



CHALMERS



Riskbedömning av Rångedala grundvattenmagasin

En metodutveckling för bedömning av Rångedalas riskkällor

Kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik

Nellie Albrektsson, Elsa Landgren, Hanna Lundgren, Marcus Nilsson Qvarnström, Simon Sommer

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Geologi och Geoteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

www.chalmers.se

KANDIDATARBETE ACEX11-VT25-30

Riskbedömning av Rångedala grundvattenmagasin

En metodutveckling för bedömning av Rångedalas riskkällor.

Risk assessment of Rångedala groundwater reservoir

A method development for assessing Rångedala's risk sources.

Nellie Albrektsson, Elsa Landgren, Hanna Lundgren, Marcus Nilsson

Qvarnström, Simon Sommer



CHALMERS

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Geologi och Geoteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

Riskbedömning av Rångedala grundvattenmagasin
En metodutveckling för bedömning av Rångedalas riskkällor

© Nellie Albrektsson, Elsa Landgren, Hanna Lundgren, Marcus Nilsson Qvarnström, Simon Sommer

Handledare: Andreas Lindhe, Avdelningen för Geologi och Geoteknik

Examinator: Lars Rosén, Avdelningen för Geologi och Geoteknik

Kandidatarbete 2025

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Geologi och Geoteknik

ACEX11-VT25-30

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Gothenburg

Telephone +46 31 772 1000

Omslag: Vattenskyddsområde Rångedala 250327. Privat bild.

Göteborg, Sverige 2025

Förord

Ett stort tack till Andreas Lindhe och Lars Rosén för ert bidragande av expertis och vägledning inom ämnet. Även ett stort tack till Nadine Gärtner för dina kunskaper inom GIS.

Sammanfattning

Grundvatten är inte bara en värdefull naturresurs, utan även en förutsättning för mänsklig överlevnad genom nyttjande för dricksvattenkonsumtion. Därför är det av yttersta vikt att säkerställa dricksvattentillgången genom att skydda grundvattnet från mänskliga påverkanskällor som kan äventyra dess tillstånd och kvalitet.

Arbetet syftar till att utveckla en riskbedömningsmetod som utvärderar risken för förorening av dricksvattentäkten i Rångedala grundvattenmagasin. Metoden baseras på estimerad sannolikhet och konsekvens för olika föroreningskällor, som bedöms utifrån ett antal parametrar. Dessa sammanställs slutligen i en riskmatris. När metoden färdigställts, tillämpas den på det berörda området varefter en geografisk avgränsning för ett vattenskyddsområde föreslås.

Sannolikhetsbedömningen baseras på en områdesundersökning, bedömning av vertikal spridning med DRASTIC-metoden och bedömning av horisontell spridning med hjälp av Calculated Fixed Radius method. Dessa sammanställs och visualiseras med hjälp av programvaran QGIS. Även konsekvensbedömningen baseras på den ovannämnda områdesundersökningen.

Vid tillämpning av den framarbetade metoden över Rångedala, visar resultatet att stora delar av grundvattenmagasinet är sårbart men att den horisontella spridningen i grundvattnet anses låg. De föroreningskällor som resulterar i störst risk är riksväg 40 samt Rångedala kyrka med tillhörande kyrkogård. Utifrån detta ges ett förslag på ett vattenskyddsområdes geografiska avgränsning. Metoden anses kunna tillämpas på andra områden med liknande förutsättningar som stöd för riskbedömningar.

Nyckelord: DRASTIC-analys, Grundvatten, Grundvattenmagasin, Riskbedömning, Sårbarhet, Vattenskyddsområde

Riskbedömning av Rångedalas grundvattenmagasin
En metodutveckling för bedömning av Rångedalas riskkällor
ACEX11-VT25-30
Department of Geology and Geotechnics
Chalmers University of Technology

Abstract

A groundwater reservoir is important for consumption in the form of drinking water. Therefore, it is essential to protect these areas from human activities that can contaminate and negatively affect the groundwater quality. The aim of this study is to develop a method for risk assessment that evaluates the risk of the drinking water source in Rångedala being polluted from identified contamination events.

The estimations are based on several parameters and calculations and the results are presented in a matrix where the probability and consequence of a specific event is combined to a risk index. Once the method is completed, it is applied to Rångedala groundwater reservoir and a proposal for the boundary of a water protection area is presented.

The probability assessment is based on studying the area and assessing vertical vulnerability using the DRASTIC method and a horizontal vulnerability using the Calculated Fixed Radius method. These are compiled and visualized by using the software QGIS. To assess the consequences, the area survey mentioned above is used.

When applying the method on Rångedala the results shows that larger areas of the groundwater reservoir is vulnerable. However, the horizontal contamination flow is low in groundwater. The contamination sources resulting in the largest risks are Riksväg 40 and the church with adjacent graveyard. Based on this, a geographical boundary of the water protection area is proposed.

Keywords: DRASTIC analysis, Groundwater, Groundwater reservoir, Risk assessment, Vulnerability, Water protection area

Begreppslista

I nedanstående lista klarläggs begrepp och förkortningar som används i arbetet.

| Begrepp | Förklaring |
|--------------------------------------|---|
| Akvifer | En geologisk formation varifrån grundvatten kan utvinnas i användbar mängd. |
| Evaporation | Den process då vatten avdunstar från markyta eller ytvatten. |
| Geografiska informationssystem (GIS) | Programvaror för uppsamling, analysering och visualisering av geospatial data. |
| Grundvatten | Det vatten som befinner sig under markytan i den vattenmättade delen av marken. |
| Grundvattenmagasin | En hydrauliskt avgränsad del av en akvifer där porer och sprickor är vattenmättade. |
| Interception | Den process där regn inte når marken utan fångas upp av växtlighet och därefter avdunstar. |
| Tillrinningsområde | Område varifrån nederbörd eller annat vatten kan strömma mot och tillföras en grundvattenförekomst. |
| Transpiration | Den process där växters rötter tar upp vatten från marken som sedan avges från bladen som vattenånga. |
| Vattenskyddsområde | Ett lokalt anpassat område kring en vattentäkt där olika föreskrifter råder för att skydda utvinningen. |

Vattentroget ämne

Ett ämne som kan transporteras långa vägar från föroreningskällan med hjälp av grundvattnets strömriktning och hastighet.

Vattentäkt

En vattenresurs som används för utvinning av dricksvatten, kan vara både grundvatten och ytvatten.

Figurer

| | |
|--|----|
| Figur 1. Schematisk bild över arbetets metod. | 5 |
| Figur 2. Jordarter i och kring Rångedala. Bild hämtad från Lång & Lindh (2015). Återgiven med tillstånd. | 25 |
| Figur 3. Det primära, sekundära och tertiära tillrinningsområdet tillhörande grundvattenmagasinet. Bild hämtad från Lång & Lindh (2015). Återgiven med tillstånd. | 27 |
| Figur 4. Grundvattenmagasinet uttagsmöjligheter. Bild hämtad från Lång & Lindh (2015). Återgiven med tillstånd. | 29 |
| Figur 5. Identifierade föroreningskällor inom Rångedala grundvattenmagasins tillrinningsområde och deras position. | 30 |
| Figur 6. Riksväg 40 över Rångedalas grundvattenmagasin och tillrinningsområde (Sveriges geologiska undersökning, 2025c). | 38 |
| Figur 7. Registrerade trafikolyckor på den studerade sträckan över 10 år. Utdrag ur Swedish Traffic Accident Data Acquisition (STRADA). | 40 |
| Figur 8. Poäng för parameter D: Grundvattnets djup under markytan. | 44 |
| Figur 9. Poäng för parameter R: Grundvattenbildning. | 44 |
| Figur 10. Poäng för parameter A: Akviferens material. | 45 |
| Figur 11. Poäng för parameter S: Jordmånens material. | 45 |
| Figur 12. Poäng för parameter T: Topografi. | 46 |
| Figur 13. Poäng för parameter I: Den omättade zonens material. | 46 |
| Figur 14. Poäng för parameter C: Akvifermaterialalets hydrauliska konduktivitet. | 47 |
| Figur 15. Sårbarhet för Rångedala grundvattenmagasin och tillrinningsområde, bedömd enligt slutgiltigt DRASTIC-index. | 48 |
| Figur 16. Resultat av horisontell sårbarhetsbedömning, presenterat i de fyra innersta zonerna beräknade med CFR-metoden. | 49 |
| Figur 17. Sannolikhetskarta där identifierade föroreningskällor, områdets vertikala sårbarhet och zoner för horisontell spridning presenteras tillsammans. | 50 |
| Figur 18. Vattenskyddsområdets utbredning och föroreningskällornas risk samt vattenskyddsområdets utbredning över en satellitkarta (Google Maps, 2025) | 54 |
| Figur 19. Privata brunnar med tillhörande radier. | 57 |

Tabeller

| | |
|---|----|
| Tabell 1. Intervall, poängfördelning och vikt för <i>djup till grundvattenytan (D)</i> | 7 |
| Tabell 2. Intervall, poängfördelning och vikt för <i>grundvattenbildning (R)</i> | 8 |
| Tabell 3. Materialtyp, poängfördelning och vikt för <i>akviferens material (A)</i> | 9 |
| Tabell 4. Materialtyp, poängfördelning och vikt för <i>jordmånens material (S)</i> | 10 |
| Tabell 5. Intervall, poängfördelning och vikt för <i>topografi (T)</i> | 11 |
| Tabell 6. Materialtyp, poängfördelning och vikt för <i>den omättade zonens material under jordmånen (I)</i> | 13 |
| Tabell 7. Bedömning av jordarternas poäng för <i>den omättade zonens material under jordmånen (I)</i> | 14 |
| Tabell 8. Intervall, poängfördelning och vikt för <i>hydraulisk konduktivitet (C)</i> | 15 |
| Tabell 9. Färgrepresentationer för olika värden i det slutgiltiga DRASTIC-indexet..... | 16 |
| Tabell 10. Definition av zonerna för horisontell sårbarhet. | 18 |
| Tabell 11. Samband mellan slutgiltigt sannolikhetsvärde och sannolikhetskategori..... | 19 |
| Tabell 12. Poäng och tillhörande beskrivning relaterat till sannolikhet för utsläpp..... | 20 |
| Tabell 13. Värde och tillhörande beskrivning relaterat till sårbarhet..... | 20 |
| Tabell 14. Värde och tillhörande beskrivning relaterat till sannolikhet för horisontell spridning..... | 21 |
| Tabell 15. Samband mellan slutgiltigt konsekvensvärde och konsekvenskategori med tillhörande beskrivning..... | 22 |
| Tabell 16. Sannolikhets- och konsekvensmatris för analys av riskbedömning..... | 23 |
| Tabell 17. Tabell med tillhörande information för respektive tillrinningsområde, bedömt vattenflöde till grundvattenmagasinet samt beskrivning av tillrinningsområde. Data och information är hämtad från Lång & Lindh (2015). | 28 |
| Tabell 18. Förtydligande av index och tillhörande riskkategori. | 30 |
| Tabell 19. Den resulterande radien för vardera zon beräknad med CFR-metoden för respektive tillrinningstid och porositet. | 49 |
| Tabell 20. Sannolikhetsvärde för respektive föroreningskälla inom de tre delmomenten i sannolikhetsbedömningen samt föroreningskällans slutgiltiga sannolikhetskategori..... | 51 |
| Tabell 21. Konsekvensvärdet och konsekvenskategori för respektive föroreningskälla. | 52 |
| Tabell 22. Föroreningskällornas placering i riskmatrisen. | 53 |

Innehållsförteckning

| | |
|--|------|
| Begreppslista | viii |
| Figurer | x |
| Tabeller..... | xi |
| 1 Inledning..... | 1 |
| 1.1 Bakgrund | 1 |
| 1.2 Syfte och problemformulering..... | 2 |
| 1.3 Avgränsningar | 3 |
| 2 Metod för riskbedömning..... | 4 |
| 2.1 Områdesundersökning | 5 |
| 2.1.1 Geologisk och hydrogeologisk områdesundersökning | 6 |
| 2.1.2 Identifiering av föroreningskällor | 6 |
| 2.2 Vertikal sårbarhetsbedömning med hjälp av en DRASTIC-analys..... | 6 |
| 2.2.1 D – Djupet till grundvattenytan..... | 7 |
| 2.2.2 R – Grundvattenbildning | 8 |
| 2.2.3 A – Akviferens material | 9 |
| 2.2.4 S – Jordmånens material | 10 |
| 2.2.5 T – Topografi | 11 |
| 2.2.6 I – Omättade zonens material under jordmån..... | 12 |
| 2.2.7 C – Hydraulisk konduktivitet i akvifermaterialet..... | 14 |
| 2.2.8 Slutgiltigt DRASTIC-index..... | 15 |
| 2.3 Horisontell sårbarhetsbedömning genom tillämpning av Calculated Fixed Radius method | 16 |
| 2.4 Sannolikhetsbedömning..... | 19 |
| 2.4.1 Sannolikhet för utsläpp..... | 19 |
| 2.4.2 Sannolikhet för vertikal spridning..... | 20 |
| 2.4.3 Sannolikhet för horisontell spridning..... | 21 |
| 2.5 Konsekvensbedömning..... | 21 |
| 2.6 Riskbedömning | 22 |
| 3 Tillämpning av metod på Rångedala..... | 24 |
| 3.1 Geologisk och hydrogeologisk områdesundersökning..... | 24 |
| 3.2 Identifiering av föroreningskällor | 29 |
| 3.2.1 Bebyggelse | 31 |
| 3.2.2 Energianläggning | 34 |

| | |
|---|----|
| 3.2.3 Jordbruksverksamhet och djurhållning | 35 |
| 3.2.4 Kommunalt avloppsreningsverk | 37 |
| 3.2.5 Riksväg 40 och övrig trafik | 38 |
| 3.2.6 Åkeri och bilvårdsanläggning | 41 |
| 3.2.7 Bergtäkt och grustäkt | 42 |
| 3.2.8 Byggföretag | 42 |
| 3.2.9 Kyrka och kyrkogård..... | 42 |
| 3.3 Sannolikhetsbedömning..... | 43 |
| 3.3.1 Vertikal sårbarhetsbedömning..... | 43 |
| 3.3.2 Horisontell sårbarhetsbedömning..... | 48 |
| 3.3.3 Slutgiltig sannolikhetsbedömning | 50 |
| 3.4 Konsekvensbedömning..... | 52 |
| 3.5 Riskbedömning | 53 |
| 3.6 Förslag på vattenskyddsområde..... | 53 |
| 4 Diskussion | 55 |
| 4.1 Utvärdering av vattenskyddsområde | 55 |
| 4.1.1 Antaganden vid geografisk avgränsning för vattenskyddsområdet | 55 |
| 4.1.2 Förslag på åtgärder och restriktioner för riskfyllda verksamheter | 55 |
| 4.2 Utvärdering av CFR-metoden | 56 |
| 4.2.1 Privata brunnar | 56 |
| 4.3 Utvärdering av riskkällor..... | 57 |
| 4.3.1 Olyckor..... | 58 |
| 4.4 Tillämpning av metoden på andra områden | 59 |
| 5 Slutsats | 60 |
| Referenser..... | 61 |

1 Inledning

Rent dricksvatten är en grundläggande resurs som kräver ett effektivt skydd genom upprättande av vattenskyddsområden. Dessa har tidigare utformats utefter grundvattnets strömningstid i marken men enligt nya riktlinjer ska större hänsyn tas till grundvattentäktens sårbarhet och omkringliggande föroreningsrisker (Havs- och vattenmyndigheten, 2020). Denna rapport behandlar framtagandet av en metod för att riskbedöma föroreningar som kan påverka Rångedalas grundvattenmagasin. Detta för att säkra framtida dricksvattenförsörjning i området. Nedanstående kapitel presenterar bakgrund, syfte och avgränsningar för arbetet.

