerar har ofta låg porositet och då det är en faktor som negativt påverkar den hydrauliska konduktiviteten har områden med finare fraktioner lägre hydraulisk konduktivitet. I ren bergmassa flödar inget vatten [25]. Massan är för tät för att vattenmolekylerna ska kunna transporteras genom

den. Det är dock sällan en bergmassa är sprickfri dock och i dessa sprickor kan stora vattenflöden förekomma.

Den hydrauliska konduktiviteten beskriver hur fort och hur mycket vatten som rör sig i ett jordlager. Anledningen att vattnet rör sig är dock en annan. Som grundkrav krävs att en por ska vara vattenfylld för att vatten ska kunna flöda genom. I stora drag kan man i övrigt säga att grundvattenrörelserna främst beror på tryckjämvikter. Grundvattenströmningen drivs av tryckkrafter, gravitation och adhesionskrafter [21]. Grundvattnet infiltrerar nedåt i jorden pådrivna av gravitationskrafterna och rör sig in i sprickor och hålrum i marken. Strömningen i horisontalled drivs främst av tryckdifferenser i jordlagrens porer där vatten flödar för att balansera tryckskillnaderna [21]. Dessa tryckdifferenser kan exempelvis uppkomma kring brunnar som pumpar vatten från grundvattenakviferer. Beroende på jordlagrets porstorlekar kommer adhesionskrafter ha olika stor påverkan på flödet.

Ämnet vatten har egenskaper som även de påverkar hur lätt det flödar vid vissa markförhållanden. Syftas det enbart på jordens egenskaper används begreppet transmissivitet som de egenskaper som jordmassan har för flöden av material genom den. Detta begrepp innefattar således även gaser och andra vätskor än vatten. Transmissivitet är även det begrepp som beskrivs för att benämna den hydrauliska konduktiviteten i vattenmättad jord. Vid beräkningar är det även detta som värde som oftast används [21].

4 Områdesbeskrivning Gråbodeltat

Elva föroreningskällor identifieras i Gråboområdet. Några är specifika punktkällor där utsläppen sker till marken kring källan medan andra är mer diffusa i deras spridningsmönster. Isälvsdeltat har tidigare varit utsatt för omfattande grustäktsverksamhet [26] vilket kraftigt påverkat området topografi. De mer diffusa är i flera fall aktiviteter som pågår i området på och kring grustäkten där utsläpp sker på den yta där aktiviteten utförs. I kapitlet som följer presenteras den geologiska och hydrogeologiska situationen i Gråbo. Detta för att introducera den grund som sårbarhetsanalysen använder för att identifiera de områden där utsläpp är mest allvarliga. Följt av det presenteras de elva lokala föroreningskällorna med potentiella konsekvenser samt två allmänna faktorer som är viktiga att ta hänsyn till.

4.1 Lokal geologi och hydrogeologi

Tätorten Gråbo tar sitt dricksvatten från isälvsavlagringen Gråbodeltat som ligger mellan samhället och den närliggande sjön Mjörn. De geologiska förutsättningarna för Gråbodeltat har blivit påverkade av tidigare grustäktsverksamhet i området. Området är väl studerat och en bildningsmodell för deltat har tidigare skapats. Avlagringar har skett i flera omgångar under olika nedisningar. De komplexa och massiva avlagringarna har som grund en djup dal i bergstopografin på över 100 meter. Dalen följer Lärjeån från Mjörn i öst-västligt gående riktning [27]. Det mäktiga jordlagret består till stor del av lera, främst i botten men profilen har inslag av lera på fler ställen närmare ytan. Avsättningarna har studerats och delats in i följande lager med tre olika depositionsfasen [27]. Underst i jordlagret och den äldsta jordarten är morän pre isälvsavsättning.

- Första depositionsfasen: Jordlagret som bildades på moränen är ett massivt lager lera som avsattes då isranden låg längre österut. Förhållandet när det lager bildades liknade en fjord. I lagret återfinns friktionsjord som bildades under kortare perioder då förhållandena ändrade på sig, till exempel ökad strömmningshastighet.
- Andra depositionsfasen: När isranden röde sig väster ut och började närma sig avsattes grövre fraktioner som sand och grus. Ett storskaligt isälvsdelta växte fram. Innan den tredje depositionsfasen passerade isranden över området vilket ledde till att de tidigare avsatta jordarterna blev mycket kraftigt ihoppressade.
- Tredje depositionsfasen: På den gamla ytan avsattes sedan mera sand och grus. Dock är det detta material som använts i grustäktsverksamheten men på fåtal ställen går det fortfarande att observera.

Sprickbildningen som skapade den djupa dalen går sedan ut i Mjörn, nordost om Gråbo. Topografin får som resultat av detta en tydlig lutning från nord till syd där området norr om Gråbo ligger på en högre altitud. Det går även en deformationszon genom Gråbo som fortsätter vidare österut mot Mjörn, se bilaga 1.

Söder om grustäkten är glacial lera den mest förekommande jordarten [28], dock finns vissa platser med lager av postglacial sand. På höjderna är jordartsdjupet mycket tunnare och på många ställen existerar det inte alls. Vid Gråbo samt det kuperade området mellan Gråbo och Björnboholm dominerar berggrunden av Tonalit-granodiorit [29]. Skiftningar i berggrunden beror på veckstrukturer i området. Det har därför bildats en smal korridor av granit samt ögongnejs som klyver området från

nord till syd. Korridoren med ögongnejs löper hela vägen från Björnholm genom Gråbo och fortsätter söder om samhället.

De geologiska förutsättningarna skapar en situation där grundvattenflödet tillkommer grundvattentäkten från stora områden. Bergsmassivet Horsaklätten norr om isälvsdeltat ligger som nämnt på en högre nivå än avlagringen. Då det på sina ställen finns berg i dagen och det i övrigt inte existerar mäktiga jordlager i området blir höjden en stor avrinningsyta där vatten i stora volymer rinner ner mot deltat vid nederbördstillfällen. Enligt SGU:s genomsläpplighetskarta, se bilaga 1, har bergsmassivet medelhög genomsläpplighet. Detta tillsammans med den veckstruktur och den stora gångbergart som ur SGU:s bergartskarta [29], se bilaga 2, kan observeras ger uppfattningen om att Horsaklätten och dess bergmassa är mycket sprickig. Dessa sprickor kan bidra till en ytterligare flödesväg för vatten som med gravitationskrafter rör sig från de högre nivåerna ner mot området där grustäkten ligger. Ur genomsläpplighetskartan identifieras även en ytvattenmassa i Moslätt som det genomsläppliga område som grustäkten tillhör har kontakt med. Utsläpp i den kan således bidra till föroreningar av grundvattenresursen.

I väster finns det genom äldre undersökningar presenterade av Lång och Persson [27] framkommit att trots grustäktens kontakt med ytvattnet i Mjörn bidrar vattnet i Mjörn inte till någon påverkan av vattnet i grundvattenresursen. Området söder om grustäkten domineras av mäktiga lerlager med låg genomsläpplighet [30]. Grundvattenbildningen i dessa områden är således väldigt liten och det vatten som tillkommer grundvattentäkten från söder är således till största del ytavrinning men även den kan anses vara försumbar.

Den större delen av samhället Gråbo ligger väster om grustäkten. En del av samhället är dock placerat på det område där vattenuttagsmöjligheterna är som störst, se grundvattenmagasinskartan [31], kapitel 1.3. Inom området finns ett stort antal föroreningskällor och dess geografiska närhet till deltat gör att föroreningar som sprids med vatten lätt kan ta sig till resursen och skapa problem. Avrinning från samhället kommer till stor del från hårdgjorda ytor och byggnader och kan i och med deras geografiska närhet till grundvattentäkten skapa stora bekymmer om föroreningar förs med avrinningsvattnet.

Transmissiviteten i områdena kring grundvattentäkten antas vara höga och området topografiska och geologiska profil bidrar till att skapa ett stort tillrinningsområde. Beroende på spricksituationen i det nordliga bergsmassivet och den hydrauliska konduktiviteten som större delen av det genomsläppliga området har utsätts grundvattenresursen från föroreningskällor inom en stor area ifrån de flesta väderstreck.

4.2 Lokala riskkällor

I Gråbo tätort och det kringliggande området finns flertalet potentiella hot mot grundvattenresursen. Nedan följer ett antal lokala källor som identifierats. De presenterade källorna utgör direkt eller indirekt ett hot mot grundvattnet. De olika aktiviteterna som identifierats anses vara de troligaste källorna till utsläpp som löper risk att påverka grundvattenkvaliteten. Identifiering av källorna utfördes med hjälp av litteratur och kartmaterial samt de observationer som gjordes under den utförda fältstudien.

Av de föroreningskällor som presenteras nedan är det endast ett fåtal som påverkar grundvattentäkten direkt. De allra flesta påverkar indirekt genom att marken där utsläppet sker förorenas. Förorenad mark och i förlängningen de aktiviteter som orsakar problem då grundvattenflöden tar med sig föroreningar när det rör sig genom dessa områden. I och med att det i dagsläget finns ett vattenskyddsområde kring den centrala delen av Gråbos grundvattentäkt förväntas inga förorenande aktiviteter pågå i området. Kartläggningen har därför fokuserat på områden där grund- och ytvattenflöden kan föra med

sig önskade ämnen till vattenresursen. Identifierade riskkällor presenteras i figur 5.



Figur 5: Karta över riskkällor i Gråbo

4.2.1 Bensinstationer

I östra Gråbo finns det två bensinstationer. Stationerna ligger på hårdgjorda ytor och bidrar till områdets bränsleförsörjning. De bidrar dock även till två stora föroreningskällor. En rapport som undersöker bensinstationer i Indonesien beskriver kolväten från råolja som en av de allvarligare grundvattenföroreningarna i landet [32]. Kolväten från råolja eller petroleum hydrocarbons (PAH) är ett samlingsbegrepp som innefattar alla kolväten som finns i råolja. Bland dessa finns flertalet som anses hälsofarliga. Vissa anses till och med cancerogena [33]. Exempel på kolväten som finns i råolja och som anses vara problem är bensen, etylbensen, xylen och toluen [33]. Tillsammans går dessa fyra under samlingsnamnet BTEX.

Utsläpp av BTEX och andra kolväten är inte en ovanlighet från bensinstationer. Det vanligaste sättet att konstruera en bensinstation är att en stor tank placeras under marken. I tanken har man bensen till dess att folk tankar i så stora mängder att den behöver fyllas på. Från tanken går rör i marken upp till där kunder tankar. I alla dessa steg finns risken för betydande utsläpp. Läckage från tank och ledningar kan bidra till kontinuerliga utsläpp. Utöver läckage och spill av kolväten är kemikalier och metaller från andra aktiviteter på bensinstationer så som biltvättar och spill av exempelvis kylarvätska också en utsläppskälla att beakta.

Den största risken med bensinstationer är dock större utsläpp av hälsofarliga kolväten. Myndigheten för skydd och beredskap, MSB, skriver i rapporten *Olje och kemikalieutsläpp i jord* att vid utsläpp

i jord samlas hydrofoba vätskor i aggregat som kan vara mycket stora. Anledningen till detta beteende är att oljeprodukter har några egenskaper som gör att spridningen inte kan likställas med rådande grundvattenflöden. De är, med ett fåtal undantag, lättare än vatten, hydrofoba och har högre viskositet än vatten. Vad detta betyder är att i finkorniga jordar sugs de ej upp [34] utan flödar ofta över jordarten. Den högre viskositeten gör även att oljan är mer trögflytande än vatten och som resultat av detta minskar flödes hastigheterna i finkornigare jordar och faktumet att de är lättare än vatten gör att spridningen på markytan är stor i förhållande till det som tar sig ner i marken [34]. MSB skriver dock i samma rapport att utsläpp av flytande kolväten på grusområden är mycket allvarligt då de, precis som de flesta andra vätskor transporteras fort i det grovkornigare jordlager.

Om bensinstationerna i Gråbo är äldre och slitna ökar sannolikheten för läckage. Vid läckage i tank eller rör skapas ett kontinuerligt föroreningsflöde. I och med stationernas läge i centrala Gråbo är det vid ett eventuellt utsläpp väldigt kort eller ingen sträcka alls till den grustäkt som grundvattenresursen befinner sig i. Således kan det antas att vid utsläpp kommer grundvattentäkten att påverkas i någon grad beroende på utsläppets storlek.

Bensinstationerna bedöms i två olika scenarion, ett med kontinuerligt läckage och ett katastrofsscenario. Scenariot med kontinuerligt läckage bedöms utsläpps-poängen till 5 och konsekvens-poängen 5. I det andra scenariot bedöms utsläpps-poängen till 1 och konsekvens-poängen till 5. Inget av scenarierna anses påverka Gråbodeltats grundvattenresurs i första hand och de tilldelas därmed inget värdepöäng.

4.2.2 Hårdgjorda ytor

Dagvattenföroreningar som uppstår som resultat av avrinning från hårdgjorda ytor kommer i många olika former. Hårdgjorda ytor är ytor där vatten inte kan infiltrera [35]. Naturvårdsverket presenterar ett flertal av de vanligaste föroreningarna i en rapport titulerad Föroreningar i Dagvatten och nämner då bland andra halkbekämpning, vägbeläggning, avgaser, takmaterial och olika sorters plåt som används vid byggnation. När nederbörd rinner av dessa hårda ytor för det rinnande vattnet med sig stora ansamlingar av föroreningar.

Enligt Svenskt vatten [36] är många av de vanligaste dagvattenföroreningarna metaller. Koppar, zink och bly är några med flertalet källor. En av de mer allvarliga föroreningarna som släpps ut kontinuerligt är PAH:er. Polycykliska aromatiska kolväten som presenteras tidigare i rapporten i kapitel 4.2.1. Ett utsläpp av PAH i grundvatten kan slå ut en vattentäkt under lång tid. Exempelvis hittades PAH i dricksvattnet i Uppsala under våren 2021 [37]. Situationen resulterade i att området inte kunde använda kranvattnet under ett antal veckor. PAH återfinns som tidigare nämnt i ofullständigt förbränd råolja men de återfinns även i bitumen. Ett ämne som används vid tillverkning av asfaltsmassa och i vissa takbeklädnader [38]. I Sverige är dock de största utsläppskällorna av PAH:er trafik och privat vedeldning [39].

Spridningen av dagvattnet sker främst med gravitationen som drivkraft. Där det inte finns konstruerade dagvattenlösningar samlas det på lågt liggande ytor och infiltreras sedan ner i marken. Vanliga ytor där betydande infiltration sker är exempelvis vägrenar där avrinning från vägen direkt får kontakt med icke hårdlagd jord. I tätorter finns stora hårdgjorda ytor och så är även fallet i Gråbo. Då trafik är den största utsläppskällan för dagvattenföroreningar och trafikmängderna inne i samhället inte är speciellt stora förväntas större delen av de föroreningar som kommer från dagvattenavrinning att komma från väg 190. Väg 190 är farleden till och igenom Gråbo. Den passerar rakt över grustäkten så föroreningar från delar av vägen har direkt kontakt med jordmaterial med hög transmissivitet. Detta kan antas betyda att ett föroreningsutsläpp på eller i nära kontakt till väg 190 löper stor risk att få kontakt med grundvattnet i Gråbos vattentäkt.

I rapporten *Metod för bedömning av betydande påverkan i grundvattnen* [40] tas vanliga utsläpp från trafik och den lokala geologiska situationen för just Gråboområdet upp för att undersöka väg 190 i och med dess närhet till grustakten. I kombination med uppgifter rapporten hämtat från Trafikverket presenterar de att väg 190 har en betydande påverkan på grundvattnet i Gråbos vattentäkt. Utöver utsläpp av PAH:er från olyckor eller ofullständig förbränning presenterar de väg och däckslitage samt de föroreningar som sprids via dagvattenavrinning, exempelvis klorid och sulfat från halkbekämpning.

Utifrån ovanstående information tilldelas hårdgjorda ytor utsläpps-poängen 4 och konsekvenspoängen 3. Inget värdepoäng tilldelas eftersom källan inte bedöms påverka vattenresursen i deltat primärt.

4.2.3 Olyckor på Väg 190

Trafik utgör som tidigare nämnt ett stort hot för omkringliggande vattenmiljöer. Spill och läckage från transporter med farligt gods utgör den största akuta risken. Konsekvenserna om en olycka sker varierar kraftigt då de beror på den specifika olyckans händelseförlopp samt inblandade fordon [41]. Tidigare nämnda PAH:er finns i stora mängder i vanliga drivmedel och risken vid olycka är bland annat att dessa släpps ut. Därmed kan även transporter som inte klassas som farligt gods få förödande konsekvenser om utsläpp från dessa sprids till en vattentäkt. På grund av det stora antalet variabla förutsättningar på svenska vägar är miljökonsekvenserna till följd av olyckor mycket svåra att beräkna eller förutse. Närhet till skyddsvärda vattendrag eller naturmiljöer, singel- eller flerfordonsolyckor samt typ av fordon är några olika förutsättningar som kan används för att förutse eventuella konsekvenser. År 1999 skedde totalt över 8700 trafikolyckor så allvarliga att de krävde insatser från räddningstjänsten [41]. Enligt statistik från 1998 transporterades cirka 16 miljoner ton farligt gods med lastbil i Sverige, där brandfarliga vätskor utgjorde den största andelen. Till farligt gods hör även komprimerade, kondenserade eller lösta gaser under tryck, samt frätande och oxiderande ämnen.

Som tidigare nämnt är det transporter av farligt gods som har störst potential till allvarligare miljökonsekvenser, speciellt i anslutning till känslig naturmiljö. Även ett mindre utsläpp av exempelvis oljeprodukter kan få mycket omfattande konsekvenser på lokal nivå och i dessa fall krävs tidskrävande och omfattande saneringsarbeten för att kunna reparera området. Vidare kan utsläpp av gas, i synnerhet komprimerad gas leda till både akut förgiftning i det berörda området, även brand eller explosioner. Vid en flerfordonsolycka kan kombinationen av flera reaktiva ämnen få stora konsekvenser och leda till oförutsedda miljökonsekvenser.

Påföljderna av dessa typer av utsläpp kan således vara många och varierande men utrotning av biologiskt liv i till exempel vattendrag är en möjlig konsekvens. Spridning av frätande eller giftiga ämnen påverkar mark och vatten och kan till exempel påverka eller helt utrota biologiskt liv i exempelvis vattendrag. Även processer i vattenverk kan påverkas vilket i sin tur kan påverka dricksvattenkvaliteten och därmed utgöra en hälsorisk.

Vägar som skär igenom vattenskyddsområden eller särskilt känsliga områden kräver att utformning av vägar och vägbank konstrueras för att ge extra skydd i händelse av olycka. Stora delar av det svenska vägnätet är dock gammalt och därmed inte dimensionerat efter dessa säkerhetskrav. Övriga åtgärder är att begränsa transporter med särskilt farligt gods på vägar genom känslig natur. Även lagkrav kring hur transporten av farligt gods ska gå till är ett exempel på förebyggande insatser.

Olyckor Väg 190 tilldelas baserat på bakgrunden ovan utsläpps-poäng 1 och konsekvenspoäng 5. Värdepoäng tilldelas eftersom källan bedöms påverka deltats grundvattenresurs i första hand.

4.2.4 Aktiviteter på grustäkten

Trots att den grustäktsverksamhet som funnits på platsen inte är aktiv idag betyder det inte att det stora grusområdet som finns och den utgrävning som blivit står oanvänd. Under fältstudien observerades planerade vandringsleder och frisbeegolfbanor i det centrala grusområdet. Dessa är i sig inte farliga och de aktiviteter som tillåts på området utgör inte några hot.



Figur 6: Observerade motorcykelspår på grustäkten

Dock så observerades flertalet spår av motorcyklar och andra motordrivna fordon i och kring den centrala grustäkten, se figur 5. Detta trots de flertalet skyltar som förbjuder sådana aktiviteter. Nöjesåkande av motorcyklar kan bidra med samma konsekvenser som vanlig vägtrafik. Sannolikheten till utsläpp av kemikalier och ofullständigt förbrända kolväten är stor. De utsläpp som inträffar är inte i samma storleksordning som om en olycka skulle inträffa med en person- eller lastbil men i och med att utsläppen sker på så nära grundvattenresursen är det stor sannolikhet att resursen, vid ett utsläpp, påverkas.

Utifrån ovanstående information bedöms riskfyllda aktiviteter på grustäkten ha utsläpps-poängen 2 och konsekvenspoängen 4. Värdepoäng tilldelas eftersom källan bedöms främst påverka vattenresursen i grustäkten.

4.2.5 Hjällsnäsviken

Sjön Mjörn som avgränsar grundvattentäkten i öst är en stor insjö med ett stort tillrinningsområde. Sjöns stora yta och de många kringliggande tätorterna, däribland Alingsås, bidrar till att sannolikheten att sjön är föroreningspåverkad i någon grad är stor. I Hjällsnäsviken, den del av sjön som den undersökta vattenresursen gränsar till finns en småbåtshamn och en badplats. Småbåtshamnen för med sig risker i form av kemikalier som används vid båtskötsel och utsläpp från båtmotorer både i drift och eventuella läckage. Genom badplatsen kan det också vara så att mikroplaster, kväve, fosfor

och övrigt skräp tar sig ner i sjön. Kväve och fosfor bidrar främst till problem för ytvattentäkter genom eutrofiering men mikroplaster har visat sig påverka akvatiskt djurliv negativt. Effekterna av mänskligt intag är idag inte fastställda [42].

Föroreningarna från både badplats och småbåtshamn är dock starkt beroende av vattenflödet mellan Mjörn och grundvattentäkten för att eventuellt påverka grundvattnet, detsamma gäller föroreningar som tillkommit Mjörn från dess tillrinningsområde. Faktumet att detta beroende på vattenutbyte mellan sjön och vattenresursen finns är dock vad som gör att sannolikheten att en spridning sker från dessa källor är låg. Enligt en rapport publicerad av SGU, skriven av Lång och Persson (2011) täcks grundvattenakviferen i ost av tätande lerlager vilket, tillsammans med de topografiska förhållandena, bidrar till att sannolikheten att vatten tillkommer grundvattentäkten från sjön är låg. Således är sannolikheten låg att de föroreningskällor som är beroende av detta utbyte för att påverka grundvattnet.

Delar av de kemikalier som exempelvis bottenmålning av en båt bidrar till släpps dock inte ut i vattnet. Enligt Havs och Vattenmyndigheten [43] sker 20 procent av utsläppen på land när båten tas upp för vinterförvaring. Detta utsläpp är inte i samma grad beroende av vattenutbyte mellan sjö och vattentäkt utan kan spridas med infiltrerad nederbörd, avrinning och grundvattenströmmar.

Baserat på informationen som presenterats bedöms Hjällsnäsviken ha utsläpps-poängen 1 och konsekvenspoängen 2. Inget värdepoäng tilldelas eftersom källan inte bedöms påverka Gråbodeltats grundvattenresurs i första hand.

4.2.6 Kolerakyrkogård

I centrala Gråbo, precis som i många andra tätorter ligger en kyrkogård. Kyrkogården i Gråbo ligger dock på ett sådant avstånd att den inte utgör något hot. Något liknande i Gråbo som kan utgöra ett hot är en så kallad kolerakyrkogård, en plats där människor som dog i kolera begravdes. Den etablerades i samband med koleraepidemin på 1800-talet. Kolerakyrkogården ligger en ytterst kort sträcka från den centrala grustäkt där vattenresursen finns och dess närhet utgör ökad risk. Under fältstudien observerades dock att det är en stor höjdskillnad mellan botten på grustäkten och den yta där kolerakyrkogården är anlagd. Något som tack vare markens renande egenskaper minskar det hot som kyrkogården annars tillförde.

När den mänskliga kroppen dekomponeras i jorden släpps en rad ämnen ut i den kringliggande marken. I takt med att kroppen ruttnar utsöndras vätska som för med sig alla de mikroorganismer som lever i och på mänskliga kroppar [44]. Exempel på mikroorganismer som släpps ut är *Escherichia coli*, *Streptococcus faecalis* med flera. Dessa kan om de kommer i kontakt med grundvatten bidra till exempelvis sjukdomsutbrott bland konsumenter. Stora delar av de bakterier och virus som en mänsklig kropp släpper ifrån sig efter döden filtreras dock effektivt bort av kringliggande jordlager. Enligt World Health Organisation, WHO, adsorberas större delen av föroreningarna i de översta jordlagren men den del av utsläppet som passerar dessa lager kan transporteras längre sträckor [44].

En dekomponerande kropp kan även bidra med av utsläpp metaller, läkemedel och mikroplaster. I en undersökning som utförts i Australien presenteras att grundvatten under och kring nyanlagda gravar uppvisat högre konduktivitet än vattnet i närliggande område [44]. Utöver dessa fann undersökningen ökade nivåer av klor, nitrat, ammonium magnesium, potassium och järn i grundvatten nära gravarna. Samma egenskaper hittades i grundvatten längre bort från gravplatsen i grundvattenflödets riktning.

För att minska spridningen av föroreningar rekommenderat att botten på gravarna är över grundvattennivån. Även om detta tas i beaktning finns risken att infiltrerande nederbörd bidrar till spridningen. I

och med att kolerakyrkogården i Gråbo är placerad på grustäkten underlättas spridningen med grundvattenflöden på grund av grustäktens höga transmissivitet. Dock så är sträckan vattnet behöver flöda vertikalt stort och gravarna är högt över dagens grundvattennivå. De flesta föroreningar som släpps ut är naturliga ämnen som i stora mängder kan bidra till sjukdomsspridning och obehag. Något att ta i beaktning vid en riskanalys av dagens vattentäkt i Gråbo är dock att även om gravarna låg på en sådan nivå att när de gjordes var under grundvattennivån bör inte de kroppar som begravdes här under koleraepidemin för 200 år sedan bidra till stora utsläpp idag.

Utifrån ovanstående information bedöms kyrkogården till utsläppsöäng 4 och konsekvensöäng 1. Värdeöäng tilldelas eftersom källan bedöms främst påverka grundvattenresursen i deltat.

4.2.7 Avfallsområde

Att ta hand om människors avfall är ett viktigt steg i att minska miljöpåverkan och så sent som 2020 gjordes ändringar i avfallslagstiftningen [45]. Allt mer av avfallet sorteras och återvinns på återvinningsstationer och enligt Avfall Sverige åkte ca 37 000 ton av totalt 4,8 miljoner ton avfall till en deponi 2019 [46].

I Gråbo finns tre återvinningsstationer som tar hand om hushållens avfall så som kartonger, tidningar, glas- och metallförpackningar. Mer miljöfarliga saker så som bilbatterier eller större avfall så som vitvaror lämnas till återvinningscentralen Hultet [47] som ligger en bit nordväst om Lerum och inte i närheten av Gråbo. Detta gör att avfallets påverkan på vattentäkten i Gråbo begränsas.

Med hjälp av EBH-kartan[48], en karta producerad av länsstyrelserna som visar potentiellt förorenade områden i Sverige, identifierades en vattenmassa norr om Gråbo som en eventuell föroreningskälla. EBH-kartan klassar den lilla sjön som en deponi. Sjön ligger i direkt kontakt med det grusområde där grundvattenresursen förekommer. Utöver detta ligger vattenmassan på högre höjd och således kan föroreningar med hjälp av gravitationen färdas genom de genomsläppliga grus och sandlagren till grundvattenresursen eller via sprickor i Horsaklättens berggrund. Under fältstudien observerades flertalet skräpföremål i och kring sjön. Bland annat en ståltunna med petroleumföretaget Shells logotype, se figur 7.



Figur 7: Ståltunna från petroleumföretaget Shell som ligger slängd i naturen

Avfallsområden delas upp i två underkategorier, dels industrideponisjön och sedan vanliga återvinningsplatser med tidningar, kartonger och så vidare. Utifrån tillgänglig information tilldelas industrideponisjön utsläppspoäng 5 och konsekvenspoäng 5. Även värdepoäng tilldelas eftersom källan bedöms påverka Gråbodeltats vattenresurs i första hand. De vanliga avfallsområdena bedöms ha utsläppspoängen 4 och konsekvenspoängen 2. Inget värdepoäng tilldelas för dessa.