1.1 Bakgrund

Grundvatten utgör ungefär hälften av den totala dricksvattenförsörjningen i Sverige (Sveriges geologiska undersökning, 2025e). Till skillnad från ytvatten som också är frekvent använt så kräver grundvatten färre reningsåtgärder och är i många fall drickbart direkt efter utvinning från källa (Sveriges geologiska undersökning, 2024g).

För att grundvattenmagasin fortsatt ska kunna nyttjas som dricksvattenkälla krävs det att grundvattnet skyddas från olika föroreningar som kan uppstå till följd av mänsklig aktivitet. Därutöver finns det fler anledningar att skydda ett grundvattenmagasin vilka relaterar till de ekosystemtjänster som grundvattnet tillhandahåller. Enligt (Naturvårdsverket, 2024b) bidrar dessa tjänster till mänsklig livskvalitet och kan främst delas in i fyra kategorier: försörjande, reglerande, kulturella och stödjande.

De försörjande ekosystemtjänsterna refererar till råvaror som kan utvinnas från ekosystemet, så som dricksvatten från grundvatten (Naturvårdsverket, 2024b). Från samma källa definieras de reglerande ekosystemtjänsterna till att tillhandahålla en stabil och hälsosam miljö. Ett exempel på detta är de ekosystem och markprocesser som bidrar till bortfiltrering och avgiftning av föroreningar samt nedbrytning av organiskt avfall (Raid V. m.fl., 2005). De kulturella ekosystemtjänsterna bidrar till upplevelser och livskvalitet där vatten från exempelvis sjöar och vattendrag kan ha en stor påverkan gällande bland annat rekreation och estetik (Bergek m.fl., 2017). Det sistnämnda, stödjande ekosystemtjänster, utgör grunden för de övriga tjänsterna och är en förutsättning för deras funktion (Naturvårdsverket, 2024b). Exempel på en stödjande ekosystemtjänst relaterat till vatten är vattnets kretslopp som är livsnödvändigt för alla livsformer (Raid V. m.fl., 2005).

För att bevara dessa tjänster skyddas majoriteten av grundvattentäkter i Sverige av ett vattenskyddsområde och dess lokalt anpassade föreskrifter (Sveriges Miljömål, u.å.). Dessa har i syfte att komplettera miljölagstiftningen och skydda vattentäkten från förorening. Eftersom förutsättningarna på en plats kan förändras över tid, är implementering av vattenskyddsområden en kontinuerlig process som måste hållas uppdaterad. I Sverige ansvarar Havs- och vattenmyndigheten (HaV) för den riskbedömning som leder fram till implementeringen av ett vattenskyddsområde (Sveriges geologiska undersökning, 2024d).

I Västra Götalands län finns 151 kommunala grundvattentäkter varav en lokaliserats i Rångedala, beläget nordost om Borås i Västra Götaland (Sveriges Miljömål, u.å.). Området är kraftigt kuperat med stor andel skog och åkrar och vattentäkten i området förser ungefär 400 personer med dricksvatten (Borås Stad, 2025b). Detta sker dels från en kommunal brunn, dels från privata brunnar. För nuvarande är ett mindre vattenskyddsområde upprättat kring vattentäkten.

1.2 Syfte och problemformulering

Syftet med arbetet är att skapa en modell för bedömning av föroreningsrisker som kan påverka den kommunala dricksvattenförsörjningen i Rångedala. Modellen ska därefter tillämpas på Rångedala grundvattenmagasin.

Riskmodellen används för att utvärdera sannolikhet och konsekvens för de identifierade riskerna inom grundvattenmagasinets tillrinningsområde. Resultatet kommer utgöra grund för ett förslag på ett vattenskyddsområdes geografiska avgränsning.

Följande frågeställningar har formulerats för att konkretisera arbetet:

- Vilka tänkbara föroreningskällor finns inom grundvattenmagasinets tillrinningsområde?
- Vad har vattnet för sårbarhet, det vill säga hur lätt kan en förorening nå grundvattnet?
- Hur ser grundvattenflödet ut? Hur lätt kan en förorening nå uttagsbrunnen?
- Vad har vattnet för värde? Vad blir konsekvenserna om en förorening når grundvattnet?
- Hur kan risken för en föroreningshändelse uttryckas och bedömas?

1.3 Avgränsningar

Riskbedömningsmetoden utvecklas specifikt för de förhållanden som råder i Rångedala. Området som metoden tillämpas på avgränsas till Rångedala grundvattenmagasin och dess tillrinningsområde. Tillgängliga fakta från tidigare undersökningar om jordegenskaper, grundvatten och topografi för området anses vara tillräcklig för att kunna genomföra arbetet. Därmed utförs inga markundersökningar. Eftersom arbetet syftar till att skapa en egen riskbedömningsmetod och tillämpa den på Rångedala grundvattenmagasin, tas ingen hänsyn till befintliga vattenskyddsområden och tillhörande föreskrifter.

Metoden som utvecklas kommer endast ta hänsyn till händelser som, på grund av mänsklig aktivitet, kan resultera i att föroreningar sprids till den kommunala dricksvattenpumpen. I arbetet antas det att dricksvattnet som utvinns från det aktuella grundvattenmagasinet ska behålla sin kvalitet och att inga ytterligare reningsprocesser ska behövas då vattnet ska kunna skyddas genom uppströms åtgärder. Därför kommer de konsekvenser som en dricksvattenkonsument kan råka ut för vid en oönskad händelse utgå från grundvattenmagasinets naturliga rening.

Arbetet tar inte hänsyn till oförutsägbara händelser som inte kan ingå i motiveringen till geografisk avgränsning av ett vattenskyddsområde. Dessa inkluderar bland annat brand, naturkatastrofer, krig, sabotage och olyckor som är svåra att knyta an till en specifik plats och tidpunkt.

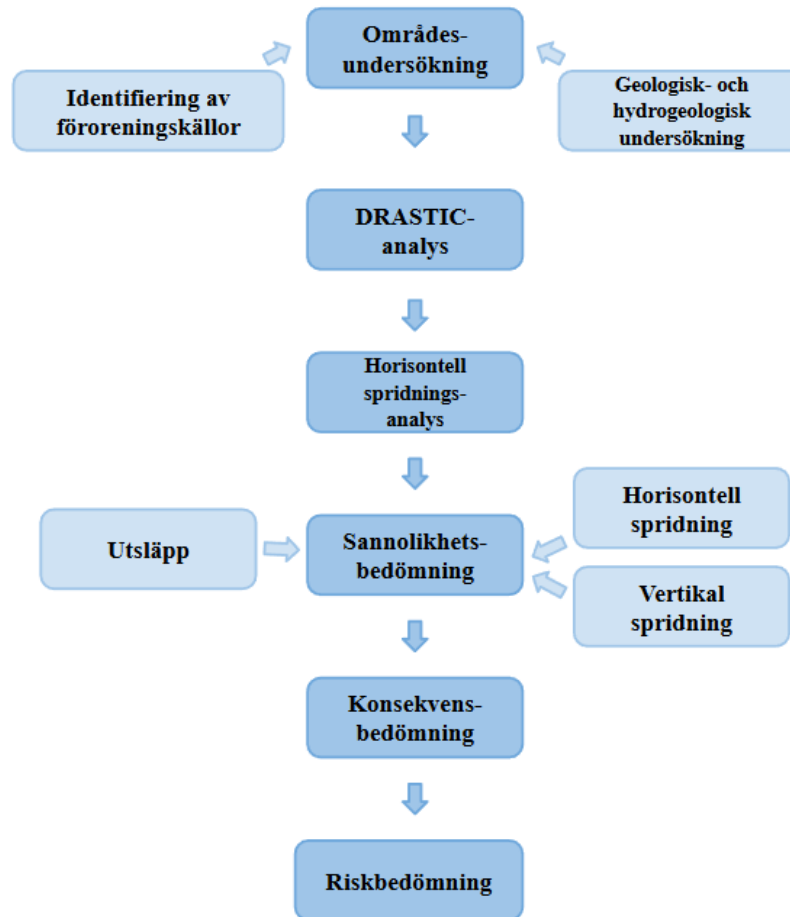
2 Metod för riskbedömning

För att få fram relevant information till beslutstaganden kan en riskbedömning göras (Lindhe, 2010). Bedömningen innefattar uppskattade risknivåer på faror för att sen avgöra hur allvarlig risken är. I vissa fall leder det till att riskhantering krävs, vilket innebär att ta fram åtgärder.

Riskbedömning och riskhantering är det mest effektiva tillvägagångssättet för att garantera säkert dricksvatten (WHO, 2008). Riskbedömningar kan göras på flera olika sätt och till detta arbete ligger en riskrankning till grund för den framtagna metoden. Riskrankning bygger på följande fem huvudsteg enligt Lindhe (2010):

1. Identifiera oönskade händelser.
2. Ta fram konsekvens- och sannolikhetskategorier vilka blir axlarna i en riskmatris.
3. Bestämna de krav som ligger bakom bedömningen av hur allvarlig risken är.
4. Bedöma sannolikhet och konsekvens för de oönskade händelserna.
5. Resultatsammanställning genom att sätta ut riskerna i riskmatrisen och utifrån det göra en utvärdering.

Med de fem ovannämnda stegen har en egen metod tagits fram som utgör grunden för den slutliga riskbedömningen. Metoden inleddes med en områdesundersökning som bestod av en geologisk och hydrogeologisk undersökning samt identifiering av föroreningskällor. Vidare utfördes en DRASTIC-analys och beräkningar med Calculated Fixed Radius method (CFR). Baserat på dessa tre delsteg lades grunden för den sannolikhets- och konsekvensbedömning som genomfördes där olika parametrar utvärderades och poängsattes. Den slutgiltiga riskbedömningen kunde sedan utföras där poängen för sannolikhet och konsekvens sammanställdes till ett riskindex. I figur 1 presenteras ordningen som metodens delsteg utfördes i.



Figur 1. Schematisk bild över arbetets metod.

I kapitel 2.1–2.6 presenteras tillvägagångssättet för metodens olika delsteg ytterligare och i kapitel 3 tillämpas metoden på Rångedala grundvattenmagasin. Därefter följer en diskussion och en slutsats i kapitel 4 och 5.

2.1 Områdesundersökning

En förutsättning för att kunna utföra en tillförlitlig riskbedömning är att inneha en god förståelse för området. Därför inleddes arbetet med en områdesundersökning där parametrar som ansågs relevanta för arbetet undersöktes, med syfte att skapa en helhetsbild av området.

2.1.1 Geologisk och hydrogeologisk områdesundersökning

Till vilken grad ett utsläpp påverkar slutkonsumenten beror i många avseenden på markens egenskaper. För att kunna utföra en omfattande riskbedömning där sårbarhet och horisontell spridning tas i beaktning är det därför väsentligt att undersöka områdets geologiska och hydrogeologiska förutsättningar. Områdets tekniska geologiska egenskaper som jordarter och bergarter, jordlagerföljder och grundvattnets flödesriktningar togs fram med hjälp av bearbetning av data i GIS samt information från Sveriges geologiska undersökning (SGU). För ökad förståelse av landskapets utformning studerades de geologiska förutsättningarna ytterligare vid ett fältbesök.

2.1.2 Identifiering av föroreningskällor

Riskidentifieringen består av en kartläggning av föroreningskällor i grundvattenmagasinets tillrinningsområde, begränsat enligt SGU:s kartvisare (Sveriges geologiska undersökning, 2025c). Vid identifiering av föroreningskällor användes digitala kartor som exempelvis Efterbehandlingskartan (EBH-kartan). Denna karta baseras på uppgifter från Efterbehandlingsstödet (EBH-stödet) som är en nationell databas som förvaltas av respektive länsstyrelse (Länsstyrelserna, u.å.; Ulricehamns kommun, 2024). De identifierade föroreningskällorna verifierades och kompletterades vidare under ett platsbesök.

2.2 Vertikal sårbarhetsbedömning med hjälp av en DRASTIC-analys

Utvärdering av den vertikala spridningen baserades på en sårbarhetsbedömning med hjälp av DRASTIC-metoden. Metoden bygger på ett standardiserat system som används för att klassificera och kartlägga den vertikala sårbarheten hos grundvatten. Samtliga beskrivningar av DRASTIC-analysen är hämtade från Rosén (1991).

Med vertikal sårbarhet menas hur enkelt det är för en förorening vid en viss punkt att vertikalt infiltreras i marken och nå grundvattnet. Den vertikala sårbarheten beror på markens jordegenskaper, områdets grundvattenbildning och grundvattenmagasinets egenskaper och till följd av att dessa parametrar kan variera inom det undersökta området, kan olika delar av samma akvifer ha olika vertikal sårbarhet. Med en DRASTIC-analys bestäms den vertikala sårbarheten genom ett poängsystem där varje punkt över grundvattnet tilldelas en poäng för respektive sju

parametrar. Poängen från de olika kategorierna, tillsammans med kategorins vikt¹ för en generell föroreningstyp, sammanvägs därefter till ett slutgiltigt DRASTIC-index. Samtliga poäng- och viktfördelningar för respektive parameter erhöles från Aller m.fl. (1987).

För illustrering av varje parameters poängfördelning gjordes rasterfiler i programvaran QGIS. Det undersökta området avgränsades till Rångedala grundvattenmagasins närhet. I kapitel 2.2.1–2.2.7 presenteras respektive parameter mer ingående samt metod för framtagning av deras respektive rasterfiler. I kapitel 2.2.8 presenteras tillvägagångssättet för framtagning av det slutgiltiga DRASTIC-indexet för området.