4.2.8 Plantskola och jordbruk

Ytterligare en betydande miljöpåverkan kommer från en plantskola i området då dess användning av bekämpningsmedel och andra miljögifter utgör ett hot mot den lokala miljön i området. Bekämpningsmedel delas normalt in i två kategorier; växtskyddsmedel eller biocidprodukter. För att skydda växter och växtprodukter inom skogs-, jord- och trädgårdsbruk används i huvudsak växtskyddsmedel. Dessutom används det på idrottsplatser och i vägrenar. Produkter som används mot skadliga organismer som exempelvis desinfektionsmedel eller bekämpningsmedel mot insekter hör till biocidprodukter [49]. Vid äldre plantskolor är vanliga föroreningar i grundvatten organiska bekämpningsmedel men också höga halter av metaller som arsenik, bly och kvicksilver [50]. I grundvattnet vid plantskolor har även utsläpp av PAH bevisats som är hälsofarliga [51].

VISS, Vatteninformationssystem Sverige, har klassificerat plantskolan i Gråbo som en föroreningskälla med betydande påverkan. Då plantskolan i området använder sig av bekämpningsmedel i relativt stor mängd på ett relativt litet område utgör detta en punktkälla [52]. Föroreningarna sprids främst genom dagvattenflöden men även genom lufttransporter som kan vara långväga och gränsöverskridande [49].

I Gråboområdet finns även stora jordbruksytor. En del av jordbruket utförs endast en kort sträcka

från grustäkten. Precis som plantskolan använder sig jordbruket av kemikalier för att bekämpa skadedjur. Utöver bekämpningsmedel använder även jordbruket sig av gödsel i stora mängder. Både bekämpningsmedel och gödsel kan bidra till negativ grundvattenpåverkan genom läckage av ämnen. Gödsel genom att mängden nitrat och fosfor ökar i vattnet och bekämpningsmedel genom då det kan vara både miljö och hälsofarligt. Läckage sker främst via vattenströmmar i eller ovan mark vid nederbördstillfällen men bekämpningsmedel har som tidigare nämnt visats spridas luftburet långa sträckor för att sedan påverka miljön via nederbörd. Den jordbruksmark som finns kring Gråbodeltat är utbredd över en stor del av området och är på några ställen endast meter från grustäkten. Dock så är jordbruksmarken närmast grustäkten på en betydligt högre nivå än den befintliga grundvattentytan men jordbruksmarken är delvis på den genomsläppliga grustäkt som grundvattnet befinner sig i och påverkan kan därför inte uteslutas.

Plantskolan tilldelas utsläppspoäng 3 och konsekvenspoäng 5 baserat på den tillgängliga informationen. Värdepoäng tilldelas plantskolan eftersom källan bedöms påverka Gråbodeltats vattenresurs i första hand. Jordbruken bedöms ha utsläppspoäng 4 och konsekvenspoäng 3. Inget värdepoäng tilldelas då större delen av jordbruksmarken inte primärt påverkar Gråbodeltat.

4.2.9 Industri

Påverkan från industrier varierar beroende på vad för verksamheter som verkar i Gråbo. De verksamheter som använder produkter såsom lösningsmedel, petroleum och andra kemikalier i sitt arbete utgör en risk för vattentäkten eftersom dessa ämnen kan via dagvattnet förorena marken runtomkring vilket sedan via grundvattnet kan påverka vattentäkten [53]. Därför blir det viktigt att hantera dagvattnet från dessa verksamheter så att det genomgår en reningsprocess innan vattnet släpps ut i naturen.

Från EBH-kartan observerades flertalet potentiellt förorenade områden längs med Gråbo industriväg. Kartan presenterar verksamheter som tillverkar tvätt och rengöringsprodukter, flertalet verkstadsindustrier både med och utan halogenerande lösningsmedel samt en bilvårdsanläggning. Utöver dessa finns längs gatan en av de två bensinmackor som tidigare nämnts samt med biltvättsmöjligheter. Dessutom observerades under fältstudien en oberoende biltvätt där uppsamlingen av vatten och kemikalier vid tvätt är otillräcklig då skum och vatten syntes rinna iväg från de uppsamlingsbrunnar som finns installerade, se figur 8. I centrala Gråbo observerades även en kemptvätt som anses potentiellt förorenande. Utsläpp av lösnings- och tvättmedel till kringliggande mark kan här bidra till att dessa kommer i kontakt med grundvattnet då kemptvätten är placerad på det kring grustäkten existerande sandområde.



Figur 8: Biltvätt där dagvattensystemet inte tar upp allt vatten som används

Industriområdet bidrar även det med utsläpp av kemikalier från de aktiviteter som pågår i området. Spridningen sker här främst med ytavrinning via dagvattenflöden. Dock så är området placerat en längre sträcka från grusområdet på ett lager av lera. Lerlagret betyder mindre infiltration och ökad ytavrinning. Detta i kombination med att vattnet utöver denna ytavrinning behöver färdas en betydande sträcka under marken gör att risken som området utgör inte är lika stor som det kunde varit på annat plats.

Gråbo industriområde tilldelas utsläppspoäng 3 och konsekvenspoäng 3. Då området inte anses främst påverka grundvattenresursen i delat tilldelas ingen värdepöäng.

4.2.10 Avlopp

Gråbos avloppssystem är ett duplikatsystem vilket innebär att dagvattnet och spillvattnet är skilda från varandra. Detta minskar risken för bräddning vid kraftiga skyfall. I övrig finns det inte något reningsverk i Gråbo utan spillvattnet skickas till Gryaab i Göteborg [54]. Läckage från avloppsledningarna till recipienter kan leda till att kväve- och fosforhalterna blir förhöjda och mikrobiologin påverkas. Bräddning innebär att orenat avloppsvatten släpps ut i närmsta recipient då vattenmängderna blir för stora för avloppssystemet att hantera.

Huruvida det finns läckage eller inte beror helt på hur gamla och vilket skick som ledningarna är i. Om ledningarna är gamla så ökar risken för läckage och om träd eller buskar växer ovanför där ledningarna sträcker sig finns det en ökad risk för rotinträningar vilket leder till läckage. Vid restaureringer finns generellt en ökad risk för att ledningarna är i dåligt skick eftersom de är verksamheter som släpper ut mycket fett i avloppet och om det inte finns fettavskiljare så kommer fett att fastna på väggarna och bilda svavelväte som i sin tur bildar svavelsyra [55]. Svavelsyran fräter sedan sönder betong- och metalledningarna och leder till läckage och även risk för kollaps av ledningarna. Om ledningarna istället är nylagda eller renoverade så minskar risken för läckage och risken för förhöjda värden av kväve och fosfor minskar. Utöver kväve och fosfor förekommer det även utsläpp av kemikalier och

läkemedelsrester.

I brunnsarkivet syns ett flertal enskilda brunnar och då kan det även antas att det finns ett flertal enskilda avlopp i Gråbo. Enskilda avlopp kan vara ett problem eftersom skötslen av avloppsanläggningen sköts av fastighetsägaren och inte kommunen. När skötslen ligger hos fastighetsägaren är det lätt att den eftersätts.

Utifrån ovanstående information bedöms avlopp till utsläppsöng 5 och konsekvensöng 2. Inget värdepoäng tilldelas.

4.2.11 Ökat uttag

För att Göteborg inte ska behöva vara beroende av Göta älv som huvudvattentäkt anses Gråbodeltat vara ett bra alternativ som kan hjälpa till med försörjningen av vatten i det fall att intaget vid Göta älv stängs. Men efter många års användning som grustäkt är isälvsavlagringen inte lika stor som den varit [26]. Dock anses Gråbodeltat i flera utredningar vara en prioriterad vattenresurs där infiltration från den närliggande sjön Mjörn ska kunna möjliggöra ett större uttag från vattentäkten. Historiskt sett har resonemang funnits gällande uttags möjligheter på 1000 l/s men på grund av omfattande grustäktsverksamhet är den verkliga uttagskapaciteten oklar och det planeras ett antal testanläggningar med uttagskapacitet på 120 l/s [26].

Då flödes hastigheten för grundvatten drivs av bland annat tryckdifferanser leder ett utökat uttag till ökade tryckkrafter som innebär att det blir en ökning av tillflöde till uttagspunkten från omgivningen runt omkring vilket leder till att uppehållstiden i marken minskar och flödes hastigheterna ökar. Detta påverkar markens nedbrytningsegenskaper av föroreningar negativt. Ett sätt att hantera detta är med hjälp av konstgjord infiltration med vatten från Mjörn. Denna ökade grundvattenbildning skulle motverka tryckdifferanserna och förhindra att uppehållstiden ändras.

Det är troligt att ett beslut om ökat uttag tas med antagandet det sker i samband med konstgjord infiltration. Detta då en ökad grundvattenbildning krävs för att bibehålla en god grundvattenkvantitet i deltat i och med de ökade uttagen. Vad detta innebär är att föroreningarna i Hjällsnäsviken, där vattnet för den konstgjorda infiltrationen med största sannolikhet kommer hämtas ifrån, blir relevanta att undersöka.

4.3 Allmänna riskkällor

Utöver de lokala föroreningskällorna som identifierats i Gråbo finns det några faktorer som behöver beaktas i alla delar av landet. Dessa är således inte något som specifikt identifierats i Gråbo. Den påverkan dessa mer diffusa källor har är generell över landet och varierar endast i deras samverkan med egenskaperna som finns i ett specifikt område.

4.3.1 Klimatförändring

Runt om i världen sker klimatförändringar och i Sverige kommer det antagligen betyda ett mildare och blötare klimat med perioder av torka. Det kommer mer regn och under vinterhalvåret kommer snön

antagligen lysa med sin frånvaro. De senaste åren har flera kommuner fått utlysa bevattningsstopp under sommaren på grund av sinade grundvattennivåer. De låga grundvattennivåerna är en följd av en period av torra samt att snön inte faller under vinterhalvåret och fyller på grundvattenmagasinen under våren. Även om det kommer regna mer varje nederbördstillfälle hjälper det inte eftersom marken bara kan ta till vara en viss mängd vatten innan den mättsas.

För storskalig grundvattenbildning krävs således en kontinuerlig påfyllning under hela året. Då vattnet efter stora nederbördstillfällen och längre torra har svårare att infiltrera i marken och transporteras istället en längre sträcka på via ytavrinning vilket gör att föroreningar som följer med vattnet kommer att koncentreras där vattnet samlas i lågt liggande områden. I marken är det många processer som påverkas av att det kommer regna mer. Med ökade vattenflöden påverkas uppehållstider, infiltrationen i marken vilket påverkar kvaliteten på grundvattnet då nedbrytningsprocesser i marken inte hinner bryta ner föroreningar som följer med vattnet.

4.3.2 Kris och krig

Vatten är ett väldigt viktigt livsmedel och i en proposition från regeringen 2005/06:128 står det ”Dricksvattnet har en unik förmåga att sprida smitta och förgiftning och kan därigenom antas kunna bli särskilt utsatt för sabotage och skadegörelse”. Anläggningar för vattenförsörjning anses vara skyddsobjekt enligt Skyddslagen 2010:305 och detta ska förhoppningsvis skydda mot sabotage och terrorism [56]. Under fältbesöket upptäcktes att det finns många promenadstråk på vattentäkten och samt i dess omedelbara närhet. Det gör det lätt för eventuella sabotörer att skada vattentäkten så här borde det finnas ett bättre skydd runt vattentäkten. Vid eventuella krig kan Sveriges vattenanläggningar vara särskilda mål som fienden vill slå ut eftersom det är ett snabbt sätt att slå till och påverkar en stor del av befolkningen och även jordbruket. Gråbo försörjer i dagsläget inte någon större stad direkt men skulle kanske kunna hjälpa såväl som Alingsås som Göteborg om deras anläggningar slås ut.

5 Sårbarhetsanalys

De jordlager som ligger ovanför grundvattenytan har en filtrerande effekt, vilket betyder att grundvattnet i allmänhet är skyddat från föroreningar [4]. Jordarter som sand och grus har stor genomsläpplighet medan exempelvis lera är en jordart med betydligt lägre genomsläpplighetsförmåga. En förorening måste således ha möjlighet att transporteras ner genom dessa lager för att grundvattnet ska bli kontaminerat. Transporten av föroreningar kan antas bestå av två delar, en del som beskriver grundvattnets rörelse och transport av lösta ämnen och en del som beskriver den mängd förorening som till slut når grundvattnet [4].

Så kallade in- eller utströmningsområden spelar också en betydande roll kring en förorenings möjlighet till att nå grundvattnet [21]. Om en förorening sker inom ett inströmningsområde tränger den kontaminerade vattenströmningen ner i marken och därefter vidare mot närmsta vattendrag eller sjö, även kallat recipient. Dessutom kommer en förorening snabbare komma i kontakt med recipienten i områden där grundvattenytan ligger ytligt. I områden där grundvattenytan ligger på ett större djup tar det således längre tid innan föroreningen kan kontaminera vattnet och därmed spridas vidare. I dessa fall ökar dock risken att stora jordmassor förorenas vilket kan leda till stora och omfattande mark- och schaktningsarbeten. Både mark och grundvatten är alltså mycket sårbara för föroreningar vid inströmningsområden. Förorening vid utströmningsområden däremot kommer aldrig att tränga ner i marken då grundvattenflödet är uppåtriktat och därmed trycker tillbaka föroreningen. Det betyder att föroreningen leds bort till närmsta vattendrag eller sjö med det ytavrinnande vattnet. I utströmningsområden kommer det således vara ytvattnet som är mest sårbart för föroreningspåverkan [21]. Sammanfattningsvis påverkas alltså både mark, grundvatten samt det ytavrinnande vattnet vid händelse av förorening, detta arbete fokuserar dock endast på hur grundvattnet påverkas.

5.1 Arbetsgång och Resultat av Sårbarhetsanalys i ArcGIS

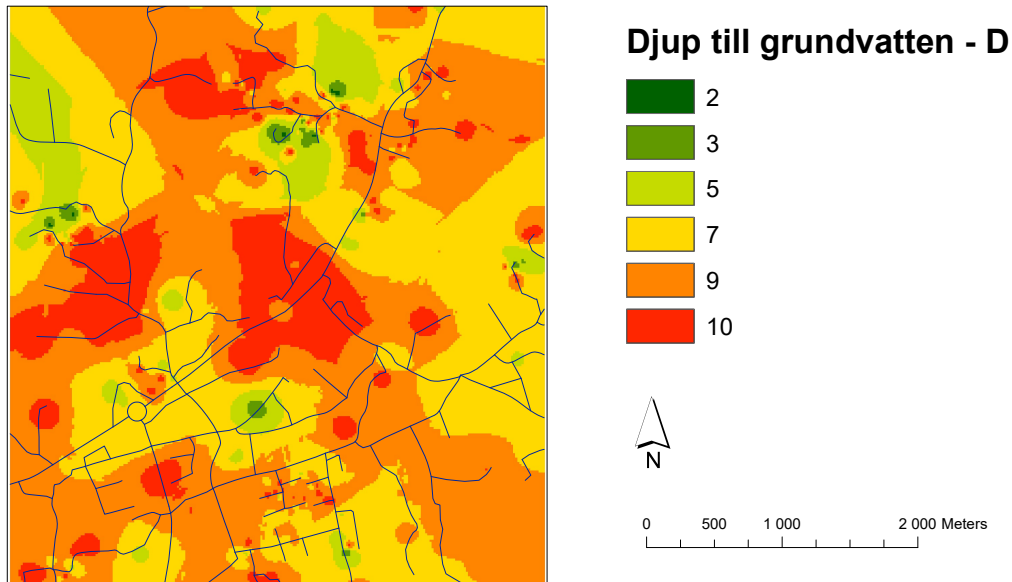
ArcGIS är ett geografiskt informationssystem för hantering, sammanställning och presentation av geografiska data [57]. Konceptet kommer från ESRI Inc i USA och den svenska distributören av programvaran är ESRI Sverige AB. I programmet kan geografisk information kartläggas och analyseras för att få en förståelse för trender och mönster i det undersökta området [57]. I detta arbete har ArcGIS använts som en del i sårbarhetsanalysen över Gråboområdet. Med hjälp av programmet har data som kan kopplas till parametrarna i DRASTIC-metoden sammanställts och analyserats för att i kombination med ingenjörsmässiga antaganden och beräkningar framställa ett DRASTIC-index över områdets sårbarhet. Genom att studera parametrarna i DRASTIC närmare gjordes en bedömning kring vilka data som skulle kunna vara relevanta för kartläggningen. I tabell 2 redovisas vilka data som hämtats från SLU och använts i ArcGIS [58].

Tabell 2: Data från SLU [58] till ArcGIS.

Ortofoto	Ortofoto 4 band 0.40 m 2019 (tif)
Höjddata	Höjddata, grid 2+ 2019 (shp)
Grundvatten, från brunnar	Grundvatten 1:1 miljon 2020 (shp)
Väggkarta	Väggkartan 2020 (shp)
Berggrund	Berggrund 1:50 000-1:250 000 2019
Jordarter	Jordarter 1:25 000-1:100 000 2020 (shp)
Jordlagerföljd	Jordlagerföljder 2020 (shp)

5.1.1 D - Djup till Grundvattenyta

Inom det studerade området återfinns i huvudsak två akviferer. Som tidigare nämnts är DRASTIC-metoden utformad så att den endast går att applicera på en akvifer i taget per område. Därmed har den mest betydande akviferen i området valts ut för vidare kartläggning. Valet gjordes baserat på de identifierade akviferernas storlek och uttagsmöjligheter där den valda akviferen har större magasinkapacitet och större uttagsmöjlighet. För att beräkna djupet till grundvattenytan, alltså värdet för D i ekvationen för DRASTIC-metoden, användes data från Brunnarkivet från SLU [58]. I förhållanden där grundvattenytan ligger på ett stort djup är sårbarheten lägre eftersom det tar lång tid för föroreningar att sprida sig. Således är sårbarheten större vid förhållanden då grundvattenytan ligger nära markytan. Figur 9 visar hur djupet till grundvattenytan varierar över det givna området där stort djup representeras i grönt och lågt djup i rött. Djupet till grundvattenytan är en förhållandevis betydande parameter i beräkningen av ett områdes sårbarhet och därmed har denna parameter värde 5 i ekvationen för DRASTIC.



Figur 9: Djup till grundvattenytan

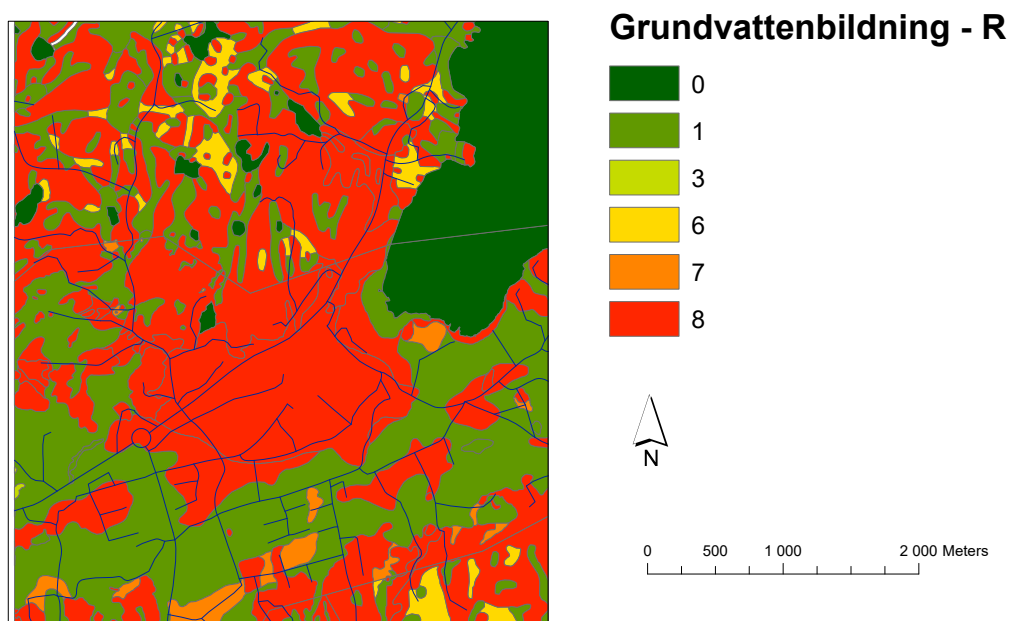
Betygsättningen bygger på en skala i tio steg som mäter djupet i fot. Enheten har översatts från fot till meter som en del i att anpassa metoden till svenska förhållanden. Tabell 3 visar hur djupet till grundvattenytan korrelerar till betyget [4].

Tabell 3: Visar hur djup till grundvattennivån korrelerar med betygsalan

Djup till Grundvattennivå [m]	Betyg
0-1,5	10
1,5-4,5	9
4,5-9	7
9-15	5
15-23	3
23-30	2
>30	1

5.1.2 R - Grundvattenbildning

Mängden grundvatten som bildas i akviferen är lika med den totala mängd vatten som går igenom marken genom infiltration och perkolerar ner till akviferen. Således är denna parameter i huvudsak beroende av markens jordart där jordarter med större kornstorlek, som exempelvis isälvsediment eller postglacial sand, har större infiltrationskapacitet och jordarter med mindre kornstorlek som exempelvis torv och lera har högre förmåga att binda vatten och därmed har lägre infiltrationskapacitet [21]. Figur 10 visar hur grundvattenbildningen ser ut över området.



Figur 10: Grundvattenbildning

Betygsättningen baserades på standardiserade värden, se tabell 4. Även här har en översättning gjort

för att anpassa metoden till svenska förhållanden [4]. Parametern i sig har vikt 4, vilket betyder att även denna parameter har relativt stor inverkan på hur sårbart ett område är.

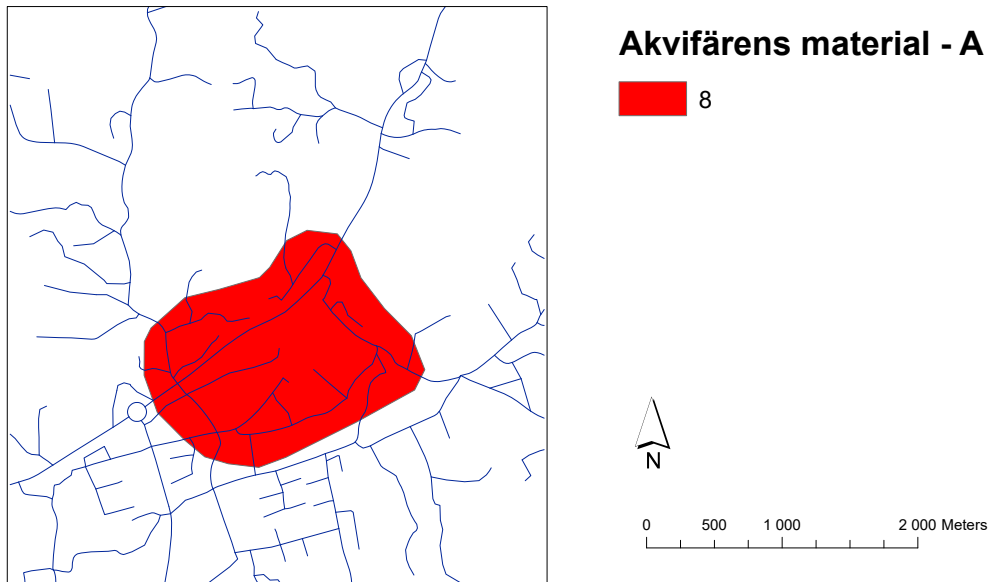
Tabell 4: Tabell över standardiserade värden för de aktuella jordarterna, översatt till svenska förhållanden.

Grundvattenbildning	
Typ av material	Betyg
Urberg	8
Isälvssediment	8
Glacial lera	1
Torv	1
Grus	8
Postglacial sand	8
Sandig morän	7
Morän	6

Grundvattenbildningen i ett område är även starkt beroende av hur mycket nederbörd som faller. Data över årsmedelnederbörd hämtades från SMHI, [59] och värdet för det undersökta området antas ligga någonstans mellan 900–1000 millimeter per år, se bilaga 3. Nederbörden har dock antagits som konstant över hela Gråboområdet vilket betyder att informationen om årsmedelnederbörd inte resulterar i några förändringar i sig.

5.1.3 A - Akviferens material

Parametern bygger på det konsoliderande eller okonsoliderande berg som utgör akviferen, där stor kornstorlek innebär högre permeabilitet. Ett högpermeabelt material innebär en högre risk då en förorening lättare kan sprida sig. Den aktuella akviferens material består till största del av isälvssediment vilket har tilldelats betyget 8 och parametern i sig har vikt 3 enligt ekvationen för DRASTIC, se figur 11. Således har en förenkling av verkligheten gjorts då akviferens material har antagits som homogent för hela den undersökta akviferen. Det är fortsatt den största akviferen i området som undersöks, enligt argument som tidigare redogjorts.



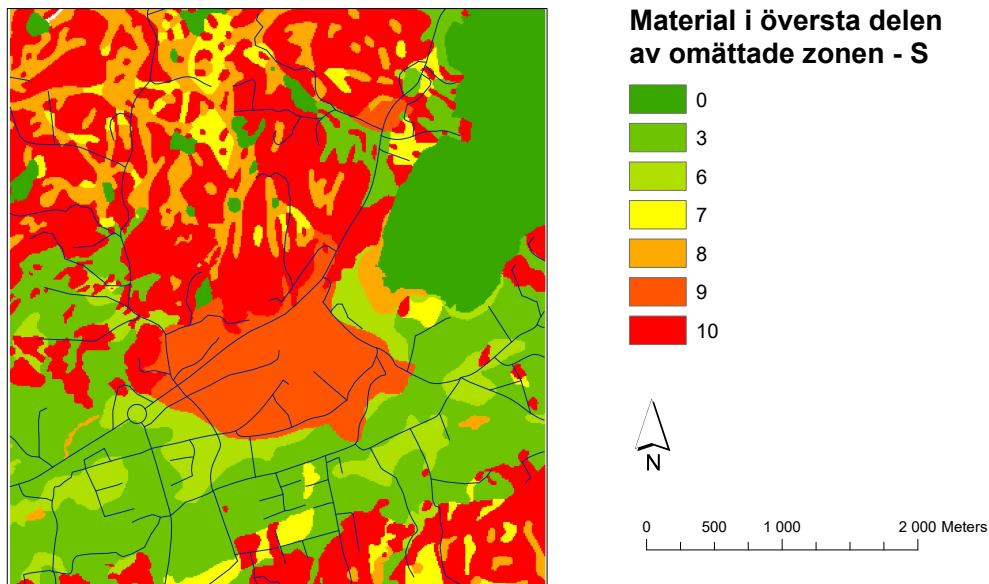
Figur 11: Akviferens material

5.1.4 S - Material i översta delen av omättade zonen

För att bedöma materialet i den översta delen av den omättade zonen har jordartskartan från SLU använts som underlag [58]. Då DRASTIC-metoden baseras på amerikanska geologiska förhållanden har en översättning gjorts till motsvarande svenska förhållanden för att kunna göra en betygsättning av de jordarter som är aktuella för området i Gråbo. Klassificeringen och översättningen har därmed omarbetats med hänsyn till kornstorlek, se figur 12. I tabell 5 presenteras den svenska klassificeringen ihop med dess betyg samt de engelska termer som har legat till grund för översättningen [4].

Tabell 5: Klassificeringen har baserats på standardiserade värden.