2.2.1 D – Djupet till grundvattenytan

Parameter D beskriver avståndet från markytan ner till grundvattenytan, mätt i meter. Mäktigheten på den omättade zonen är av stor betydelse för hur väl föroreningarna bryts ner i marken. Ett större djup medför längre uppehållstid och därmed större möjlighet för nedbrytning av en förorening innan grundvattnet påverkas. I tabell 1 presenteras poängfördelning och vikt för parameter D.

Tabell 1. Intervall, poängfördelning och vikt för *djup till grundvattenytan (D)*.

| Intervall [m] | Poäng |
|---------------|-------|
| 0–1,5 | 10 |
| 1,5–4,5 | 9 |
| 4,5–9 | 7 |
| 9–15 | 5 |
| 15–23 | 3 |
| 23–30 | 2 |
| >30 | 1 |
| Vikt: 5 | |

¹ Detta arbete använder sig inte av pesticidvikt i definitionen av DRASTIC-metoden då denna viktning riktar sig till förorening med bekämpningsmedel, något som inte kommer vara dimensionerande för följande riskbedömning.

För att beräkna parameter D användes SGU:s databas för brunnar (Sveriges geologiska undersökning, 2024h). Denna fil innehåller information om bland annat placering och grundvattennivåns djup för brunnar i Rångedala med omnejd. Grundvattennivåns djup interpolerades med QGIS inbyggda funktion *IDW Interpolation* vilket resulterade i ett raster. Detta klassificerades sedan enligt poängsystemet för DRASTIC-parametern D, se tabell 1, med hjälp av *Raster calculator*.

2.2.2 R – Grundvattenbildning

Parameter R beskriver hur många millimeter vatten per år, som infiltrerar i marken och når grundvattenytan. Grundvattenbildningen beror på nettonederbörd och evapotranspiration där parametrar som växtperiod, markanvändning och infiltration spelar in. Vattnet som infiltrerar till grundvattnet skapar en transportväg för föroreningar och ju högre grundvattenbildning det är över ett område, desto högre blir sårbarheten fram till dess att föroreningen späds ut. I tabell 2 presenteras poängfördelningen och vikt för parameter R.

Tabell 2. Intervall, poängfördelning och vikt för *grundvattenbildning* (R).

| Intervall [mm/år] | Poäng |
|-------------------|-------|
| 0–50 | 1 |
| 50–100 | 3 |
| 100–175 | 6 |
| 175–250 | 8 |
| >250 | 9 |
| Vikt: 4 | |

För parameter R användes SGU:s databas för grundvattenmagasin (Sveriges geologiska undersökning, 2025d). Denna fil innehåller data på grundvattenbildningen i grundvattenmagasinet och i tillrinningsområdena med enheten mm/år. Ett attribut lades till för lagret där respektive polygon inom det undersökta området tilldelades ett poäng för parameter R enligt tabell 2. Utifrån detta attribut skapades ett raster.

2.2.3 A – Akviferens material

Parameter A beskriver det material som akviferen är uppbyggd av där faktorer som porositet, stratigrafiska förhållanden, kornens storleksfördelning och form, kemisk sammansättning, sprickbildning och vittringsgrad påverkar hur vatten flödar i akviferen. Ett material med förhållanden som möjliggör ett högt vattenflöde innebär högre sårbarhet då föroreningar enklare kan spridas. Detta kan inkludera högpermeabla material med stora kornfraktioner men även berg med stor sprickbildning. Material bestående av kornfraktioner som har stor specifik yta möjliggör däremot för sorption och kan fördröja en förorening. I tabell 3 presenteras poängfördelning och vikt för parameter A.

Tabell 3. Materialtyp, poängfördelning och vikt för *akviferens material (A)*.

| Materialtyper | Typ-poäng |
|-------------------------------------|-----------|
| Massiv skiffer | 1–3 |
| Kristallint berg | 2–5 |
| Vittrat kristallint berg | 3–5 |
| Morän | 4–6 |
| Sandsten/kalksten/lersten i sekvens | 5–9 |
| Massiv sandsten | 4–9 |
| Massiv kalksten | 4–9 |
| Sand och grus | 4–9 |
| Basalt | 2–10 |
| Karst | 9–10 |
| Vikt: 3 | |

För parameter A användes Sveriges lantbruksuniversitets (SLU) databas för hämtning av geodata (Sveriges lantbruksuniversitet, 2025). En jämförelse gjordes mellan lagret *Jordarter 25k-100k_jg2_south* som beskriver jordarters utbredning i området 0,5 m under markytan och lagret med underliggande jordarter. Därefter beslutades att informationen från det förstnämnda lagret var tillräckligt för arbetet. Lagret jg2 gavs ett attribut där varje jordart tilldelades en poäng enligt tabell 3. Av attributet skapades sedan ett raster.

2.2.4 S – Jordmånens material

Parameter S innefattar materialet i markens översta del och poängsätts utifrån jordmånens struktur. Jordmånens är en viktig zon med avseende på möjligheten för föroreningar att spridas och brytas ner då det finns förutsättningar för processer som biologisk nedbrytning, mekanisk filtrering, avdunstning, sorption och kemiska reaktioner. Sårbarheten blir lägre ifall jordmånens innehåller en stor del finmaterial och i de fall då lerans svällningsförmåga är låg, eftersom föroreningens väg genom marken bromsas. Poäng och vikt med hänsyn till jordmånens olika materialtyper redovisas i tabell 4.

Tabell 4. Materialtyp, poängfördelning och vikt för *jordmånens material* (S).

| Materialtyp | Poäng |
|---|-------|
| Mycket tunn eller ingen jordmån | 10 |
| Grus | 10 |
| Sand | 9 |
| Torv | 8 |
| Svällande och/eller aggregatbildande lera | 7 |
| Sandig ”loam” ² | 6 |
| ”Loam” | 5 |
| Siltig ”loam” | 4 |
| Lerig ”loam” | 3 |
| ”Muck” ³ | 2 |
| Homogen lera | 1 |
| Vikt: 2 | |

För parameter S användes SLU:s databas för hämtning av geodata (Sveriges lantbruksuniversitet, 2025). Filen *Jordarter 25k-100k.gpkg* hämtades vilket innehöll lagerna *Jordarter 25k-100k_jy1* samt *Jordarter 25k-100k_jg2_south*. Det första lagret (jy1) beskriver det tunna och osammanhängande lagret jordarter på markytan och ner till ett djup av 0,5 meter. Det andra lagret (jg2) beskriver, som tidigare nämnt, materialet under 0,5 m men detta material

² ”Loam” är en jordart som innehåller 0–50 % sand, 25–50 % silt och 7–27 % ler (Rosén, 1991).

³ ”Muck” är enligt Rosén (1991) ”... en organisk jordart med högre halt av finkornigt, minerogent material än torv.”

kan också förekomma ända upp till markytan. Vid de platser då inget tunt jordlager fanns registrerat i jy1 kompletterades det med data från jg2 och ett kombinerat lager skapades. Ett attribut adderades till det kombinerade lagret där varje jordart tilldelades poäng enligt tabell 4 och från detta skapades ett raster.

2.2.5 T – Topografi

Parameter T skildrar olika lutningar inom det berörda området, vilket påverkar ytavrinning och infiltration. Grundtanken i DRASTIC bygger på antagandet att brantare lutning leder till ökad ytavrinning, vilket i sin tur minskar risken för att föroreningar infiltrerar i marken till grundvattenytan. Därmed innebär kraftigare lutning en lägre sårbarhet medan flacka områden med mindre avrinning resulterar i högre sårbarhet.

Observera att topografi som parameter kan behöva justeras utefter lokala förhållanden. I Sverige och således området Rångedala är ytavrinningen begränsad till följd av tät markvegetation vilket gör att poängsättningen i DRASTIC för topografi förlorar sin relevans. I stället kan topografi och dess poängsättning i sådana sammanhang relatera till hur snabbt grundvattnet rör sig genom marken. Brantare markyta kan indikera snabbare grundvattenrörelser vilket påverkar både strömningshastighet och omsättningstid för grundvattnet. I tabell 5 redovisas intervall, poängfördelning och vikt för parametern T.

Tabell 5. Intervall, poängfördelning och vikt för *topografi* (T).

| Intervall [lutning i %] | Poäng |
|-------------------------|-------|
| 0–2 | 10 |
| 2–6 | 9 |
| 6–12 | 5 |
| 12–18 | 3 |
| > 18 | 1 |
| Vikt: 1 | |

För parameter T användes SLU:s databas för hämtning av geodata (Sveriges lantbruksuniversitet, 2025). Rasterfilen *Höjddata2_mosaik* hämtades och verktyget *slope*

användes för att definiera lutningens variation över det undersökta området. Därefter användes *raster calculator* för att ge de olika lutningarna poäng enligt tabell 5.

2.2.6 I – Omättade zonens material under jordmånen

Parameter I beskriver det geologiska materialets egenskaper, mellan jordmånens undre kant och grundvattenytan, och hur dessa påverkar transport och nedbrytning av föroreningar. I DRASTIC antas det att finkorniga, osorterade material med komprimerade partiklar såsom ler och silt har förmåga att binda och bromsa föroreningar på ett effektivt sätt medan grövre fraktioner som sand, grus och sten ger högre genomsläpplighet och därmed större sårbarhet för grundvattnet. Sprickbildning i berg kan göra området sårbart genom att skapa snabba transportvägar för föroreningar, trots låg total porositet.

Mellan jordmån och grundvattenyta kan framför allt avdunstning, sorption, filtrering och mikrobiell nedbrytning fördröja och reducera eventuella föroreningar som rinner genom zonen. Effekterna är dock generellt mer effektiva närmre markytan och avtar med djupet. Avseende materialklassificering är den omättade zonens material under jordmånen snarlik akviferens material (parameter A) men saknar en specifik kategori för morän, vilket inte gör den helt anpassad för svenska förhållanden. I tabell 6 redovisas materialtyp, poängfördelning samt vikt för parameter I.

Tabell 6. Materialtyp, poängfördelning och vikt för *den omättade zonens material under jordmånen (I)*.

| Materialtyp | Poäng |
|--|-------|
| Tätande lager | 1 |
| Silt/lera | 2–6 |
| Skiffer | 2–5 |
| Kristallint berg | 2–8 |
| Kalksten | 2–7 |
| Sandsten | 4–8 |
| Kalksten/sandsten/lersten i sekvens | 4–8 |
| Sand och grus med betydande mängd silt och ler | 4–8 |
| Sand och grus | 6–9 |
| Basalt | 2–10 |
| Karst | 8–10 |
| Vikt: 5 | |

För parameter I användes filen *Jordarter 25k-100k_jg2_south* från SLU:s databas för hämtning av geodata (Sveriges lantbruksuniversitet, 2025). Alla identifierade material var inte poänggivna i DRASTIC-metoden så en poängbedömning för respektive material gjordes utifrån tabell 6. De material som kunde identifieras presenteras i tabell 7 nedan tillsammans med en bedömning av poäng för parameter I.

Tabell 7. Bedömning av jordarternas poäng för *den omättade zonens material under jordmånen (I)*.

| Materialtyp | Poäng |
|-----------------------|---------------|
| Mossetorv | 4 |
| Kärrtorv | 4 |
| Svämsediment ler-silt | 3 |
| Svämsediment sand | 8 |
| Postglacial finsand | 8 |
| Postglacial sand | 8 |
| Glacial silt | 3 |
| Isälvs sediment | 8 (sand/grus) |
| Vatten | 10 |
| Grusig morän | 9 (grus) |
| Sandig morän | 7 (sand) |
| Fyllning | 8 |
| Urberg | 4 |

Ett attribut skapades för lagret där respektive material inom det undersökta området gavs en poäng enligt tabell 7. Utifrån detta attribut skapades ett raster.

2.2.7 C – Hydraulisk konduktivitet i akvifermaterial

Den hydrauliska konduktiviteten i akvifermaterial anger med vilken hastighet, uttryckt i meter per sekund, som en vätska kan röra sig genom akviferens material under en specifik hydraulisk gradient. Hastigheten hos grundvattnet beror inte bara på akvifermaterialens egenskaper som beskrevs i kapitel 2.2.3 utan även grundvattenbildningen. Därför är det värt att notera att parameter C beskriver materialets förutsättningar att transportera vatten och inte alltid hastigheten på den verkliga grundvattentransporten. Vid en DRASTIC-analys innebär en lägre hydraulisk konduktivitet en ökad chans att en förorening hinner brytas ner i det geologiska materialet innan det sprids över ett område. Poäng och vikt med hänsyn till akvifermaterialens hydrauliska konduktivitet redovisas i tabell 8.

Tabell 8. Intervall, poängfördelning och vikt för *hydraulisk konduktivitet (C)*.

| Hastighet [m/s] | Poäng |
|---|-------|
| $< 5 \times 10^{-5}$ | 1 |
| $5 \times 10^{-5} - 1,5 \times 10^{-4}$ | 2 |
| $1,5 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-4}$ | 4 |
| $3 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-4}$ | 6 |
| $5 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$ | 8 |
| $> 1 \times 10^{-3}$ | 10 |
| Vikt: 3 | |

För den hydrauliska konduktiviteten i akvifermaterialen lades ett attribut till i lagret för akvifermaterialen i det undersökta området. Bedömningar för varje materials hydrauliska konduktivitet gjordes baserat på Bovin m.fl. (2015) och ett attribut adderades till lagret där varje material gavs en poäng enligt tabell 8. Slutligen gjordes ett raster utifrån attributet.

2.2.8 Slutgiltigt DRASTIC-index

För att erhålla det slutgiltiga DRASTIC-indexet för en given punkt, multiplicerades vikten för respektive parameter med dess poäng. Dessa summerades sedan enligt ekvation 1. Indexen V och P betecknar vikt respektive poäng.

$$DRASTIC - index = D_V D_P + R_V R_P + A_V A_P + S_V S_P + T_V T_P + I_V I_P + C_V C_P \quad (\text{Ekvation 1})$$

Det resulterande DRASTIC-indexet har ett värde mellan 26 och 226 där ett högre värde innebär att grundvattnet i den punkten är mer sårbart och lättare kan nås av en förorening. Metoden för framtagning av ett DRASTIC-index är utvecklad för att hanteras i geografiska informationssystem (GIS). Resultatet presenteras i en tematisk karta och sårbarheten representeras av färgerna enligt tabell 9 nedan.