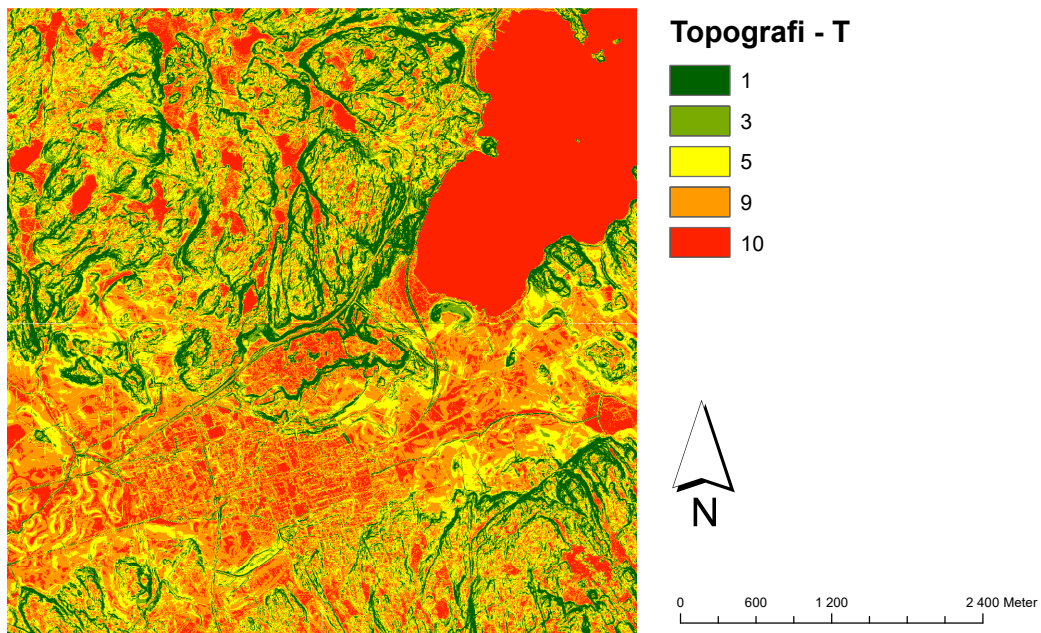
Typ av material	Översättning	Betyg
Urberg	Metamorphic/Igneous	10
Isälvs sediment	Sand and gravel	9
Glacial lera	Silt/clay	3
Torv (mosse-, torv-)	Peat	8
Postglacial sand	Sand and gravel with clay/silt	6
Sandig morän	-	7
Silt	-	4
Finsand	-	5



Figur 12: Material i översta delen av omätnade zonen

5.1.5 T - Topografi

För att utreda topografin i området har markytans lutning kartlagts i ArcGIS med hjälp av höjddata från SLU [58]. Lutningen har klassificerats i olika delintervall 0–2 % , 2–6 % , 6–12 % , 12–18 % samt 18 % lutning eller mer [4]. Varje delintervall har därefter givits värdena 10, 9, 5, 3 och 1. Således är alltså en liten procentuell marklutning den som är mest kritisk och brantare områden mindre kritiska i hänsyn till hur sårbar marken är för kontaminering, se figur 13. Vidare är denna parameter den som har minst inverkan på DRASTIC-indexet totalt sett då den har vikt 1 i ekvation 2.



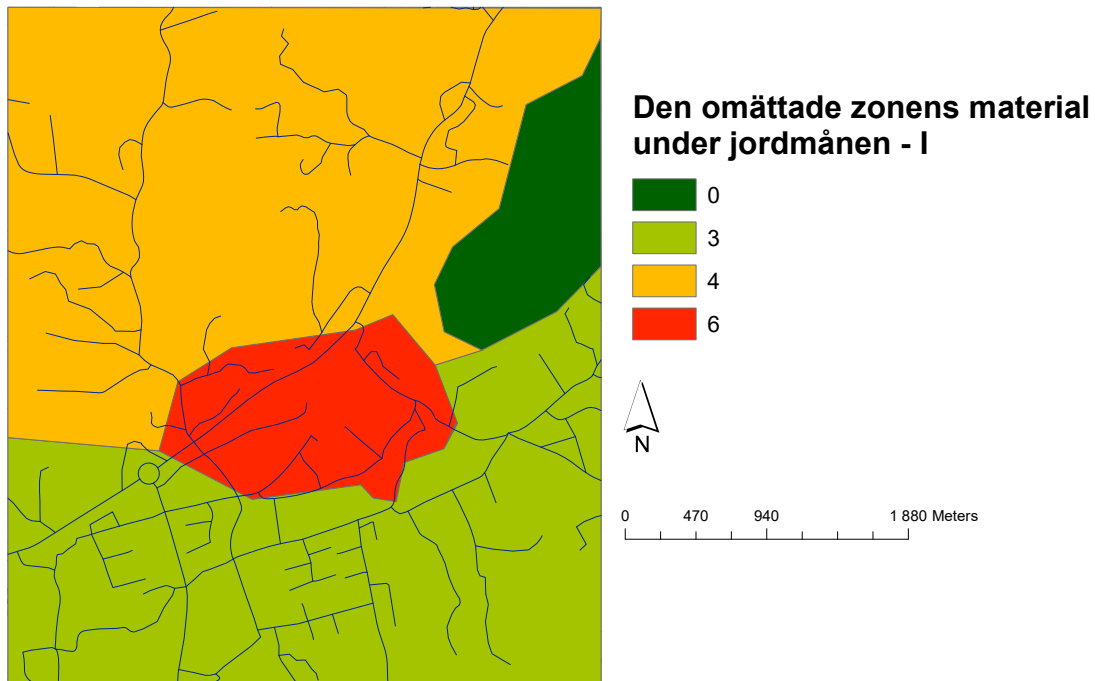
Figur 13: Topografi

Tabell 6: Tabell för hur markens topografi korrelerar med betygskalan

Topografi	
Lutning [%]	Betyg
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1

5.1.6 I - Omättade zonen material under jordmån

Denna parameter följer samma resonemang som för parametern för akviferens material. För att bestämma denna parameter antas alltså att större kornstorlek och sprickbildningar i materialet leder till högre sårbarhet för grundvattnet se figur 14. Egenskaperna hos materialet i den omättade zonen antas främst ha betydelse för fördröjning men även nedbrytning av det potentiella utsläppet. [4]. Tabell 7 visar de tilldelade betygen för respektive material, som återigen har översatts från engelska för att anpassas till svenska förhållanden.



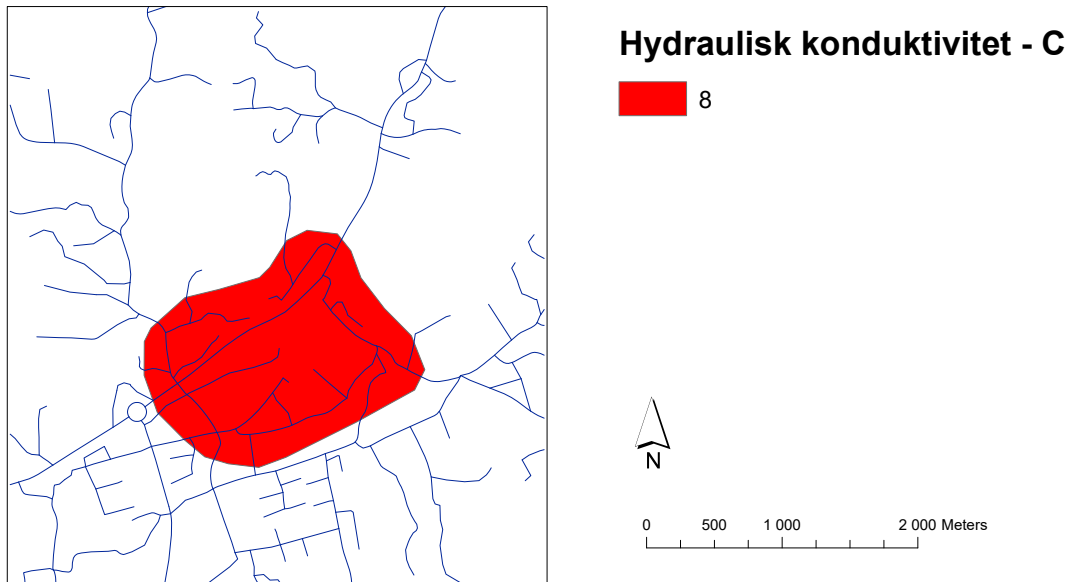
Figur 14: Den omättade zonen material under jordmånen

Tabell 7: Tabell över hur materialet i översta delen av omättade zonen korrelerar med den standardiserade betygskalet

Omättade zonen material	
Typ av material	Betyg
Sand	8
Grus	8
Morän	8
Isälvsediment	6
Torv	3
Silt	3
Tunt jordtäckte över berg	4

5.1.7 C - Hydraulisk konduktivitet

Denna parameter baseras på den flödes hastighet som vattnet har genom akviferen. Hög hydraulisk konduktivitet antas ge större förutsättningar för ett eventuellt farligt utsläpp att spridas över ett stort område. Akviferens material antas genomgående bestå av isälvs sediment och baserat på kornstorlek, som antas ha stor inverkan på ett materials hydrauliska konduktivitetsförmåga, har detta material tilldelats betyg 8, se figur 15.



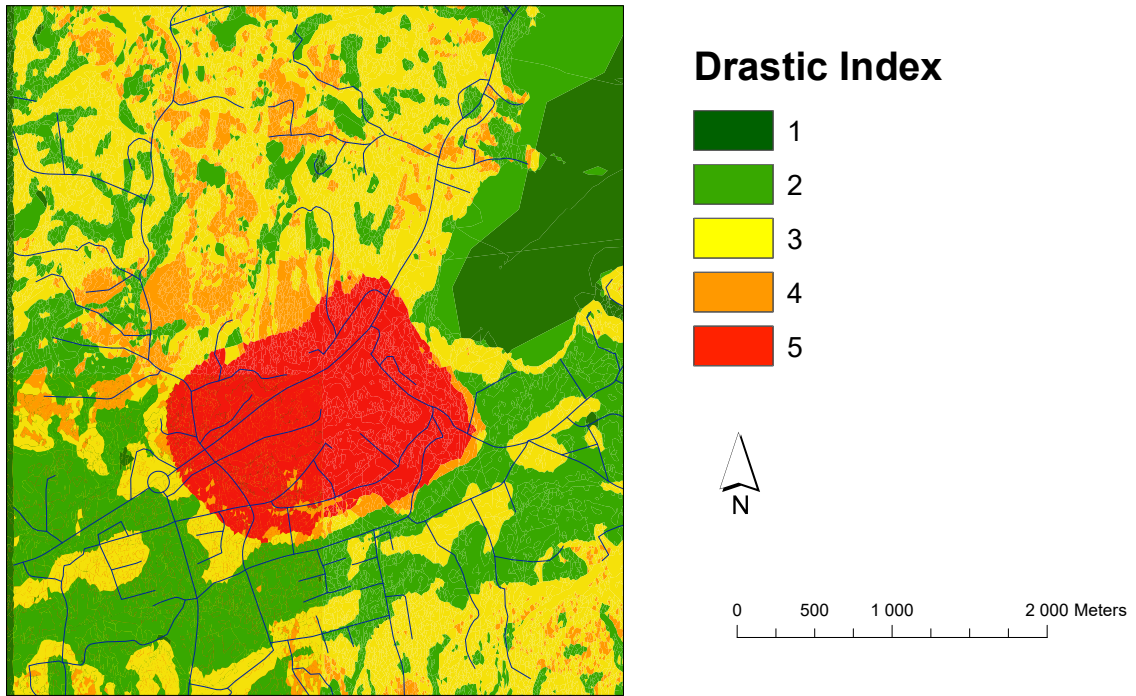
Figur 15: Hydraulisk konduktivitet

5.2 Resultat Sårbarhetsanalys

Det slutliga värdet för områdets sårbarhet har beräknats genom att multiplicera varje kartbild med sin respektive parametervik enligt ekvation 2. Därefter har varje kartbild lagts ihop och poängskalan har normaliserats till en femgradig skala för att få den slutliga kartbilden över hur sårbarheten ser ut över Gråbodeltat. Index fördelades enligt tabell 8. Det röda området är alltså det område som visat sig mest sårbart för föroreningar. Genom att jämföra med jordartkartan från SGU:s kartvisare kan slutsats dras att det mest sårbara området enligt DRASTIC-metoden korrelerar med området som motsvaras av gråbodeltat. Stora delar av området norr om isälvsdeltat, som omfattar Horsaklätten, är enligt analysen också mycket sårbart. Den södra delen av det studerade området är minst sårbar då det massiva lagret av lera skyddar

Tabell 8: Tabell över hur DRASTIC-index korrelerar med betygskala.

Poängskala	DRASTIC Index
0-59	1
60-89	2
90-119	3
120-149	4
150-	5



Figur 16: Slutgiltigt DRASTIC-index.

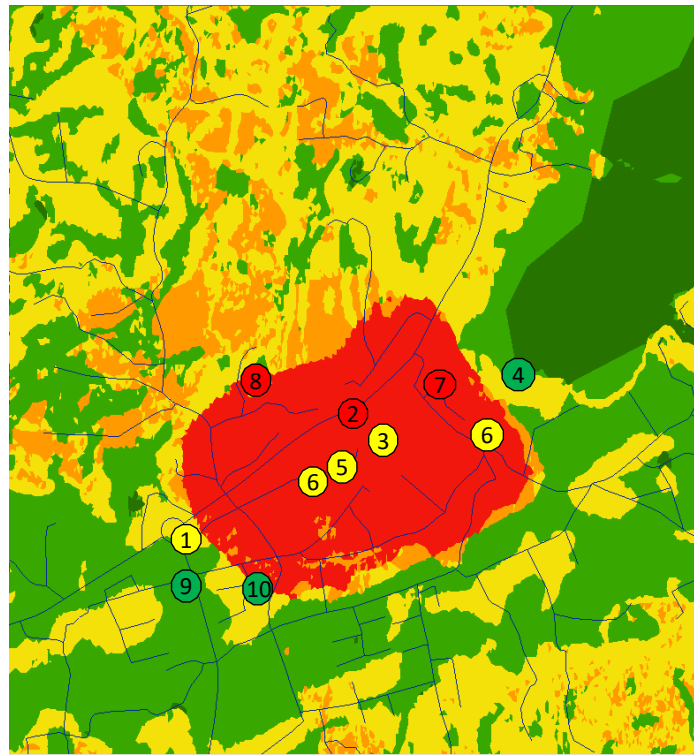
6 Resultat

Det sammantagna resultatet för områdets sårbarhet fås genom att kombinera sårbarhetsanalysen med utsläppsintervall samt konsekvens för respektive föroreningskälla eller område. Den totala riskpoängen för respektive område är fördelad 1-6 och beräknas enligt ekvation 2, se tabell 8. Värdefaktorn går till max 1 och baseras sannolikheten att utsläppets fokus blir på gråbodeltat eller ej. Industrideponisjön, plantskolan och vägen är de områden som utgör störst risk för grundvattnet och är därmed de mest allvarliga källorna. Diskussion kring dessa källor samt möjliga åtgärder presenteras i kapitel 7.

Tabell 9: Resultat av slutbedömning, total riskpoäng beräknad med ekvation 2.

	Utsläppsintervall	Sårbarhet	Konsekvens	Värde	Total riskpoäng
Industrideponisjön	5	5	4	1	5,6
Plantskola	3	5	4	1	5,2
Väg 190	1	5	5	1	5,2
Aktiviteter på grustakten	2	5	4	1	4,8
Bensinstationer, läckage	5	3	5	0	4,2
Kolerakyrkogården	4	5	1	1	4,2
Avfallsområden	4	5	2	0	3,6
Bensinstationer, katastrofscenari	1	3	5	0	3,4
Hårdgjorda ytor	4	3	3	0	3,2
Jordbruk	4	3	3	0	3,2
Kemtvätt	3	3	3	0	3
Avlopp	5	3	2	0	3
Industriområde	3	1	3	0	2,2
Hjällsnäsviken	1	1	2	0	1,4

De undersökta föroreningskällorna är numrerade och färgkodade med hänsyn till hur stort åtgärdsbehov varje källa anses inneha, se figur 17. Röd markering innebär att åtgärder anses nödvändiga, gul markering, mindre eller framtida åtgärder nödvändiga och grön markering innebär att det inte finns något åtgärdsbehov.



- 1 Bensinstationer
- 2 Väg 190
- 3 Aktivitet på grustäkt
- 4 Hjällsnäsviken
- 5 Kolerakyrkogård
- 6 Avfallsområden
- 7 Plantskola
- 8 Industrideponisjö
- 9 Industri
- 10 Kemtvätt

Figur 17: Samtliga undersökta riskkällor utplacerade på sårberhetskartan över Gråbodeltat

7 Diskussion

I tabell 4, kapitel 6 redovisas de poäng som tilldelades de identifierade riskkällorna. Baserat på poängen framgår att industrideponisjön norr om grusslätten, plantskolan öster om grusslätten och olyckor på väg 190 som korsar grusslätten får högst riskpoäng och är således, enligt författarna, de mest allvarliga riskkällorna i närområdet. Värdena för de sex riskkällor med högst riskpoäng varierar för parametrarna utsläppsintervall och konsekvens. Dock så ligger alla utom bensinstationen inom det mest allvarliga området i sårbarhetssynpunkt och dessa har också tilldelats en ytterligare riskpoäng för att det största hotet källan för med sig riktas mot isälvsdeltat.

Kring den allvarligaste föroreningskällan, industrideponisjön, råder det flera osäkerheter, både gällande spridningsmöjligheter och sjövattnets faktiska kvalitet. DRASTIC-analysen tar hänsyn till dess läge och de spridningsmöjligheter som kan ske till akvifären både genom jordlagren och eventuella sprickor i berggrunden. De tilldelade poängen har utgått från att sjön är förorenad och att föroreningarna, redan i kontakt med vatten, kontinuerligt flödar ner till grustäkten. Spridning av tungmetaller, kemikalier och eventuellt PAH:er, med hänsyn till den observerade oljetunnan, gör att den tilldelades konsekvensnivå 4.

De andra avfallsdepåerna i området tilldelas 3.6 i total riskpoäng jämfört med sjöns 5.2. Skillnaden är att utsläppsintervallen från dessa inte är kontinuerliga. Spridningarna till grundvattnet sker när ytvatten kommer i kontakt med avfallet. Av den anledningen antogs den största delen av spridningen ske under nederbördstillfällena som i Västra Götalandsområdet kan tänkas ske minst en gång i veckan sett över hela året. Utöver det råder mindre osäkerheter kring de utsläpp som sker från dessa och konsekvensen är därför betydligt lägre.

Fler föroreningskällor antas ha utsläppsintervall koncentrerat kring regntillfällena. Som tidigare nämnt tilldelades avfallsområdena utsläppsintervallpoäng 4. Detsamma gäller hårdgjorda ytor, jordbruk och kolerakyrkogården. Spridningen från hårdgjorda ytor sker främst med dagvattnet som blir vid nederbördstillfällena och för kolerakyrkogården förväntas den betydande delen av utsläppen med nederbörd som infiltreras på kyrkogårdens område. Angående jordbruk anses den största spridningen ske vid nederbördstillfällena.

Flera hårdgjorda ytor finns inom det mest sårbara området men då den större delen av de ligger utanför den högst sårbarhetsklassade zonen tilldelas de endast sårbarhetspoäng 3 i tabellen. Dock så kan det argumenteras för en högre sårbarhetsklass, speciellt gällande den hårdgjorda yta som utgör väg 190. Av samma anledning tilldelas jordbruksmarken sårbarhetsvärdet 3 trots att det finns jordbruksmark i det sårbara området. Detta antagande är även vad som gör att de två källorna inte tilldelas någon värdepoäng och slutar på en totalpoäng på 3,2.

Avlopp är ytterligare en källa där en del av eventuella föroreningar kan ske i grustäktområdet men den större delen av utsläppen förväntas ske i mindre sårbara områden. Antaganden kring avloppens totalpoäng är att läckage i rör bidrar till kontinuerliga utsläpp av bakterier, fosfor och kväve. En förorening som i större mängder kan behöva hanteras från samma område som jordbruk och hårdgjorda ytor ger avloppen en total riskpoäng på 3,0.

De källor som tilldelats en värdepoäng ligger utan undantag i det mest sårbara området. Att dessa källor främst påverkar Gråbodeltat antas säkert. De föroreningskällor som utgör den lägre halvan av tabell 2 är de källor som inte tilldelats en poäng och ligger i mindre sårbara områden. Utsläppen från dessa källor påverkar främst marken kring källan med låga risker att spridas längre sträckor till grustäkten. Väldigt lokala utsläpp av kemikalier från kemtvätt och industriområde med låga förväntade utsläppsfrekvenser samt dåliga möjligheter att spridas till Gråbodeltat ger dessa två källor som, innan

analysen utfördes, förväntades vara några av de allvarigare en totalpoäng på endast 3,0 för kemtvätten och 2,2 för industriområdet.

Den minst allvarliga riskkällan antas vara Hjällsnäsviken där det inte förväntas spridning till grustäkten, det inte förväntas spridning på ett regelbundet, kort intervall och om det skulle finnas föroreningar som kommer i kontakt med grundvattnet bör de inte göra stor skada. Totalt tilldelas Hjällsnäsviken och det båtupplag som finns där 1,4 riskpoäng. Som nämnt i kapitel 4.2.11, Ökat uttag, kan föroreningarna i viken vara relevanta att undersöka närmare i framtiden. En stor anledning till att riskpoängen för viken blir så låg är att analysen som utförst baseras på dagens förutsättningar. Om konstgjord infiltration används i samband med det ökade uttaget är förändras dessa förutsättningar markant. Föroreningar i vattnet får exempelvis en tydlig spridningsväg till grundvattnet, något som idag saknas.

Några av de källor där konsekvensen antas vara som störst är de där utsläpp av ofullständigt förbrända kolväten är det stora utsläppshotet. Till de källorna hör bensinstationer, olyckor på väg 190 och olyckor vid aktiviteter på grustäkten. För bensinstationerna har två scenarier värderats. Riskerna har separerats då utsläppsintervallet skiljer sig markant. Den allvarligaste risken angående bensinstationer är läckage från anläggningens ledningar med ett riskpoäng på 4,2. Sannolikheten för kontinuerliga utsläpp anses sannolikt då både läckage från själva bensinstationen och även aktivitet på den leder till föroreningar. Utsläppet tilldelas också högsta poäng på konsekvensskalan då flertalet mycket skadliga ämnen, däribland PAH:er, handskas här.

Det andra scenariot är ett katastrofscenariot, till exempel brand eller enorma läckage som inträffar som resultat av exempelvis en olycka. En sådan extrem händelse anses inte vara sannolik men mycket allvarligt då liknande ämnen släpps ut men i större mängder. Det mycket lägre utsläppsintervallet gör att den totala riskpoängen för detta scenario blir 3,4. Bensinstationen ligger också en bit bort från grustäkten och markens egenskaper gör att området har ett lågt DRASTIC värde. Bensinstationerna beräknas inte påverka grundvattenresursen i första hand vilket gör att den inte tilldelas en värdespoäng.

Något att ta hänsyn till gällande katastrofscenarier som det presenterat ovan är att det är väldigt tydligt när en olycka inträffar. En mer diffus spridning från exempelvis läckage kan över tid släppa ut enorma föroreningsmängder som skadar kringliggande miljö utan att upptäckas. I exempelvis media är det även vanligt att stora händelser som olyckor eller enorma kortvariga läckage får betydligt mer uppmärksamhet än ett mindre läckage som pågått under lång tid. Faktumet att dessa risker inte presenterar sig själva på samma sätt som en kraftig olycka gör ofta att hanteringsåtgärder inte påbörjas förrän det är för sent. En olycka för ofta med sig direkt åtgärder för att hantera eventuella problem men ett läckage hanteras ofta inte förrän skada är skedd.

Föroreningskällorna Väg 190 och Aktiviteter på grustäkten följer samma mönster i de tilldelade parametervärdena. För aktiviteter värderas det observerade nöjesåkandet av motorcyklar i och på gruslätten. Båda situationerna värderar sannolikheten att en olycka, som resulterar i drivmedelsutsläpp, sker. Sannolikheten för de båda scenarierna är låg. Den anses vara något lägre för vägtrafiken och väg 190 tilldelas därför sannolikhetsvärde 1 jämfört med aktiviteternas värde 2. Konsekvensen för de båda anses allvarlig men i och med att de olyckor som sker med personbilar eller större fordon har en ökad potentiell utsläppsmängd värderas den som den högsta konsekvensnivån medan aktiviteter, med den lägre utsläppspotentialen tilldelas konsekvensnivå 4.

Även kring den näst allvarligaste föroreningskällan i tabell 2, plantskolan, råder osäkerheter. Utsläppsintervallet antogs fokusera kring regntillfällen samt spridning via luften. Trots detta var det inte rimligt att tilldela Plantskolan ett högre utsläppsintervallsvärde än 3 då förväntan var att utsläppen är koncentrerade till delar av året. I övrigt ligger plantskolan inom det område som är mest sårbar och konsekvensen tilldelades nivå 4 då utsläpp av de använda kemikalierna kan vara hälsofarligt.

7.1 Svagheter och förbättringsmöjligheter i utförandet

Metoden som använts för värdering av källornas riskvärde har självklart svagheter. Ett bra exempel som visar detta är Kolerakyrkogården. Kyrkogården tilldelas parametervärdena 4, 5, 1 för sannolikhet, sårbarhet respektive konsekvens. Utöver detta tilldelas den en värdepoäng då den vid ett utsläpp främst påverkar Gråbodeltat. Totalt tilldelas kyrkogården en totalpoäng på 4,2 vilket likställer risken den utgör med bensinstationerna i området. Detta trots att förväntan var att kyrkogården inte skulle utgöra någon risk alls. Utifrån dagens omständigheter bör alla föroreningar som kan komma att släppas ut från kyrkogården redan ha spridits iväg och i dagsläget bör den inte utgöra något hot alls. I och med att dess läge och att eventuella utsläpp förväntas ske vid regntillfällen måste den trots detta tilldelas den höga poäng den har tilldelats för att metoden ska vara konsekvent.

Utöver den totalpoäng som kyrkogårdens värden resulterar i bör även avrinning från Väg 190 och hur detta påverkas av de avvägningar som gjorts i värderingen av riskkällorna beaktas som en situation där metoden kan förbättras. Avrinning från Väg 190 är inte något som tas upp i den riskalla som kallas Väg 190 i denna rapport. Dock så är det med största säkerhet en allvarlig riskkälla. Det som kan anses vara ett problem är att i den metod som använts här presenteras avrinning från hårdgjorda ytor som en relativt lindrig riskkälla trots den allvarliga påverkan som avrinning från väg 190 identifierats som av exempelvis VISS. Mycket av det har att göra med att sårbarhetsvärdet den tilldelas i och med antagandet om att större delen av spridningen sker utanför det mest sårbara området och dess avsaknad av värdespoäng. Detta resonemang är självklart sant om de andra källorna som denna avvägning gjorts på men i och med att bland annat VISS identifierat den som en potentiell föroreningskälla för Gråbodeltat bör en framtida undersökning ta hänsyn till detta och denna metod bör vid ett sådant tillfälle anpassas för att ta hänsyn till en sådan situation. Dock anses metoden vara fungera bättre med dessa avvägningar än om tilldelningen av riskpoäng alltid utgått från det allvarligaste alternativet. Hade den metoden använts hade exempelvis jordbruket tilldelats 4, 5, 3, 1 för utsläppsintervall, sårbarhet, konsekvens och värde, detta skulle ge det en total riskpoäng på 5.0 vilket precis som kolerakyrkogården inte anses rimligt.

I och med att metoden till stor del baseras på den kunskap och information som de som utför den besitter finns kring flera föroreningskällor osäkerheter. För säkrare analys bör en framtida undersökning på området utföras med expertrådgivning inom ämnet. Författarna har gjort antaganden baserat på relevant och tillgänglig information men i och med att perfekt insyn inte är möjlig i alla aktiviteter som sker i Gråbo är det möjligt att antaganden är felaktiga i vissa fall och risken finns att föroreningskällor inte identifierats. Främst har dessa antaganden gjorts kring utsläppsintervall och konsekvens men antaganden har även gjorts kring sårbarhetsparametern. DRASTIC-analysen och dess resultat är utfört på en homogen akvifer där antagandet är att hela isälvsdeltat har samma egenskaper. Verkligheten är lite mer komplex. För en mer heltäckande analys bör i framtiden mätningar utföras i jorden för att säkerställa de antaganden som gjorts i denna rapport. Ytterligare frågeställningar som kan komma att bli mycket relevant för området är de konsekvenser som klimatförändringarna innebär för området i detta arbete nämns de endast som en framtida riskkälla i och med att de i många fall förhöjer påverkan från andra källor. Om förslaget om ökat uttag antas bör en undersökning kring hur detta kan komma att påverka området sårbarhet också utföras för att säkerställa att de skyddsåtgärder som existerar vid det tillfället är tillräckliga i och med att det bidrar med ökat grundvattenflöde. Om en undersökning angående ökat uttag görs bör som nämnt i kapitel 4.2.11 en djupgående undersökning av vattenkvaliteten i Mjörn utföras för att undersöka de potentiella föroreningar som kan nå Gråbodeltat via konstgjord infiltrering.