Tabell 9. Färgrepresentationer för olika värden i det slutgiltiga DRASTIC-indexet.

| Värde | Färg |
|---------|----------|
| <80 | Violett |
| 80–99 | Mörkblå |
| 100–119 | Ljusblå |
| 120–139 | Mörkgrön |
| 140–159 | Ljusgrön |
| 160–179 | Gul |
| 180–199 | Orange |
| >199 | Röd |

För att sammanställa alla enskilda parametrars index till ett totalt DRASTIC-index för varje ytenhet inom akviferens område användes *Raster calculator*. Raster från alla parametrar multiplicerades med deras vikt enligt tabell 1–8 och summerades därefter till ett raster som representerar områdets sårbarhet mätt i det slutgiltiga DRASTIC-indexet.

2.3 Horisontell sårbarhetsbedömning genom tillämpning av Calculated Fixed Radius method

Vid bedömning av grundvattnets horisontella sårbarhet användes Calculated Fixed Radius method (CFR) för att skapa fem zoner kring uttagsbrunnen. Varje zon representerar det tidsintervall som det tar för grundvattnet och en eventuell förorening i zonen att flöda till uttagsbrunnen. Nedan presenteras inledningsvis hur radien för dessa zoner bestämdes med CFR-metoden och därefter hur resultatet användes för att illustrera zonerna i QGIS.

CFR-metoden beskriver grundvattenflödet genom marken (U.S. Environmental Protection Agency, 1987). I metoden används brunnens uttagshastighet, markens porositet och ett förutbestämt tidsintervall för att bestämma radien till ett cirkulärt område kring brunnen. Den cirkulära ytan estimerar den area som grundvattnet befinner sig inom och som kommer pumpas upp av brunnen under det bestämda tidsintervallet. Formeln för CFR-metoden följer enligt ekvation 2 nedan.

$$r = \sqrt{\frac{Q*t}{\pi*n*H}} \quad (\text{Ekvation 2})$$

Variablerna i ekvation 2 uttrycks enligt följande:

r = radie, mätt från brunnen [m].

Q = uttagsmöjlighet [m^3/s].

n = akviferens porositet [-].

H = längden av brunns sida i kontakt med grundvattnet [m].

t = tillrinningstid [s].

För tillrinningstiderna (t) användes två olika värden som baseras på hur lång tid det tar för en organiskt nedbrytbar förorening att brytas ned. Efter 100 dagar har de flesta föroreningar hunnit brytas ned och efter ett år har alla föroreningar hunnit brytas ned (Naturvårdsverket, 2011). På detta sätt bildas tre zoner vilka är följande:

- Primär zon: inom denna zon tar det mindre än 100 dagar för grundvattnet att ta sig till uttagsbrunnen. En organiskt nedbrytbar förorening som hamnar i denna zon kommer inte hinna brytas ned utan når uttagsbrunnen.
- Sekundär zon: inom denna zon tar det mellan 100 dagar och ett år för grundvattnet att ta sig till uttagsbrunnen. Vissa organiskt nedbrytbara föroreningar i denna zon kommer inte hinna brytas ned utan når uttagsbrunnen.
- Tertiär zon: inom denna zon tar det över ett år för grundvattnet att ta sig till uttagsbrunnen. En organiskt nedbrytbar förorening i denna zon kommer hinna brytas ned.

Även för porositeten användes två värden inom intervallet för sand och grus enligt Wilhelmson Håkan & Brorsson Inge (1986) på grund av den oregelbundna kornstorleken i materialet. Eftersom en oväntat hög förekomst av porutrymmen innebär en högre flödes hastighet av både grundvatten och en eventuell förorening så kan detta medföra en fara. Därför användes både genomsnittsvärdet för akvifer materialets porositet i Rångedalas grundvattenmagasin samt det högst uppmätta värdet när CFR-metoden tillämpades för att beräkna den primära och sekundära

zonen kring uttagsbrunnen. Detta ledde till att fyra zoner bildades kring varje brunn, två primära och två sekundära. Den sista zonen består av området utanför de fyra beräknade zonerna. Dessa fem zoner namnges enligt tabell 10 nedan.

Tabell 10. Definition av zonerna för horisontell sårbarhet.

| Zon | Beskrivning |
|----------------|---|
| P _f | Primär zon, förväntad porositet. |
| P _v | Primär zon, högst uppmätta porositet. |
| S _f | Sekundär zon, förväntad porositet. |
| S _v | Sekundär zon, högst uppmätta porositet. |
| T | Tertiär zon. |

För att skapa de fem zonerna hämtades värden för Q och H från Lång & Lindh (2015) och grundvattendata från Sveriges geologiska undersökning (2025d). Värden för n hämtades från Wilhelmson & Brorsson (1986). Därefter beräknades radien för de fyra innersta zonerna med CFR-metoden vilka användes för att skapa fyra cirklar kring uttagsbrunnen i QGIS med verktyget *Buffert*. Den sista zonen (T) omfattar allt område utanför de fyra cirklarna.

Noterbart är att det även kan förekomma icke organiskt nedbrytbara föroreningar. Vissa av dessa kan fångas upp i marken och kommer då, tillsammans med organiskt nedbrytbara föroreningar, inkluderas i begreppet icke vattentrogna föroreningar vilka bedöms påverkas av zonerna ovan. De icke organiskt nedbrytbara föroreningar som inte fångas upp i marken benämns som vattentrogna och bedömdes inte påverkas av zonerna. För de vattentrogna föroreningarna innebär en längre transporttid och transportsträcka att området blir mindre sårbart. Detta på grund av att åtgärder kan hinna implementeras och att möjligheten för föroreningen att spädas ut eller passera utanför brunnens uttagsområde ökar. Därför gjordes bedömningen att sårbarheten för en vattentrogen föroreningsspridning i det horisontella ledet är störst inom zon S_v, medelstor uppströms brunnen och låg nedströms brunnen.

2.4 Sannolikhetsbedömning

Sannolikhetsbedömningen baserades på tre parametrar: sannolikhet att utsläpp av en förorening sker, sannolikhet för vertikal spridning av en förorening till grundvattnet och sannolikhet för horisontell spridning av en förorening i grundvattnet till uttagsbrunn. Dessa tre parametrar bedömdes med ett poäng mellan 0–10 där poängsättning endast baserades på resonemang snarare än exakta statistiska sannolikhetsvärden. Parametrarna för respektive sannolikhet multiplicerades enligt ekvation 3 och sammanställdes sedan till ett slutgiltigt sannolikhetsvärde som tilldelades en sannolikhetskategori S1-S5 enligt tabell 11.

$$S_U * S_V * S_H = S_{\text{värde}} \quad (\text{Ekvation 3})$$

S_U = Sannolikhet för utsläpp

S_V = Sannolikhet för vertikal spridning

S_H = Sannolikhet för horisontell spridning

$S_{\text{värde}}$ = Sannolikhetsvärde

Tabell 11. Samband mellan slutgiltigt sannolikhetsvärde och sannolikhetskategori.

| Värde | Kategori | Beskrivning |
|------------|----------|-------------------------|
| 0–200 | S1 | Mycket låg sannolikhet. |
| > 200–400 | S2 | Låg sannolikhet. |
| > 400–600 | S3 | Medel sannolikhet. |
| > 600–800 | S4 | Hög sannolikhet. |
| > 800–1000 | S5 | Mycket hög sannolikhet. |

2.4.1 Sannolikhet för utsläpp

Verksamheter och händelser som kan resultera i förorening av grundvattenmagasinet kartlades i identifieringen av föroreningskällor. Följaktligen utfördes en sannolikhetsbedömning baserat på en utvärdering av nedanstående frågeställningar:

- Hur aktiv är verksamheten? Hur vanligt förekommande är aktiviteten?
- Utgör skadliga ämnen och kemikalier en stor del av verksamheten/aktiviteten?
- Förekommer kontinuerliga utsläpp?

Med hjälp av frågeställningarna fördes resonemang kring varje verksamhet samt aktivitet för att kunna poängsätta dess sannolikhet för utsläpp på en poängskala mellan 0–10. En poäng på 0 innebär att det, enligt resonemang, inte föreligger någon sannolikhet för att utsläpp sker medan en poäng på 10 motsvarar total sannolikhet att utsläpp sker. Däremellan varierar poängsättningen för att utsläpp sker i fem jämna intervall mellan 0–10 enligt tabell 12. Där avgörs även hur sannolikheten för utsläpp kvantifieras, med tillhörande beskrivning av vad olika poäng innebär i termer av förekomst.

Tabell 12. Poäng och tillhörande beskrivning relaterat till sannolikhet för utsläpp.

| Poäng | Beskrivning |
|-------|--|
| 0–2 | Mycket låg sannolikhet (stabil verksamhet, förmodligen inga framtida utsläpp). |
| >2–4 | Låg sannolikhet (låg risk för utsläpp men kan förmodligen förekomma). |
| >4–6 | Medel sannolikhet (punktutsläpp bedöms kunna förekomma). |
| >6–8 | Hög sannolikhet (regelbundna utsläpp bedöms ske). |
| >8–10 | Mycket hög sannolikhet (utsläpp bedöms ske kontinuerligt). |

2.4.2 Sannolikhet för vertikal spridning

Hur enkelt en förorening når ner till grundvattnet påverkas bland annat av var föroreningshändelsen sker geografiskt. Utifrån den vertikala sårbarhetsbedömning som genomfördes erhöles ett resultat i form av det slutgiltiga DRASTIC-indexet.

För att möjliggöra en sammanvägning av de tre sannolikhetsparametrarna viktades DRASTIC-indexet så att det kunde betygsättas inom samma poängintervall, 0–10, som de övriga parametrarna. Se tabell 13 för indelning.

Tabell 13. Värde och tillhörande beskrivning relaterat till sårbarhet.

| DRASTIC-index | Värde | Beskrivning |
|---------------|-------|-----------------------|
| 26–100 | 0–2 | Mycket låg sårbarhet. |
| >100–120 | >2–4 | Låg sårbarhet. |
| >120–140 | >4–6 | Medel sårbarhet. |
| >140–180 | >6–8 | Hög sårbarhet. |
| >180–226 | >8–10 | Mycket hög sårbarhet. |

2.4.3 Sannolikhet för horisontell spridning

Spridning av en förorening i det horisontella ledet kan ske genom transport på markytan och transport i grundvattnet. Avseende tillrinning av ytvatten är föroreningarnas transport i dessa inte relevant i svenska förhållanden på grund av att nederbörden sällan överstiger markens infiltrationskapacitet och att riklig vegetation leder till stor interception (Rosén, 1991). Till den horisontella sårbarhetsbedömningen beaktades därför endast spridning av en förorening i grundvattnet. Sannolikheten för horisontell spridning baserades på föroreningens utsläppningsplats och tilldelades ett värde mellan 0–10 enligt tabell 14 nedan.

Tabell 14. Värde och tillhörande beskrivning relaterat till sannolikhet för horisontell spridning.

| Värde | Beskrivning | Definition |
|-------|-------------------------|---|
| 0–2 | Mycket låg sannolikhet. | En icke vattentrogen förorening befinner sig i zon T. En vattentrogen förorening befinner sig i zon T nedströms brunnen. |
| >2–4 | Låg sannolikhet. | En icke vattentrogen förorening befinner sig i zon S _v . En vattentrogen förorening befinner sig på en plats i zon T där grundvattenflödet inte kan passera brunnen?) |
| >4–6 | Medel sannolikhet. | En icke vattentrogen förorening befinner sig i zon S _f . En vattentrogen förorening befinner sig i zon T uppströms brunnen. |
| >6–8 | Hög sannolikhet. | En icke vattentrogen förorening befinner sig i zon P _v . En vattentrogen förorening befinner sig inom zon S _v . |
| >8–10 | Mycket hög sannolikhet. | En icke vattentrogen förorening befinner sig i zon P _f . En vattentrogen förorening befinner sig inom zon S _v . |

2.5 Konsekvensbedömning

Konsekvensbedömningen baserades på en parameter vilken är konsekvensen på grundvattnets kvalitet ifall en förorening når dricksvattnet. Utifrån kartläggningen av föroreningskällor utfördes en konsekvensbedömning baserat på en utvärdering av nedanstående frågeställningar:

- Vad är förväntad mängd utsläpp från verksamheten/aktiviteten?
- Vilken farlighet har utsläppet på människor?

Farligheten bedömdes utifrån att ingen ytterligare rening görs. I stället gjordes en generell bedömning av föroreningens påverkan, så som färg, smak och lukt på dricksvattnet samt hälsorisker för människor men utan hänsyn till påverkan på ekosystem. För varje kartlagd föroreningskälla bedömdes föroreningens mängd och allvarlighetsgrad på en sammanvägd poängskala mellan 0–10, där 0 innebär en obetydlig påverkan på kvaliteten och 10 innebär en betydande påverkan som kan medföra hälsorisker på både kort och lång sikt. Beroende på tilldelad poäng delades verksamheter och aktiviteter in i konsekvenskategorierna K1-K5. För värden och uppdelningar av konsekvensbedömningen, se tabell 15.

Tabell 15. Samband mellan slutgiltigt konsekvensvärde och konsekvenskategori med tillhörande beskrivning.

| Värde | Kategori | Beskrivning |
|-------|----------|---|
| 0–2 | K1 | Mycket låg konsekvens (obetydlig kvalitetspåverkan). |
| >2–4 | K2 | Låg konsekvens (liten estetisk påverkan som smak och lukt). |
| >4–6 | K3 | Medel (påtaglig estetisk påverkan som smak och lukt). |
| >6–8 | K4 | Hög konsekvens (kvalitetspåverkan som kan medföra vissa hälsoeffekter). |
| >8–10 | K5 | Mycket hög konsekvens (betydande kvalitetspåverkan som kan medföra allvarliga hälsoeffekter). |

2.6 Riskbedömning

Sannolikhetskategorin och konsekvenskategorin sattes in i riskmatrisen, se tabell 16. Riskbedömningen utfördes sedan genom avläsning i riskmatrisen där färgkodningen gav en indikation gällande riskens påtaglighet. Röd färg motsvarar hög risk, gul måttlig risk och grön låg risk. Riskbedömningsmatrisen är av icke-linjär karaktär då konsekvensen av en föroreningshändelse anses mer avgörande än sannolikheten för att det inträffar. Utifrån den slutgiltiga riskbedömningen föreslogs ett vattenskyddsområdes geografiska avgränsning där de verksamheter som utgjorde störst risk togs i beaktning.