7.2 Hantering av allvarliga föroreningskällor

Generellt är det lättare att komma åt föroreningar vid källan genom att förhindra spridning och utsläpp än att försöka stoppa och behandla föroreningen i efterhand när föroreningen redan är utspridd i marken. Eftersom föroreningskällorna skiljer sig i vad som släpps ut och hur föroreningarna sprids och påverkar miljön runtomkring, gör det att varje föroreningskälla behöver utredas enskilt i och med att en åtgärd för bensinstationer kanske inte fungerar lika effektivt för jordbruket. Viktigt att tänka på blir att alla föroreningskällor som behandlar kemikalier eller någon form av petroleumprodukter har en första rening av spill och dagvatten på plats innan det släpps ut i det kommunala ledningsnätet. För jordbruk handlar det om att minimera användandet av bekämpningsmedel och gödsel.

Resultatet visar att det är tre föroreningskällor som innebär störst risk för vattentäkten. Dessa är industrisjön, plantskolan och väg 190, där industrisjön har fått högst poäng och anses därmed vara den största risken för vattentäkten. Industrisjön är identifieras som en deponi och det är möjligt att den anlades och användes innan nyare och strängare lagar kring deponier kom till. Således kan det antas att deponin saknar skydd mot läckage av lakvatten. Sedan är även dess läge väldigt olämpligt eftersom den ligger i tillrinningsområdet för vattentäkten.

För att skydda vattentäkten måste det tillkomma åtgärder till deponin. Framförallt handlar det om att undersöka vattnet som rinner därifrån och se vilken kvalitet vattnet har och vilka föroreningar som finns i det. Det är svårt att ta hand om grundvatten som försvinner från sjön men ytvattnet skulle kunna genomgå en reningsprocess innan det får rinna vidare. Mellan vattentäkten och deponin skulle det kunna anläggas en uppsamlingsdamm där även grundvattnet samlas. Där skulle vattnet kunna genomgå en rening innan vattnet släpps ut i vattentäkten.

Plantskolan är en punktkälla och för att minska den risk som plantskolan utgör behövs det lokala åtgärder. Framförallt handlar det om att se över vilka bekämpningsmedel och kemikalier som används där men även hur dagvattnet tas hand om. Genom att samla upp dagvattnet från plantskolan och låta det genomgå en reningsprocess innan vattnet får infiltreras till grundvattnet skulle plantskolan utgöra en mindre risk för vattentäkten.

Väg 190 är även en stor risk för vattentäkten och den kan påverka i huvudsak på två olika sätt, ett lite mer sporadiskt utsläpp och ett mer kontinuerligt utsläpp. Det sporadiska innebär trafikolyckor på vägen, vilket är svårt att åtgärda. Hastigheten på vägen är 80 km/h, vägen är rak och öppen vilket gör att bilister ser långt framåt. Genom att ett installeras mitträcke mellan körfälten minskar risken för olyckor med mötande trafik. Detta skulle dock kunna bli ett irritationsmoment för trafikanter eftersom det blir omöjligt att köra om långsamtgående fordon på den sträckan där mitträcket kommer finnas.

Det mer kontinuerliga utsläppet är föroreningar från avgaser, däckrester och halkbekämpning samlas på vägbanan och följer med dagvattnet till vattentäkten vid regn. Därför blir det viktigt att låta dagvattnet renas i vägdiket innan vattnet tar sig vidare mot vattentäkten. Jorden i vägdiket kommer tillslut nå sin kapacitet och behöver då bytas ut mot ny ren jord. Den gamla jorden renas eller läggs på deponi.

En åtgärd som kommer åt båda utsläppen och drastiskt minskar risken som vägen utgör är att flytta vägen och dra den ha en annan sträckning. Dock blir detta det dyraste av alla åtgärdsförslag eftersom områdets geografi och topografi gör det svårt att hitta en bra sträckning som inte skulle ha en stor påverkan på naturen i området utöver den konstruktionskostnad som en ny sträckning innebär.

7.3 Sårbarhetskartan och dess innebörd

Enligt sårbarhetskartan från DRASTIC-analysen i ArcGIS korrelerar det mest sårbara området med det område som motsvaras av grustakten. Flera av de mest allvarliga källorna ligger inom det område som enligt sårbarhetsanalysen är mest sårbart. Vid en jämförelse av det nuvarande vattenskyddsområdet och det område sårbarhetskartan identifierar som mest allvarligt observeras att dagens vattenskyddsområde innefattar mindre än hälften av det mest sårbara området. Det anses befogat att utöka det befintliga vattenskyddsområdet så att i första hand hela grustakten omfattas. Enligt sårbarhetskartan är hela området från rondellen mellan väg 190 och Gråbovägen i väst, till Hjällsnäsviken i öst mycket sårbart. Samtidigt befinner sig majoriteten av de identifierade riskkällorna inom detta område, vilket ytterligare stärker motiveringen om att utöka vattenskyddsområdet och skydda mark och framförallt vatten.

I den västra delen av det undersökta området är det de två bensinstationerna samt flertalet industrier som utgör den största risken för grundvattnet. Om man i framtiden planerar att utöka industriområdet i Gråbo bör denna expansion, med hänsyn till sårbarhetskartan, i största möjliga mån ske västerut i området där marken är betydligt mindre sårbar. I öst bör området som angränsar till Mjörn skyddas, dels för att det enligt sårbarhetskartan är ett sårbart område, dels för att öka möjligheterna för konstgjord infiltration.

Framtida exploatering av Gråboområde med omnejd rekommenderas därför ske i sydlig och västlig riktning. Sker exploatering i de sårbarare delarna av området bör hänsyn tas till de industrier och aktiviteter exploateringen för med sig. Källorna som identifierats i området är starkt knutna till existerande bebyggelse och en expansion av Gråbo tätort för onekligen med sig fler riskkällor. En utökning av vattenskyddsområdet bidrar med bestämmelser kring vad som får pågå inom det men det området kan inte utökas för att innefatta hela orten. Trots att fokus i detta arbete legat på hur Gråbodeltat hotas och bör skyddas är det viktigt att ta hänsyn till att grundvatten hämtas från andra källor i området än deltat. Dessa påverkas främst av identifierade föroreningskällor som förorenar marken kring där utsläppen sker. De enskilda vattentäkterna påverkas exempelvis av jordbruk, kemptvätten, industriområdet och avloppsläckage i större utsträckning än vad deltats grundvattenresurs påverkas av dessa källor. Att ha detta i åtanke är viktigt vid en exploatering i Gråboområdet för att bibehålla bra grundvattenkvalitet både i Gråbodeltat och marken kring det.

8 Slutsats

Flertalet föroreningskällor identifierades i Gråboområdet vars utsläpp direkt riskerar påverka vattenresursen. Utifrån riskanalysen, baserad på fyra parametrar, bedömdes riskkällorna utifrån ett poängsystem. Värderingarna resulterade i att tre riskkällor identifierats som så farliga att åtgärder anses nödvändigt. Dessa är industrideponisjön, plantskolan och Väg 190. Framförallt PAH:er från dessa riskkällor påverkar grundvattenresursen negativt. Samtliga av dessa riskkällor ligger idag utanför eller delvis utanför det existerande vattenskyddsområdet men på den yta som sårbarhetsanalysen identifierar som mest sårbar.

Analysen är baserad på en metod med verktyg som fungerar bra för att få en översiktlig bild av ett områdes grundvattenkvalitet. För att bestämma åtgärder för de utpekade riskkällorna behövs en mer noggran undersökning utföras. Framförallt handlar det om industrideponisjön. Enligt rapporten är sjön den allvarligaste riskkällan men för att förstå dess faktiska inverkan på grundvattenresursen måste området undersökas med en mer specifik metod.

För att försäkra fortsatt god råvattenkvalitet föreslås som hanteringsåtgärd att vattenskyddsområdet expanderas minst så att samtliga av de tre riskkällorna inkluderas. Baserat på sårbarhetsanalysen bör vattenskyddsområdet mer än så expanderas ytterligare, öster ut mot Mjörn, för att skydda hela det område som i figur 17 identifieras som mest sårbart. Vid framtid ökat uttag och konstgjord infiltration blir skydd kring detta område ännu viktigare. Utöver detta bör framtida exploatering av området ske med grundvattnets säkerhet i åtanke och i det fall att vattenskyddsområdet inte utökas bör trots detta aktiviteter i området begränsas för att säkerställa Gråbodeltats nuvarande vattenkvalitet.

Referenser

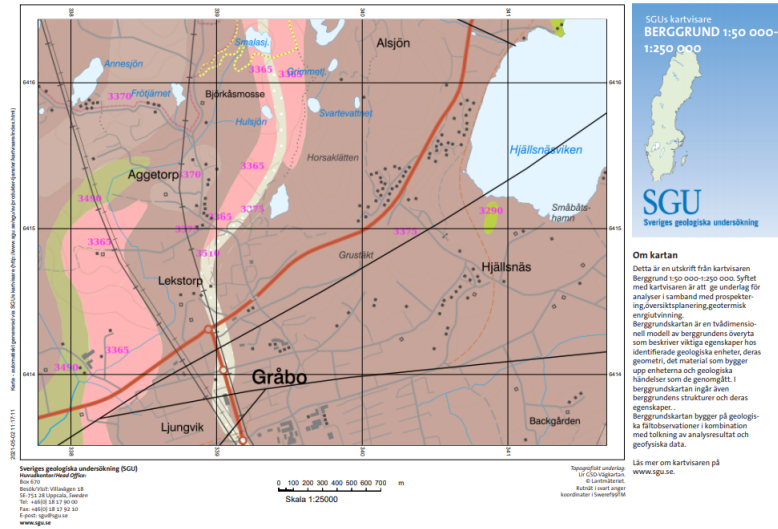
- [1] Svenskt Vatten. (2016). "Produktion av dricksvatten," URL: <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/produktion-av-dricksvatten/> (hämtad 2016-05-19).
- [2] Kungsbacka. (2020). "Bevattningsförbudet hävs," URL: <https://www.kungsbacka.se/Archive/Regular-News/2020/71/bevattningsforbud-i-kungsbacka-kommun/> (hämtad 2020-07-02).
- [3] Regeringkansliet. (1998). "Miljöbalken," URL: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808 (hämtad 1998-06-11).
- [4] L. Rosén, "Sårbarhetsklassificering av Grundvatten - Tillämpningar av standardiserade klassificeringssystem på svenska förhållanden," 1991. URL: https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/179525/local_179525.pdf.
- [5] Havs och Vattenmyndigheten, "Vägledning om inrättande och förvaltning av vattenskyddsområden," Havs och Vattenmyndigheten, 2021. URL: <https://www.havochvatten.se/download/18.26126a9e1777ad8f0582359d/1612880122523/vagledning-om-inrattande-och-forvaltning-av-vattenskyddsomraden.pdf>.
- [6] Naturvårdsverket. (2021). "Skyddad natur," URL: <https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/> (hämtad 2021-04-22).
- [7] P.-O. Johansson, H. Djurberg, T. Söderqvist och D. Collentine, *Värdering av grundvattenresurser*. Naturvårdsverkets förlag, 2002, ISBN: 9162051423. URL: <https://www.naturvardsverket.se/documents/publikationer/620-6278-6.pdf>.
- [8] Svenska Akademien. (1959). "Risk," URL: https://svenska.se/saob/?id=R_1987-0170.6Uzy&pz=3 (hämtad 2021-04-11).
- [9] Riskkollegiet, "Att jämföra risker," 1991. URL: <http://www.riskkollegiet.nu/wp-content/uploads/2012/11/Skrift1.pdf>.
- [10] L. Rosén, "A Study of the DRASTIC Methodology with Emphasis on Swedish Conditions," Department of Geology, Chalmers University of Technology, 1993. URL: <https://ngwa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1745-6584.1994.tb00642.x>.
- [11] L. Aller, T. Bennett, J. H. Lehr, R. J. Petty och G. Hackett, "DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential using Hydrogeological Settings," Ohio, 1987. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20007KU4.PDF?Dockey=20007KU4.PDF>.
- [12] J.-O. Moberg och J. Burman, "Grundvattenmodellering och Sårbarhetsanalys för Utö Skjutfält," Totalförsvarets Forskningsinstitut, 2004. URL: <https://www.foi.se>.
- [13] G. Davidsson, L. Haeffler, B. Ljungman och H. Frantzich, "Handbok för riskanalys," Räddningsverket, 2003, s. 53+. URL: <https://rib.msb.se/filer/pdf/18458.pdf>.
- [14] Livsmedelsverket, "Handbok för klimatanpassad dricksvattenförsörjning," 2019. URL: <https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/publikationsdatabas/handbocker-verktyg/handbok-for-klimatanpassad-dricksvattenforsorjning-2019.pdf>.
- [15] SGU. (2020). "Sveriges berggrund," URL: <https://www.sgu.se/om-geologi/berg/sveriges-berggrund/> (hämtad 2021-02-18).
- [16] Avdelningen för Teknisk Geologi och geoteknik, "Urberg," *Exkursionskompendium Teknisk Geologi*, s. 183–205, 2020.
- [17] SGU. (2020). "Från istid till nutid," URL: <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/> (hämtad 2021-02-18).
- [18] Avdelningen för Teknisk Geologi och geoteknik, "Kvartärgeologi," *Exkursionskompendium Teknisk Geologi*, s. 87–131, 2020.