Tabell 16. Sannolikhets- och konsekvensmatris för analys av riskbedömning.

| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| S5 | Yellow | Red | Red | Red | Red |
| S4 | Yellow | Yellow | Red | Red | Red |
| S3 | Green | Yellow | Yellow | Red | Red |
| S2 | Green | Green | Yellow | Yellow | Red |
| S1 | Green | Green | Green | Yellow | Red |
| | K 1 | K 2 | K 3 | K 4 | K 5 |

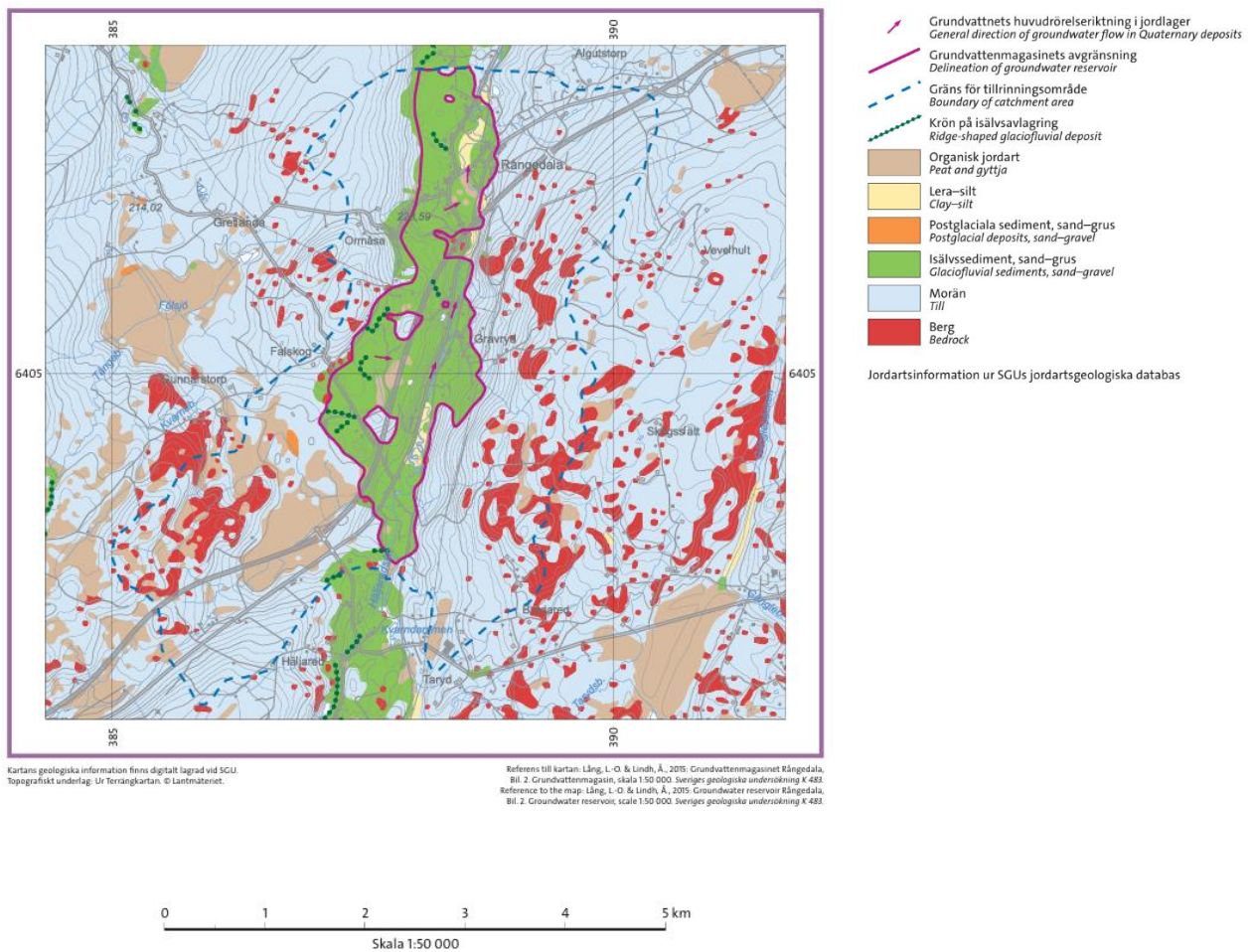
3 Tillämpning av metod på Rångedala

I nedanstående kapitel presenteras riskbedömningsmetoden, tillämpad på Rångedalas grundvattenmagasin med tillrinningsområde. I delkapitel, 3.1–3.2, presenteras den områdesundersökning som har tagits fram. Vidare presenteras riskbedömningen i delkapitel 3.3–3.5. Slutligen, i kapitel 3.6, presenteras ett förslag på ett vattenskyddsområdes avgränsning.

3.1 Geologisk och hydrogeologisk områdesundersökning

I detta kapitel är innehållet gällande Rångedalas områdesbeskrivning hämtat från Lång & Lindh (2015) om inga andra källor anges.

Rångedalas grundvattenmagasin är beläget i en del av Toarpsdalen där isälvsavlagringar, bestående av sand och grus, återfinns. Dessa befinner sig i sin tur ovanför högsta kustlinjen. Avlagringarna avsattes som isälvs sediment i form av bland annat sten, grus och sand då isälvar drevs framåt på, i och under inlandsisen (Sveriges geologiska undersökning, 2020). Isälvsavlagringarna är viktiga ur ett dricksvattenperspektiv då dessa agerar som naturliga reningsverk och som magasin för dricksvatten (Sveriges geologiska undersökning, 2020). När isälvsavlagringen avsattes i området kring Rångedala bildades egenformer i form av åsar, kullar och terrasser. På flera platser i dalgången återfinns också issjösediment, främst bestående av finsand eller silt, till följd av en tidigare issjö som täckte området vid isavsmältningen. I figur 2 karteras de olika jordarterna i området.



Figur 2. Jordarter i och kring Rångedala. Bild hämtad från Lång & Lindh (2015). Återgiven med tillstånd.

Dalgångens sträckning är främst i en nordlig till sydlig riktning, med en svag sluttning mot norr. Rångedalaåsen och Häljaredsås återfinns i anslutning till magasinets läge. Åsen löper längsmed dalgången och i magasinets södra del ansluter Häljaredsås och löper längs den östra delen av magasinet vidare norrut där ån skiftar namn till Rångedalaån. Vid Ormåsa och Lyckegården, som ligger i anslutning till grundvattenmagasinet, finns data om ett varierande jorddjup mellan 9–16 meter där berg går upp i dagen vid Ormåsa. Berggrunden består i sin tur främst av grå, ådrad gnejs med granodioritisk till granitisk sammansättning.

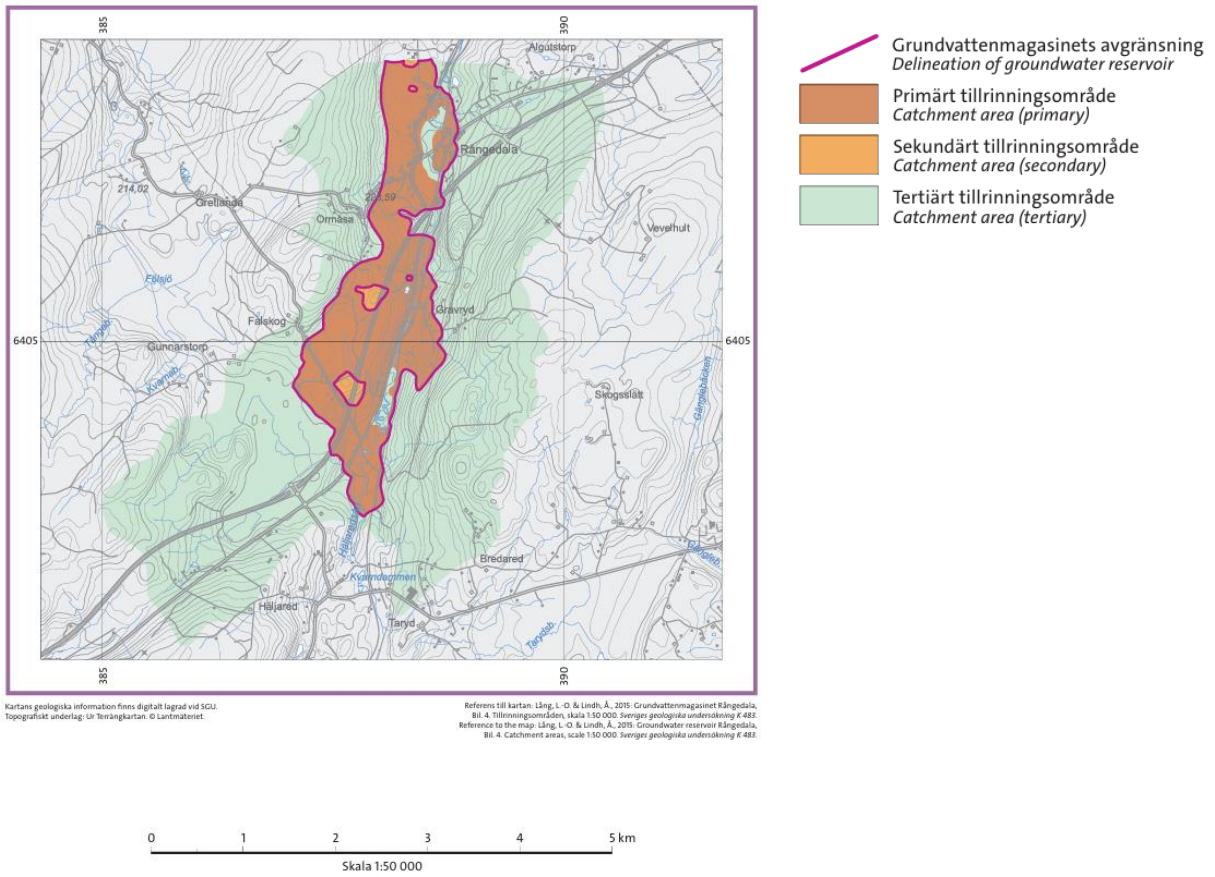
De hydrogeologiska förhållandena styrs av ett antal faktorer. Dessa gäller främst kombinationen av hållar inom området, olika jorddjup samt terrängläget innehållandes isälvsavlagringen vilket främst återfinns i den västra sluttningen av dalgången. Grundvattenströmningen sker främst mot öster vidare till Rångedalaån. Här är en bidragande faktor terrängläget samt de bergtrösklar som sträcker sig i riktning öst till väst tvärs över åssträckningen. Annat gäller för

grundvattenströmningen i dalgångens botten där den i stället sker från söder till norr, vilket även återspeglar Rångedalaåns riktning.

Vid djupare analys av isälvsavlagringarna uppdagas att det finns en större andel grövre fraktioner i den västra delen men att områdets mäktighet är liten. I kontrast till den västra delen innehåller den östra delen en större andel mättad zon men har i stället en annan sammansättning av isälvsavlagringen. Här återfinns, till skillnad från den västra delen, en mer varierande sammansättning samt finkorniga issjösediment. I rapporten dras en slutsats utifrån dessa förutsättningar att tillgången på grundvatten är liten. Ytterligare en bidragande orsak till den begränsade tillgången på grundvatten är att kontakten mellan den västra respektive östra delen av magasinets avgränsning är begränsade.

En annan parameter som är viktig för att förstå grundvattnets funktionalitet är dess tillrinningsområden och dess naturliga grundvattenbildning. Till Rångedala grundvattenmagasin tillförs vatten främst genom nederbörd och tillrinning. Nederbörden hamnar på avlagringen medan tillrinningen sker från berg- och moränterräng i anslutning till magasinet.

En viktig del av områdesavgränsningen som används för att kunna presentera en slutsats är just tillrinningsområdenas avgränsning för grundvattentäkten. Dessa kan i sin tur delas upp i primärt, sekundärt och tertiärt tillrinningsområde med tillhörande naturligt tillförd grundvattenbildning, se tabell 17. I samma tabell återfinns även en beskrivning av de olika områdena och hur de urskiljer sig. För en visuell bild av tillrinningsområdenas avgränsning, se figur 3.

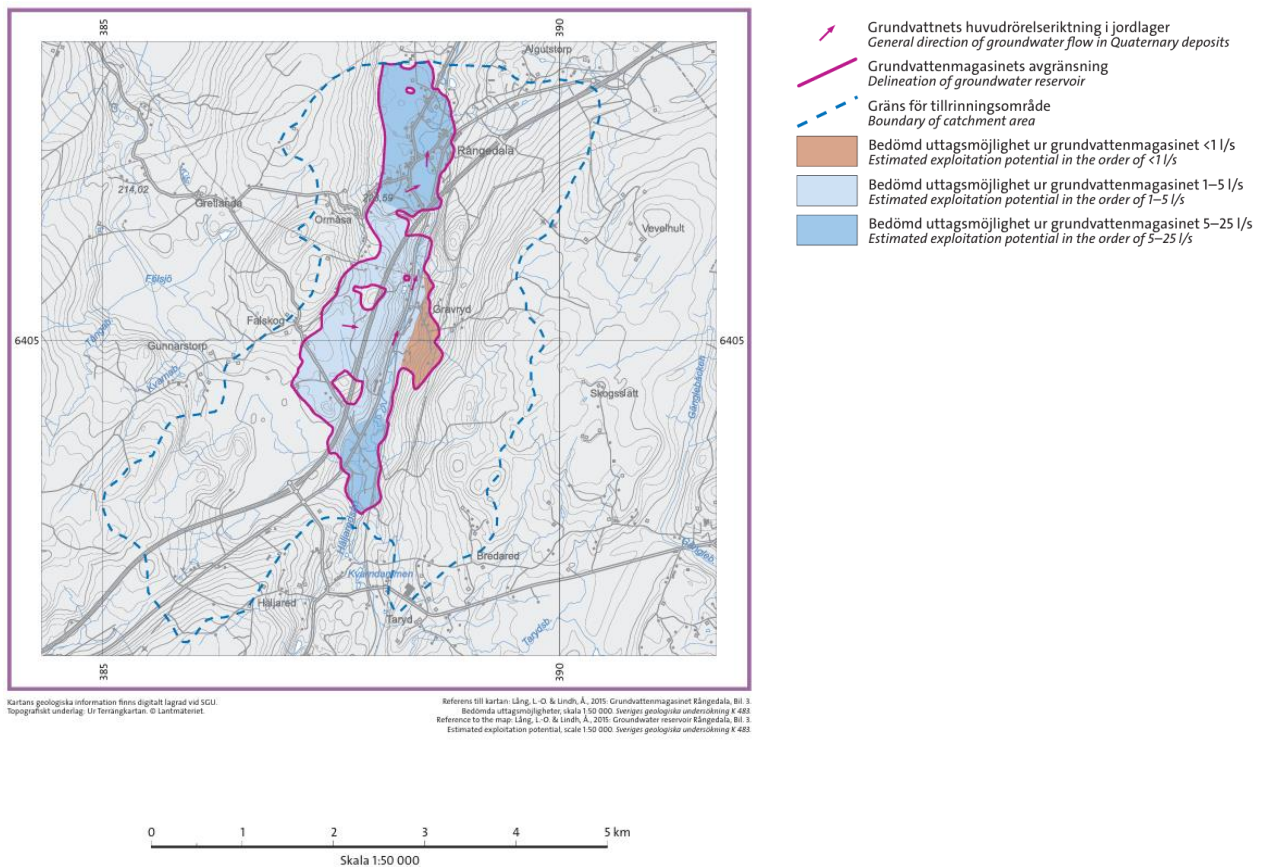


Figur 3. Det primära, sekundära och tertiära tillrinningsområdet tillhörande grundvattenmagasinet. Bild hämtad från Lång & Lindh (2015). Återgiven med tillstånd.

Tabell 17. Tabell med tillhörande information för respektive tillrinningsområde, bedömt vattenflöde till grundvattenmagasinet samt beskrivning av tillrinningsområde. Data och information är hämtad från Lång & Lindh (2015).

| Tillrinningsområde | Yta [km²] | Bedömt vattenflöde till magasinet [l/s] | Beskrivning av tillrinningsområde |
|---------------------------|-----------------------------|--|---|
| Primärt | 3,6 | 62 | Grundvattenmagasinet går upp i dagen. Hela eller en stor del av den effektiva nederbörden infiltreras ner till grundvattenmagasinet. |
| Sekundärt | 0,14 | 2 | Grundvattenmagasinet går inte upp i dagen. Hela eller en stor del av den effektiva nederbörden infiltreras ner till grundvattenmagasinet. |
| Tertiärt | 6,9 | Ej bedömd | Endast en del av den effektiva nederbörden infiltreras ner till grundvattenmagasinet. Läckage från markområden ovan eller i nära anslutning till magasinet kommer eller bedöms kunna inträffa vid specifika förhållanden. |

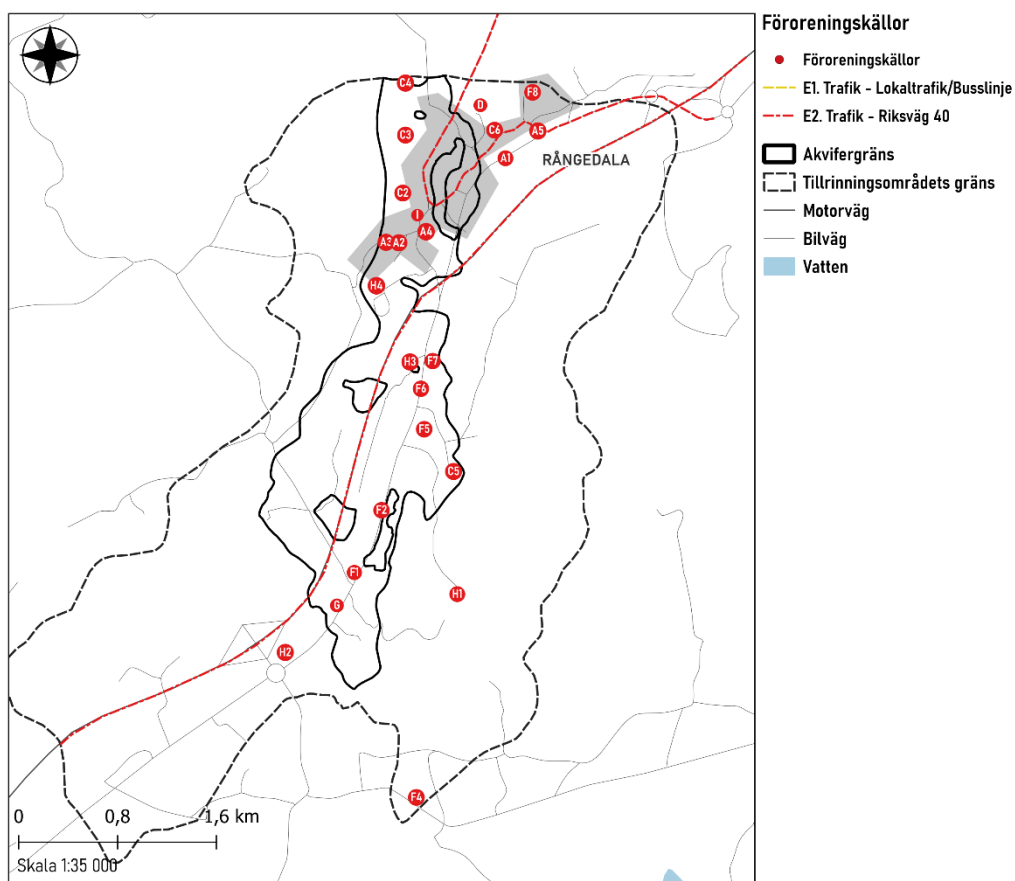
Av allt att döma är det flertalet parametrar som styr grundvattenmagasinet förutsättningar för att vara en vattentäkt, vilket denna områdesundersökning har klarlagt. Med insamlade fakta bedömdes uttagsmöjligheterna vara störst i magasinets norra del, med undantag för ett mindre område i söder, med en uttagsmöjlighet på 5–25 l/s och 1–5 l/s i den centrala delen, se figur 4. Uttag av dricksvatten sker genom främst en brunn vars djup är 14 meter, år 2007 var dess medeluttag 66 m³ per dygn.



Figur 4. Grundvattenmagasinet uttagsmöjligheter. Bild hämtad från Lång & Lindh (2015). Återgiven med tillstånd.

3.2 Identifiering av föreningskällor

I följande avsnitt presenteras identifierade föreningskällor inom Rångedalas tillrinningsområde. Dessa presenteras i kapitel 3.2.1–3.2.9 under kategorierna: bebyggelse, energianläggning, jordbruksverksamhet och djurhållning, kommunalt avloppsreningsverk, riksväg 40 och övrig trafik, åkeri och bilvårdsanläggning, bergtäkt och grustäkt, byggföretag samt kyrka och kyrkogård. I figur 5 illustreras ungefärlig lokalisering av föreningskällorna i området. I tabell 18 förtydligas samband mellan föreningskategorier och dess index. Till samtliga delkapitel presenteras beskrivningar med tillhörande konsekvenser, till följd av förenings-spridning inom området. Dessa påverkar värdesättningen för sannolikhet att utsläpp sker och arbetets konsekvensbedömning. Bedömningen utförs utan hänsyn till rådande föreskrifter till följd av befintliga vattenskyddsområden.



Figur 5. Identifierade föroreningskällor inom Rångedala grundvattenmagasins tillrinningsområde och deras position.

Tabell 18. Förtydligande av index och tillhörande riskkategori.

| Index | Beskrivning |
|-------|--------------------------------------|
| A | Bebyggelse |
| B | Energianläggning |
| C | Jordbruksverksamhet och djurhållning |
| D | Kommunalt avloppsreningsverk |
| E | Riksväg 40 och övrig trafik |
| F | Åkeri och bilvårdsanläggning |
| G | Byggföretag |
| H | Bergtäkt/grustäkt |
| I | Kyrka och kyrkogård |

3.2.1 Bebyggelse

Bebyggelse medför mänsklig aktivitet och nödvändiga samhällsfunktioner som kan utgöra en risk för grundvattnets kvalitet. Funktioner som samhället är beroende av är exempelvis dagvattenhantering, avloppshantering, utbildning och transport. Inom samhällen förekommer hårdgjorda ytor i form av asfalterade vägar och kompakt mark vilket kan påverka spridningsvägar och lokal ytavrinning i området. Nedan presenteras aktiviteter och verksamheter som vanligtvis förekommer inom bebyggelse.

Dagvattenhantering

Dagvatten kallas det regn- och smältvatten som rinner av från vägar och byggnader (Göteborgs Stad, u.å.-a). Vid kraftigt regn kan dagvattensystem bli överbelastade på grund av att de inte kan hantera mängden inkommande vatten. I kombinerade ledningsnät där dagvatten och hushållens spillvatten delar huvudledning riskerar bräddning att ske och orenat vatten kan tränga upp genom gatubrunnar och riskerar att spridas till omgivande mark och vattendrag (Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp, u.å.). Innan avloppsreningsverk började byggas på 1950-talet, anlades vanligtvis kombinerade ledningssystem där dagvatten och spillvatten delade rör. Därefter blev separata ledningssystem normen då de är säkrare mot bräddning.

Enskilt avlopp

Enligt Evelina Holmgren (personlig kommunikation, 4 april 2025) är spillvattnet från samhället i Rångedala påkopplat till ett avloppsreningsverk som är dimensionerat för 500 personekvivalenter. Avloppsreningsverket är beläget nordost om Rångedala. Därtill är det troligt att vissa fastigheter har enskilt avlopp vilket innebär att spillvattnet behandlas lokalt i stället för att det leds vidare och renas hos kommunens avloppsreningsverk. För att beviljas anläggande av enskilt avlopp i Borås kommun krävs tillstånd från Miljö- och konsumentnämnden (Borås Stad, 2025a). När avloppssystemet har installerats ska det vara möjligt att kvalitetssäkra reningsprocessen genom provtagning av utgående vatten men det finns inga specifika krav på hur reningen ska utföras (Avloppsguiden, u.å.; Göteborgs Stad, u.å.-b). Hushållens avloppsvatten kan exempelvis innehålla läkemedelsrester, mikroplaster, PFAS, organiska och oorganiska kemikalier, radioaktiva ämnen, olja, organiskt material, kväve- och fosforrika föreningar och patogena organismer som bakterier, virus och protozoer (Britannica, 2025; Corpus m.fl., 2024). Protozoer är encelliga parasiter och exempel på dessa

är giardia lamblia, cryptosporidium parvum och toxoplasma (Livsmedelsverket, 2024b, 2025b, 2025d). Smittämnen som virus, bakterier och parasiter kan spridas via vatten och den främsta hälsoeffekten till följd av förorenat vatten är maginfektioner och tarminfektioner (Folkhälsomyndigheten, 2016). Uppvisade symptom beror på det smittämne som konsumenten är infekterad av, dessa kan exempelvis vara diarré, buksmärta, kräkningar, illamående och huvudvärk. Om en person med nedsatt immunförsvar blir infekterad så kan allvarligare och mer långvariga symptom uppkomma.

Enligt Sveriges geologiska undersökning (2025a) kan lösta och suspenderade läkemedelsrester infiltrera direkt till mark och grundvatten vid nyttjande av enskilt avlopp. Vatten som inte renas från läkemedelsrester kan leda till hälsopåverkan hos konsumenter vid intag av dricksvatten och mat (Naturvårdsverket, 2024d). Exempelvis kan rester av antibiotikasubstans leda till att bakterierna som antibiotikan syftar till att kurera, utvecklar antibiotikaresistens (Folkhälsomyndigheten, 2023). Detta påverkar möjligheten att behandla sjukdomar och infektioner med antibiotika (Naturvårdsverket, 2024d). Menar att intag av läkemedelsrester kan påverka konsumentens hälsa indirekt och eftersom nya läkemedel ständigt utvecklas så har inte alla konsekvenser fastställas. Likaså saknas information gällande mikroplasters hälsopåverkan på människor (Livsmedelsverket, 2024a). Däremot har direkt hälsopåverkan till följd av konsumtion av per- och polyfluorerade alkylsubstanter (PFAS) kunnat fastläggas och dessa varierar beroende på vilken typ av PFAS som granskas (Sveriges geologiska undersökning, 2025a). PFAS är ett samlingsnamn för omkring 10 000 olika, persistenta och bioackumulerande, syntetiskt framställda ämnen (Kemikalieinspektionen, 2025; Naturvårdsverket, 2024c). PFAS återfinns bland annat i produkter som brandskum, stekpannor och matförpackningar (Naturskyddsföreningen, 2024a). Genomförda studier visar att exponering av PFAS kan ha effekt på ämnesomsättningen och att det troligtvis finns ett samband mellan perfluoroktansyra (PFOA), sköldkörtelsjukdom, testikelcancer och njurcancer (Kemikalieinspektionen, 2021). Inom EU klassificeras en del PFAS-ämnen som reproduktionsstörande, cancerframkallande och hormonstörande (Levein, 2006; MedlinePlus, 2023; Poison Control, u.å.). Eftersom PFAS består av många olika ämnen, varierar spridningsegenskaperna beroende på vilken typ av PFAS som avses. Vissa varianter är vattenlösliga och transporteras enkelt med vattenflöden medan andra tenderar att spridas via luftströmmar (Kemikalieinspektionen, 2021). Föroreningsspridning av vattenlöslig PFAS fördröjs genom att molekyler binder till markens partiklar.

Fordonstvätt

Eftersom fordonstvätt saknas i Rångedala, föreligger en överhängande risk att invånare tvättar bilen hemma. Risken med att tvätta bilen hemma är att tvättvatten som innehåller oljerester, tungmetaller och andra miljöskadliga kemikalier når grundvattnet (Göteborgs Stad, u.å.-c). Dessa ämnen ges mer information om i kapitel 3.2.5–3.2.6. Om fordonstvätt sker på en lågpermeabel yta utan möjlighet till markinfiltration, går tvättvattnet miste om den naturliga reningsfunktion som grönytor tillhandahåller. Det riskerar att ledas vidare direkt till närliggande vattendrag eller dagvattensystem via dagvattenbrunnar, vilket kan försämra grundvattnets tjänlighet som dricksvatten.

Idrottsanläggning och skola

I anslutning till skolor och idrottsanläggningar lokaliseras ofta hårdgjorda ytor i form av asfalt, betong eller kompakt mark som exempelvis en välanvänd fotbollsplan (Mansberger, u.å.). Dessa hårdgjorda ytor förhindrar dagvatten från att infiltrera till marken. Vid parkeringsplatser förekommer regelbunden biltrafik vilket genererar olja och utsläpp av polycykliska aromatiska kolväten (PAH) på grund av oljespill, däckslitage och avgaser (Choudhary m.fl., 2015). PAH är organiska ämnen som kan bioackumuleras i fettvävnaden och som generellt sett är fettlösliga hos djur och människor (Sveriges geologiska undersökning, 2025a). De har låg vattenlöslighet och binder därför till marken vilket minskar möjligheten för ämnena att spridas till grundvatten. PAH är skadliga för människans organ och immunsystem. Flertalet av dem är dessutom cancerogena, mutagena och framkallar fosterskador.