- [19] SMHI. (2021). "Vattenbalans," URL: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/vattenbalans-1.124695> (hämtad 2021-02-13).
- [20] —, (2021). "Lokal Vattenbalans," URL: <https://www.smhi.se/vader/mark-och-vatten/vattenbalans> (hämtad 2021-04-11).
- [21] H. Grip och A. Rodhe, *Vattnets väg från regn till bäck*. Hallgren & Fallgren, 1988, ISBN: 9173826359. URL: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat07470a&AN=c1c.69056849.04fa.4e30.bc23.25e780aade7c&site=eds-live&scope=site&authType=guest&custid=s3911979&groupid=main&profile=eds>.
- [22] SMHI. (2018). "Markvatten," URL: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/markvatten-1.4547> (hämtad 2021-02-13).
- [23] Ş. Zekâi, *Practical and Applied Hydrogeology*. Istanbul, Turkiet, 2015, s. 33, ISBN: 9780128000755. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2013-0-14020-2>.
- [24] G. Hansson, "Konstgjord grundvattenbildning – 100-årig teknik inom svensk dricksvattenförsörjning," Svenskt Vatten AB, 2000-5, 2000. URL: <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/konstgjord-grundvattenbildning-100-arig-teknik-inom-svensk-dricksvattenforsorjning/>.
- [25] K. Bovin, E. Vikberg och I. Morén, "Tätande jordlager - En kunskapssammanställning," Sveriges Geologiska Undersökning, 2015. URL: <http://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1532-rapport.pdf>.
- [26] L. Blom. (2017). "Gråbo infiltration," URL: [http://www4.goteborg.se/prod/Intraservice/Namndhandlingar/SamrumPortal.nsf/93ec9160f537fa30c12572aa004b6c1a/9cb7e2c686f3ba5cc1258107002f2fb5/\\$FILE/13.%20Dnr%200436_17%20Grabo%20Infiltration.pdf](http://www4.goteborg.se/prod/Intraservice/Namndhandlingar/SamrumPortal.nsf/93ec9160f537fa30c12572aa004b6c1a/9cb7e2c686f3ba5cc1258107002f2fb5/$FILE/13.%20Dnr%200436_17%20Grabo%20Infiltration.pdf) (hämtad 2021-03-04).
- [27] L.-O. Lång och T. Persson, "Beskrivning av kartan Grundvattenföreskomster i Lerums kommun," Sveriges Geologiska Undersökning, K 134, 2011, s. 18–20.
- [28] SGU - Kartvisaren, *Jordartskarta 1:25000 - 1:100000*, Karta. URL: <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html?zoom=335559.2646320593,6412605.310856899,344519.2825520952,6416875.319396917> (hämtad 2021-02-13).
- [29] —, *Bergartskarta 1:50000 - 1:250000*, Karta. URL: <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-berg-50-250-tusen.html?zoom=335559.2646320593,6412605.310856899,344519.2825520952,6416875.319396917> (hämtad 2021-03-04).
- [30] —, *Genomsläpplighet*, Karta. URL: <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-genomslapplighet.html?zoom=335475.2644640589,6412507.3106609,344435.2823840948,6416777.319200917> (hämtad 2021-02-17).
- [31] —, *Grundvattenmagasin*, Karta. URL: <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-grundvattenmagasin.html?zoom=335559.2646320593,6412605.310856899,344519.2825520952,6416875.319396917> (hämtad 2021-02-13).
- [32] S. Rahmatawi, A. Juiliani, W. Sari och A. Bariroh, "Investigation of Groundwater Pollution by Petroleum Hydrocarbon from Gas Station in Yogyakarta, Indonesia," *Sains dan Teknologi Lingkungan*, årg. 10, nr 1, s. 67–76, URL: <https://journal.uui.ac.id/JSTL/article/view/10848/8760>.
- [33] P. Logeshwaran, M. Megharaj, S. Chadalavada, M. Bowman och R. Naidu, "Petroleum hydrocarbons (PH) in groundwater aquifers: An overview of environmental fate, toxicity, microbial degradation and risk-based remediation approaches," *Environmental Technology & Innovation*, årg. 10, s. 175–193, 2018, ISSN: 2352-1864. DOI: 10.1016/j.eti.2018.02.001.
- [34] L. Ledskog och T. Lundgren, "Olje- och kemikalieutsläpp i jord," Statens räddningsverk, 1989. URL: <https://rib.msb.se/filer/pdf/1816.pdf>.

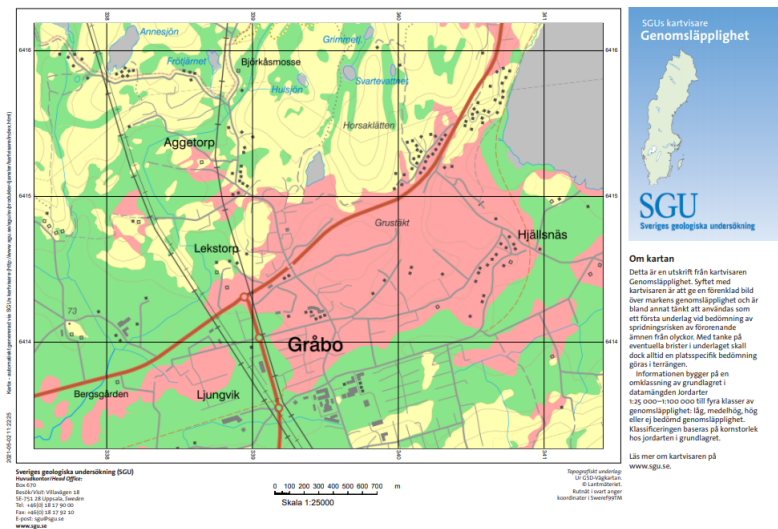
- [35] Boverket. (2019). "Hårdgjorda ytor," URL: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/ekosystemtjanster/platser/hardgjorda/> (hämtad 2021-05-12).
- [36] M. Viklander, H. Österlund, A. Müller, J. Marsalek och M. Borris, "Kunskapssammanställning - Dagvattenkvalitet," Svenskt vatten AB, 2019-02, 2019. URL: <https://www.svensktvatten.se/contentassets/f3d99ca8ce964851b9702d3dc85e4269/trvu-rrap-2019-02.pdf>.
- [37] SVT, "Björklings kranvatten är drickbart igen," 8 april 2021. URL: <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/upsala/efter-vattenvarningen-okej-att-dricka-vattnet-igen>.
- [38] Naturvårdsverket, "Föreningar i dagvatten," Naturvårdsverket, 2017. URL: <https://naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/regeringsuppdrag/2017/Foreningar-i-dagvatten.pdf>.
- [39] C.-E. Boström, P. Gerde, A. Hanberg, C. Johansson, T. Kyrklund, A. Rannug, M. Törnqvist, K. Victorin och R. Westerholm, "Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air," *Environmental Health Perspectives*, årg. 110, s. 451–488, 2002. DOI: 10.1289/ehp.110-1241197.
- [40] Vattenmyndigheterna i samverkan, "Metod för bedömning av betydande påverkan grundvatten – vattenförvaltningscykel 2016-2021," 2020. URL: <https://viss.lansstyrelsen.se/Referencelibrary/54329/Metod%20f%C3%B6r%20bed%C3%B6mning%20av%20betydande%20p%C3%A5verkan%5C%20i%20grundvatten%20E%80%93%20vattenf%C3%B6rvaltningscykel%202016-2021.pdf>.
- [41] C. Börjklund, K. Byman och M. Toll, "Olyckors utsläpp och deras miljöpåverkan i relation till de nationella miljömålen," Räddningsverket. URL: <https://rib.msb.se/filer/pdf/17364.pdf>.
- [42] Livsmedelsverket. (2020). "Mikroplast," URL: [https://www.livsmedelsverket.se/\(X\(1\)S\(pkpfrutyhluocimrch4svxjo\)\)/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/mikroplast?AspxAutoDetectCookieSupport=1](https://www.livsmedelsverket.se/(X(1)S(pkpfrutyhluocimrch4svxjo))/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/mikroplast?AspxAutoDetectCookieSupport=1) (hämtad 2021-02-17).
- [43] Havs och Vattenmyndigheten. (2018). "Ren Båtbotten," URL: <https://www.havochvatten.se/miljopaverkan-och-atgarder/miljopaverkan/foreningar-och-farliga-amnen/fritidsbatar/ren-batbotten.html> (hämtad 2021-05-02).
- [44] WHO, "The impact of cemeteries on the environment and public health," 1998. URL: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/108132/EUR_ICP_EHNA_01_04_01\(A\).pdf;jsessionid=B20AAC0C0F9F38A3F80C552AEEAD2C4E?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/108132/EUR_ICP_EHNA_01_04_01(A).pdf;jsessionid=B20AAC0C0F9F38A3F80C552AEEAD2C4E?sequence=1).
- [45] Naturvårdsverket. (2020). "Nya regler för avfallshantering och återvinning," Naturvårdsverket, URL: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Avfall/Nya-regler-for-avfallshantering-och-atervinning/>.
- [46] Avfall Sverige. (2021). "Hushållsavfall," URL: <https://www.avfallsverige.se/kunskapsbanken/avfallsstatistik/hushallsavfall/> (hämtad 2021-03-04).
- [47] Lerums Kommun. (2020). "Sorteringsguiden," URL: <https://www.lerum.se/Bygga-bo-och-miljo/Avfall-aterbruk-och-atervinning/Kallsortera-och-atervinn/Sorteringsguiden/> (hämtad 2021-03-04).
- [48] Länsstyrelsen och Lantmäteriet Geodatasamverkan. (2021). "EBH-karta," URL: <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=ed0d3fde3cc9479f9688c2b2969fd38c> (hämtad 2021-03-11).
- [49] SGU. (2020). "Trender för bekämpningsmedel," URL: <https://www.sgu.se/grundvatten/trender-i-grundvattenkemi/trender-for-bekampningsmedel/> (hämtad 2021-04-11).
- [50] Länsstyrelserna, "Gamla handelsträdgårdar – inventering, undersökning och bedömning, vägledning för tillsynsmyndigheter," Länsstyrelsen Örebro län, 2017:9, 2017. URL: <http://www.ebhportal.en.se>.

- [51] Structor, "Förstudie av två fd plantskolor i centrala Varberg," Varbergs kommun, 2016. URL: <https://www.varberg.se/download/18.724e50fc15cc52c5817e2fff/1498817134445/Ra%20F%C3%B6rstudie%20plantskolor%20Vbg%20ver%202016%2008%2024%20final.pdf>.
- [52] VISS. (2021). "Gråbodeltat," URL: <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA73197057> (hämtad 2021-05-03).
- [53] Länsstyrelsen Norrbotten. (2010). "Föreningensrisker," URL: <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.1dfa69ad1630328ad7c79c1f/1526067912295/F%C3%B6reningensrisker%20f%C3%B6r%20vattent%C3%A4kter.pdf> (hämtad 2021-03-04).
- [54] Lerums Kommun. (2020). "Avloppsvatten och spillvatten," URL: <https://www.lerum.se/Bygga-bo-och-miljo/Vatten-och-avlopp/Kommunalt-vatten-och-avlopp/Avloppsvatten/> (hämtad 2021-03-03).
- [55] KoV. (2019). "Installation av fettavskiljare," URL: <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/fb1be3f8-b3f5-4279-9a55-d31c3f4aa7a2/Installation+av+fettavskiljare+aug+2019.pdf?MOD=AJPERES> (hämtad 2021-03-04).
- [56] P. Thalín. (2016). "Säkerhet vid dricksvattenanläggningar," URL: <https://www.lerum.se/globalassets/documents/forvaltningssidorna/bygga-bo-och-miljo/va/sakerhet-vid-dric ksvattenanlaggningar---peter-thalin.pdf> (hämtad 2021-03-04).
- [57] ESRI. (2021). "ArcGIS-plattformen," URL: <https://www.esri.se/sv-se/arcgis/about-arcgis/overview> (hämtad 2021-05-03).
- [58] SLU. (2021). "Geodata Extraction Tool," URL: <https://zeus.slu.se/get/?drop=get> (hämtad 2021-03-05).
- [59] SMHI. (2021). "Årsmedelnederbörd," URL: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/nederbord> (hämtad 2021-05-03).

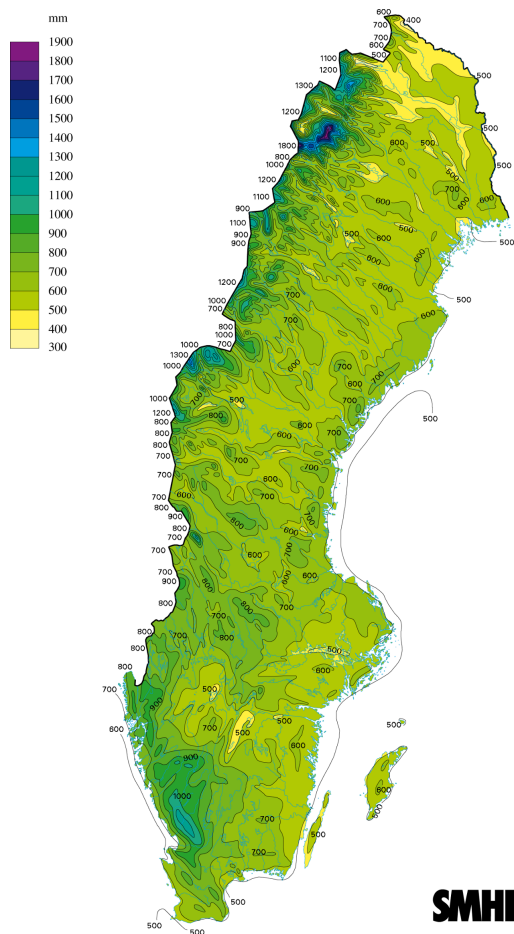
Appendices



Bilaga 1 - Illustrerar gångbergarterns genom Horsaklätten och den sprickzon som går genom dalen där Gråbo ligger [29].



Bilaga 2 - Illustrerar genomsläppligheten i Gråboområdets bergmassa [30].



Bilaga 3 - Illustrerar årsmedelnederbörd, Hämtad från SMHI.se [59]