Oljecistern

Med vetskap om att det bor 424 invånare i Rångedala tätort samtidigt som 45,5 % av invånarna i Västra Götaland har bil, uppskattades det att 193 bilar ägs av Rångedalas befolkning (Borås Stad, 2025b; Regionfakta, 2025). I Rångedala saknas en bensinstation där invånarna kan fylla på med bränsle, de närmsta bränsledepåerna återfinns idag i Borås, Fristad och Dalsjöfors. Sannolikheten att invånare och lantbrukare i området förvarar bränsle eller olja till fordon, maskiner eller husuppvärmning i cisterner är hög och läckage från behållare eller oaktsam påfyllning kan leda till kontaminering av mark och vatten. För att förhindra läckage är det bland annat viktigt att kontrollera oljecisternens kvalitet, om den är fylld och exempelvis korroderar i botten så kan petroleumprodukter läcka ut. Enligt Statens geotekniska institut (u.å.) räcker

några liter diesel för att smaksätta 1000 m³ vatten. Vid händelse av diesellukt från dricksvatten, bedöms det vara otjänligt för konsumtion (Larsson, 2008). Förtäring av bensin och lättflytande petroleumprodukter är farligt (Giftinformationscentralen, 2023b, 2024). Hälsopåverkan kan vara andnöd, kemisk lunginflammation, medvetandepåverkan och hjärtpåverkan.

Trädgårdsgödsel och bekämpningsmedel

Spridning av gödsel och bekämpningsmedel kan bidra till läckage av näringsämnen, tungmetaller, smittoämnen och organiska föroreningar till vattendrag och grundvatten, vilket beskrivs ytterligare i kapitel 3.2.3 om jordbruksverksamhet. Användning av trädgårdsgödsel och bekämpningsmedel kan förekomma vid fritidsodling men statistik saknas kring fritidsodlars gödselvanor (Wirén, 2022). Både mängden gödsel och bekämpningsmedel samt ytan som dessa sprids över antogs vara betydligt mindre vid fritidsodling jämfört med användning för kommersiellt syfte.

3.2.2 Energianläggning

I den sydöstra delen av grundvattenmagasinets tillrinningsområde planerar Tekniska verken för ett framtida vindkraftsprojekt (Henriksson & Abrahamsson, 2023). Figur 5 visar ungefärlig placering av ett vindkraftverk inom projektområdet, baserat på avläsning av detaljkartan i projektets miljökonsekvensbeskrivning (Öhman m.fl., 2024). Eftersom beslutet om upprättande av en vindkraftspark ännu inte vunnit laga kraft påverkar inte verksamheten grundvattenkvaliteten i dagsläget. Om projektplanerna fastslås finns en olycksrisk för exempelvis oljeläckage och haveri men vindkraftverkens automatiska styrsystem ska kunna upptäcka felaktigheter som obalans i respektive rotor, friktionskrafter och läckage (Öhman m.fl., 2024). Vid ett större läckage ska styrsystemen automatiskt stänga av vindkraftverket, samtidigt som tornet till varje enskilt vindkraftverk utgör en skyddsvall för att förhindra spridning till omgivningen vid ett läckage. Den största mängden olja i vindkraftverket utgörs av växellådsolja och varje enskilt vindkraftverk ska dimensioneras för att hela den mängden ska rymmas och kunna ansamlas i konstruktionens botten vid läckage. Mest avfall genereras under byggnation och avveckling. Under driftskedet uppkommer endast lite spill och kemikalier förekommer i hydraulolja, växellådsolja, kylvätska och smörjfetter men vanligtvis avges inga kemikalier till omgivningen. Hydraulolja kan exempelvis vara både svårnedbrytbar och leda till illamående, andningspåverkan, cyanos och förgiftning vid förtäring (Levein, 2006;

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, u.å.). Tidigare oljeläckage från vindkraftverk har skett i både stora och små volymer, exempelvis 2017 i Mortorp, 2019 i Åskälen, 2022 i Markbygden och 2024 i Härjedalen (Gustafsson, 2022; Svensson & Westlund, 2021; SVT Nyheter, 2017, 2024).

3.2.3 Jordbruksverksamhet och djurhållning

Jordbruksverksamhet

Vid kommersiellt jordbruk sker intensiv odling på mark vilket kan resultera i långsiktig utarmning av jordens näringsinnehåll (European Environment Agency, 2023). När markens naturliga näringsammansättning inte hinner återhämtas i den takt som det förbrukas, tillsätts gödsel. Inom svenskt jordbruk används både naturgödsel, även kallat organisk gödsel, samt konstgödsel. Eftersom naturgödsel i form av djurspillning och avloppsslam återspeglar källans hälsoläge, finns riktlinjer och gränsvärden som syftar till att begränsa spridningen av bland annat tungmetaller, smittoämnen och organiska föroreningar (Statens veterinärmedicinska anstalt, 2023). Slamspridning från avloppsreningsverk kan även leda till att PFAS tillförs marken (Kemikalieinspektionen, 2021).

Spridning av naturgödsel, avloppsslam och bevattning med renat avloppsvatten utgör en spridningsväg för läkemedelsrester att nå mark och grundvatten (Sveriges geologiska undersökning, 2024b 2025a). Om näringstillförseln överskrider jordens kapacitet för upptag kan näringsöverskottet nå diken, vattendrag och grundvatten genom markinfiltration, ytavrinning och transport av förorenat vatten. Samtidigt frigörs befintliga näringsämnen i samband med aktiviteter som leder till att jorden rörs runt, som när bonden plöjer, harvar och sår (Jordbruksverket, 2022).

Bekämpningsmedel kategoriseras som biocider och växtskyddsmedel, varav frekvent spridning av växtskyddsmedel är vanligt förekommande inom jordbruksverksamheten (Naturvårdsverket, 2024e). Spridning av växtskyddsmedel kräver Kemikalieinspektionens godkännande då de syftar till att förhindra invasion av ogräs, växtsjukdomar och skadedjur som kan påverka skördens avkastning negativt (Naturvårdsverket, 2024e). Bekämpningsmedel och dess nedbrytningsprodukter kan vara långlivade och därmed påträffas i grundvattnet lång tid efter att de spridits (Sveriges geologiska undersökning, 2025a). Enligt Gönczi (2019) är det vanligt förekommande att rester av växtskyddsmedel påträffas i vattendrag och grundvatten till följd av spridning över stora arealer. Detta sker exempelvis via markinfiltration, vattentransport, vindavdrift samt avdunstning och efterföljande transport i atmosfären innan de slutligen återförs

till marken eller vatten genom nederbörd. Förtäring av bekämpningsmedel associeras med ökad risk för hormonstörningar, nedsatt immunförsvar, reproduktionsstörning och cancer (Syafrudin m.fl., 2021). Vissa bekämpningsmedel innehåller PFAS, vars nedbrytningsprodukt trifluorättiksyra (TFA) inte är biologiskt nedbrytbar (Naturvårdsverket, 2024c). Forskning om hur människors hälsa påverkas vid förtäring av TFA saknas idag men studier visar att ämnet kan vara reproduktionsstörande.

Aktiva ämnen från bekämpningsmedel samt nedbrytningsprodukter tillhör de vanligaste föroreningarna i grundvatten och har en betydande påverkan på vattnets kemiska status (Sveriges geologiska undersökning, 2025a). Sedan 2003 finns gränsvärden för vattentäkter som gäller inom EU om 0,1 µg/l för en enskild substans och maximalt får 0,5 µg/l av flera substanser förekomma i samma vattenprov (Livsmedelsverket, 2025a). De strama gränsvärdena gäller då utgångspunkten är att dricksvatten inte ska bidra till exponering av bekämpningsmedel hos dricksvattenkonsumenten (Livsmedelsverket, 2025a).

Djurhållning

Enligt djurskyddslagen § 2 (SFS 2018:1192) ska djurhållning bedrivas på ett sätt som möjliggör för djur att uttrycka sina artspecifika beteenden (Sveriges riksdag, 2018). För hästar och nötkreatur innebär det exempelvis att djuren ska ges utrymme för rörelse, social interaktion och i vissa fall utomhusvistelse. Med utomhusvistelse följer näringsläckage av kväve och fosfor i samband med att urin, träck och foder från hästhållning sprids i hagen (Blom, 2020). Urin från hästar och nötkreatur innehåller en hög koncentration av urea och när det bryts ned frigörs ammoniak (Falk Enfors, 2024; Malgeryd & Persson, 2013). Kväve förekommer i vatten som löst oorganiskt kväve i form av ammonium, nitrat och nitrit (Havsmiljöinstitutet, u.å.). Vid högt pH-värde kan ammonium övergå till ammoniak, vilket är starkt frätande vid höga koncentrationer och förtäring kan orsaka allvarlig skada (Giftinformationscentralen, 2023a; Sveriges geologiska undersökning, 2025b). Vid större intag av nitrat och nitrit kan syreupptagningsförmågan i blodet försämrats, även kallat methemoglobiemi, och allra farligast är det för spädbarn (Kristersson m.fl., u.å.). Förhöjda halter av nitrit kan göra dricksvatten otjänligt och lämpar sig därmed inte för användning till matlagning och dryck (Sveriges geologiska undersökning, 2025b). Fosfor förekommer i dricksvatten som fosfat vilket i sig inte är hälsoskadligt, dock kan en förhöjd fosfathalt indikera på påverkan ifrån avlopp eller gödsel som kan bära med sig koliforma bakterier (Livsmedelsverket, u.å.). Ett överdrivet intag av

fosfor kan leda till att njurarna tar skada och bidra till att skelettet utarmas på kalcium (Livsmedelsverket, 2025c). Detta kan i sin tur ha negativa effekter på blodcirkulationen.

Sverige är det land inom EU med lägst antibiotikaanvändning inom djurhållningen, vilket medför att kontaminering av antibiotika från djurspillning och gödsel från jordbruk jämförelsevis sker i begränsad omfattning (Regeringskansliet, 2023). Trots begränsad användning sprids antibiotikarester som riskerar att nå grundvattnet genom infiltration, ytavrinning och horisontell spridning (Jordbruksverket, 2024).

3.2.4 Kommunalt avloppsreningsverk

Rångedalas avloppsreningsverk är byggt för att rena organiskt material samt fosfor (E. Holmgren, personlig kommunikation, 4 april 2025). Reningen sker bland annat med aktivt slam, en kemisk fällning av fosfor och en biodamm inom avloppsreningsverkets område. Slammet som bildas under reningsprocessen skickas sedan vidare till Sobackens avloppsreningsverk där det genomgår termofil rötning. Det renade spillvattnet släpps slutligen ut till Rångedalaån.

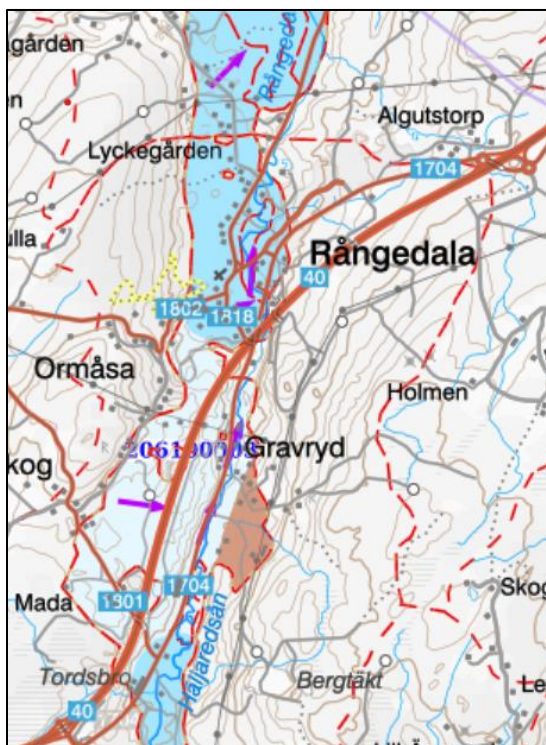
För säker rening av dricksvatten krävs kemikalier (Livsmedelsverket, 2021). Gissningsvis används kemikalier som skulle kunna påverka grundvattnets kemiska status negativt vid ett ledningsbrott. En av de vanligaste orsakerna till att läkemedelsrester påträffas i mark och vatten är spridning av avloppsvatten, trots att rening sker i avloppsreningsverk (Sveriges geologiska undersökning, 2025a). Detta beror på att befintliga avloppsreningsverk sällan är utformade för att rena sådana ämnen (Baresel m.fl., 2017). Spridning till omgivningen sker bland annat via gödsling med avloppsslam inom jordbruket och utsläpp av renat avloppsvatten till recipient. I närliggande områden till avloppsreningsverk har även PFAS påträffats (Naturvårdsverket, 2024c).

Om stora mängder vatten inkommer till ett reningsverk under kort tid kan bräddning behövas, avloppsvattnet som tillfälligt släpps ut är då kraftigt utspätt (Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp, u.å.). Bräddning kan även behöva vidtas som åtgärd då avloppsledningarna täpps igen av matfett, rötter eller annat skräp som felaktigt hamnat i avloppsledningarna. Orenat avloppsvatten kan, som beskrivet i kapitel 3.2.1 om enskilt avlopp, innehålla patogena organismer, läkemedelsrester och mikroplaster vilka riskerar grundvattnets kvalitet och äventyrar dricksvattenkonsumentens hälsa.

3.2.5 Riksväg 40 och övrig trafik

Riksväg 40

Riksväg 40 sträcker sig över Rångedala grundvattenmagasin och ingår i det funktionellt prioriterade vägnätet för dagliga personresor, längre personresor, kollektivtrafik och godstransporter (Teilmann, 2019). Den aktuella vägsträckan visas i figur 6 som år 2023 hade en årsdygnstrafik på ca 14 400 fordon där omkring 1500 av dem innefattade tunga fordon (Trafikverket, 2023a).



Figur 6. Riksväg 40 över Rångedalas grundvattenmagasin och tillrinningsområde (Sveriges geologiska undersökning, 2025c).

Eftersom platsen är fordonstät förekommer betydande utsläpp från avgaser, motorer, bromsbelägg och bildäck. Avgaserna kommer från bensin och diesel som båda framställs ur råolja, även kallat petroleum, vilket består av hundratals olika kolväten (Sveriges geologiska undersökning, 2025a). Därför kan kolvätena PAH och bensen påträffas runt om vägnät och förekommer även som branschspecifika föroreningar i flera olika verksamheter, bland annat till asfaltsproduktion. På sådant vis utgör även vägbeläggning en källa till utsläpp av PAH.

I arbetet antogs ingen ytterligare dagvattenhantering än att det sker avrinning till kringliggande diken. Föroreningar som släpps ut i luften kan nå dikena genom atmosfärisk deposition, vilket innebär att luftburna ämnen till slut faller ner till marken (Sveriges geologiska undersökning, 2025a). Föroreningsämnen sprids även till naturen genom läckage och spill från fordon. Bensen tillhör lätta petroleumämnen med hög vattenlöslighet och rörlighet, vilket gör att det kan transporteras med regnvatten ner till grundvattnet och transporteras långa sträckor. Bensen är ett skadligt ämne för människor som kan leda till cancer, likaså gäller för PAH vars farlighet och spridningsegenskaper beskrivs mer kapitel 3.2.1 (Sveriges geologiska undersökning, 2025a). Dessutom kan kolväten snabbt identifieras genom smak och doft då de snabbt gör vatten opatitligt redan vid låga koncentrationer.

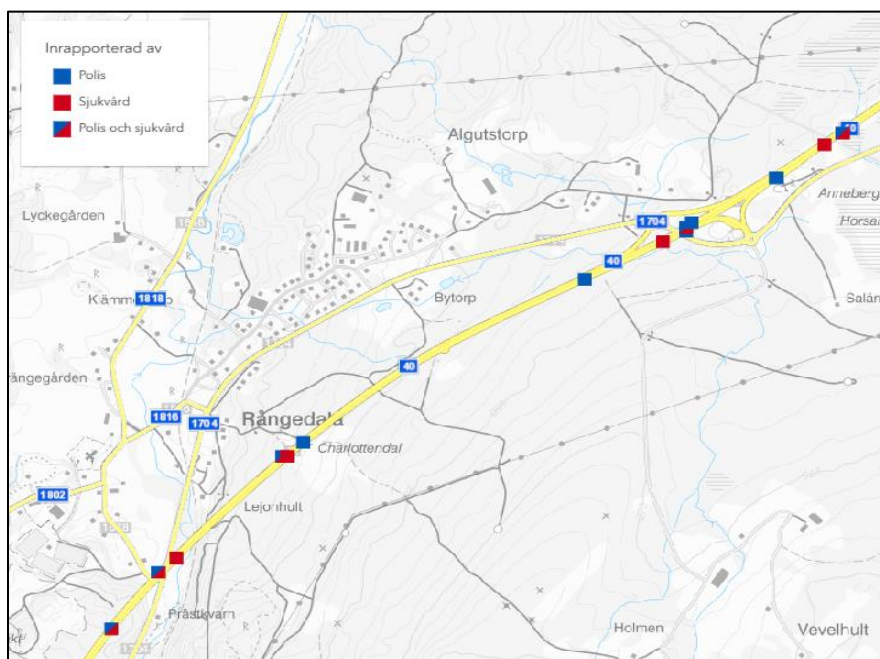
Tungmetallerna krom, koppar, kadmium, nickel, zink och bly kan förekomma runt vägnät på grund av fordonsmotorer, däck och bromsbelägg (Luleå tekniska universitet, 2017). Metallerna bly och kadmium definieras som särskilt farliga och håller på att fasas ut men trots det förekommer bly i mark längs vägar i 10–20 gånger förhöjda halter (Sveriges geologiska undersökning, 2025b). Tungmetaller har olika bra förmåga att binda till organiskt material och beror ofta på vattnets pH-värde (Nilsson m.fl., 2005). Kadmium, nickel och zink får en ökad löslighet vid lägre pH vilket innebär att de kan spridas till grundvattnet men de tenderar att binda sig till organiskt material vid mer neutrala pH-värden (Sveriges geologiska undersökning, 2025b). De andra tungmetallerna bly, krom och koppar binder starkare till organiskt material vilket försämrar förmågan att nå grundvattnet.

Gällande tungmetallers farlighet för människor skiljer det mellan olika ämnen. Bly är giftigt och kan skada nervsystemet och inlärningsförmågan där foster och barn är extra känsliga (Kemikalieinspektionen, 2022). Kadmium kan orsaka benskörhet, njurskador och cancer. De andra tungmetallerna som kan återfinnas vid de berörda verksamheterna definieras inte som särskilt farliga men kan ge hälsoeffekter som akuta mag- och tarmbesvär (Sveriges geologiska undersökning, 2025b). För att detta ska ske krävs dock stora mängder, vilket inte bedömdes inträffa här.

Bilvårdsprodukter är en källa till föroreningarna alkylfenoler och ftalater (Luleå tekniska universitet, 2017). Alkylfenoler hör till de organiska föreningarna fenoler men är en syntetiserad variant, den förekommer alltså inte naturligt utan tillverkas för specifika användningsområden som till exempel smörjmedel (Sveriges geologiska undersökning, 2025a). Även ftalater är syntetiskt framställda. Dessa syntetiska organiska ämnen kan vara skadliga för såväl människa som miljö. Ämnena bidrar till en hälsorisk på så sätt att de är reproduktions-

och hormonstörande och kan ge skadliga effekter på immunsystemet. Utöver detta kan de vara en bidragande orsak till bröst- och prostatacancer.

Vid trafikerade vägar finns det alltid en risk för trafikolyckor vilket i sin tur kan leda till utsläpp av ovannämnda ämnen. Från år 1 januari 2015 fram till 31 mars 2025 har 14 trafikolyckor skett på den observerade vägsträckan. Se figur 7 för ett utdrag ur Swedish Traffic Accident Data Acquisition (STRADA) på dessa olyckor (Transportstyrelsen, 2025). En olycka skedde med lastbil och resterande 13 olyckor med personbil. Trafikolyckor kan ge direkt utsläpp genom läckage från bränsletankar eller fordonstransporter vilka kan innehålla farligt gods. Vägen är rekommenderad väg för farligt gods, alltså ämnen som är farliga för människor och kan antas utgöra 3 % av den tunga trafiken (Teilmann, 2019). På den utvalda sträckan innebär det ungefär 45 fordon per dygn med farligt gods.



Figur 7. Registrerade trafikolyckor på den studerade sträckan över 10 år. Utdrag ur Swedish Traffic Accident Data Acquisition (STRADA).

Utöver fordonstrafikens bidrag till utsläpp sker även vägunderhållning som är en ytterligare utsläppskälla. Vid vägsaltning, som är ett årligt återkommande underhåll, används natriumklorid där 1:1 förhållanden kan antas mellan natrium och klorid (Sveriges geologiska undersökning, 2025b). Saltning av vägar är därför en bidragande orsak till högre halter natrium

och klorid i områden runt vägar men dessa ämnen anses inte ha någon skadlig effekt på människors hälsa, i de mängder som släpps ut från vägsaltning.

Lokal trafik

I Rångedala finns ett mindre vägnätverk som år 2023 hade en årsdygnstrafik på cirka 857 fordon varav ungefär 39 av dem var tunga fordon (Trafikverket, 2023b). Precis som för riksväg 40 utgörs utsläppskällorna av fordon, vägbeläggning och vägunderhåll men utsläppen sker inte i lika stor utsträckning eftersom trafikmängden är mycket mindre jämfört med riksvägen. Det innebär även att olyckorna är färre och mindre omfattande.

3.2.6 Åkeri och bilvårdsanläggning

I anslutning till Rångedalas grundvattenmagasin och tillrinningsområde finns flera typer av bilvårdsanläggningar i form av fordonsverkstäder samt åkerier, platser som är fordonstäta. Fordon är en utsläppskälla till många olika föroreningar och beskrivs i kapitel 3.2.5.

Vid den här typen av verksamheter finns fler källor till utsläpp än bara fordon så som spill från maskiner och behållare. Fler ämnen som kan återfinnas vid dessa verksamheter är därför PFAS (Sveriges geologiska undersökning, 2025a). Som beskrivet i kapitel 3.2.1 är PFAS bara gruppnamnet för flera tusentals olika ämnen och det är därför svårt att veta vilka av dem som förorsakar förorening. Det gäller särskilt vatten eftersom vattenprover bara testar 20–30 av de tusentals ämnen som vattnet kan innehålla. I kapitel 3.2.1 beskrivs PFAS farlighet och spridningsegenskaper till grundvatten.

Inom dessa verksamheter hanteras även andra farliga kemikalier, så som lösningsmedel och rengöringsmedel. Det finns olika typer av lösningsmedel men något som är till stor användning inom verkstäder är klorerade kolväten och förorening av ämnet återfinns både vid verkstäder och åkerier (Sveriges geologiska undersökning, 2025a). Klorerade kolväten tillhör gruppen Dense Non-Aqueous Phase Liquids (DNAPL) vilket innebär att de har högre densitet än vatten men de har fortfarande en generellt hög vattenlöslighet. Dessa egenskaper innebär tillsammans att föroreningarna kan nå till stora djup och förflyttas med grundvattenflödet långa vägar. Om föroreningen når människor kan det medföra fara då de ökar risken för cancer samt orsakar leverskador.

3.2.7 Bergtäkt och grustäkt

I anknytning till Rångedala identifierades tre berg- och grustäkter som potentiella utsläppskällor, varav endast en verkar vara aktiv. En berg- eller grustäkt är en verksamhet som tillhandahåller jord-, sand-, grus- och krossprodukter där tunga fordon och stora maskinparker utgör den främsta källan till föroreningar vilka beskrivs i kapitel 3.2.5. Eftersom dessa platser ofta är belägna på sand- och grusavlagringar, kan vertikal infiltration och snabb horisontell spridning ske till grundvattnet (Sveriges geologiska undersökning, 2025d).

3.2.8 Byggföretag

Inom Rångedalas tillrinningsområde identifierades en mindre byggverksamhet. Företaget bedriver verksamhet inom renovering, ombyggnation och nyproduktion av fastigheter. Byggverksamhet i mindre skala är ofta aktiva i anslutning till den befintliga bebyggelsen och kan därmed utgöra en potentiell risk för grundvattnet beroende på hanteringen av byggnadsmaterial, kemikalier och avfall.

Vanligt förekommande föroreningar vid byggverksamhet är olja och bränsle, cementpartiklar och metaller. Spill och läckage av dessa ämnen kan ske vid hantering, lagring och vid användning av maskiner och fordon i byggverksamhet. Diesel och oljor är källor till många föroreningar vilka nämnts tidigare i kapitel 3.2.5. Om spill sker på platser med permeabelt material, vilket ofta är fallet på byggarbetsplatser, kan föroreningar relativt snabbt infiltrera ned till grundvattenytan (Rosén, 1991).

Under platsbesöket observerades förekomsten av byggfordon och maskiner som tyder på viss aktivitet. Det är oklart i vilken omfattning miljöfarliga ämnen hanteras men verksamheterna ansågs innebära viss risk för punktutsläpp vid bristande skyddsåtgärder. Exempelvis kan förorening ske via spill från bränsle, färg, lim, fogmassa eller oljor.

3.2.9 Kyrka och kyrkogård

I direkt anslutning till Rångedalas grundvattenmagasin finns Rångedala kyrka med tillhörande kyrkogård. Kyrkobyggnaden har nyligen fått ett nytt koppartak vilket observerades under fältbesöket. Koppars är ett grundämne som vid vittring och nederbörd kan lakas ut och

transporteras via dagvatten eller infiltration till underliggande mark och grundvatten (Sveriges geologiska undersökning, 2025b).

Utöver tak- och byggnadsmaterial utgör själva kyrkogården en potentiell föroreningskälla. Gravutsmyckningar såsom metallkistor, kan bidra med tungmetaller som bly och koppar till grundvattnet vid långsiktig korrosion (Naturvårdsverket, 2024a). Dessutom kan nedbrytning av organiskt material från begravda kroppar resultera i utsläpp av näringsämnen, bakterier, virus och i vissa fall läkemedelsrester (Naturvårdsverket, 2009). Nedbrytningen kan frigöra ammonium som omvandlas till nitrat genom nitrifikation, ett ämne som är mycket mobilt och svårnedbrytbart i grundvattenmiljö (Rosén, 1991). Eftersom nitrater är svårnedbrytbara under oxiderande förhållanden kan de kvarstå länge i grundvattnet, se vidare i kapitel 3.2.3 om djurhållning.

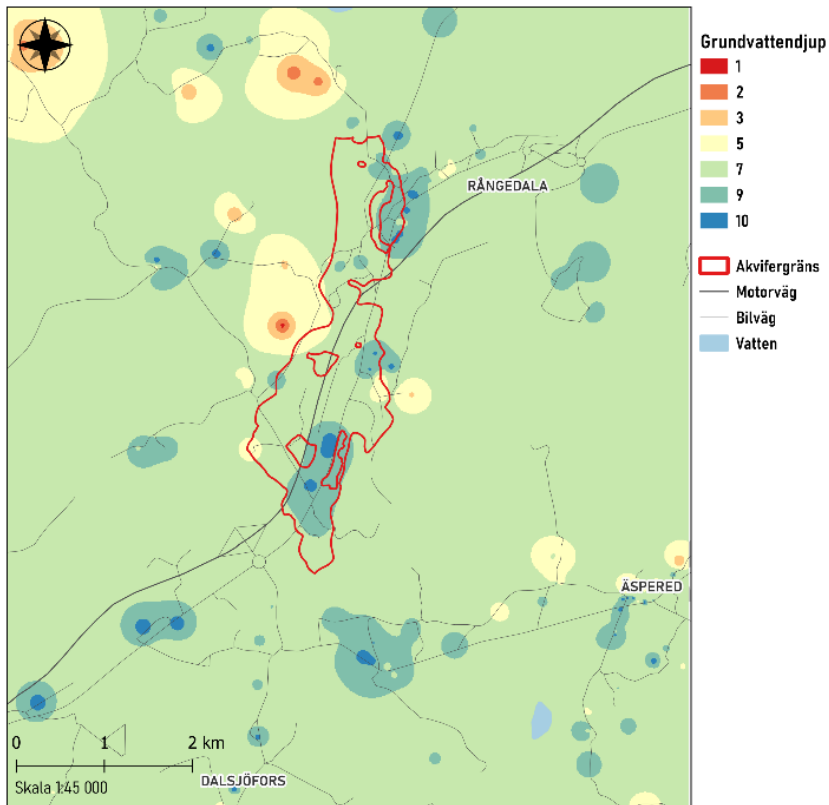
3.3 Sannolikhetsbedömning

I följande delkapitel presenteras resultat av den totala sannolikhetsbedömningen. I kapitel 3.3.1 presenteras sannolikhet för vertikal spridning och i kapitel 3.3.2 presenteras horisontell spridning. I kapitel 3.3.3 presenteras den slutgiltiga sannolikhetsbedömningen där resultat och poäng från bedömningens tre delar sammanfogas.

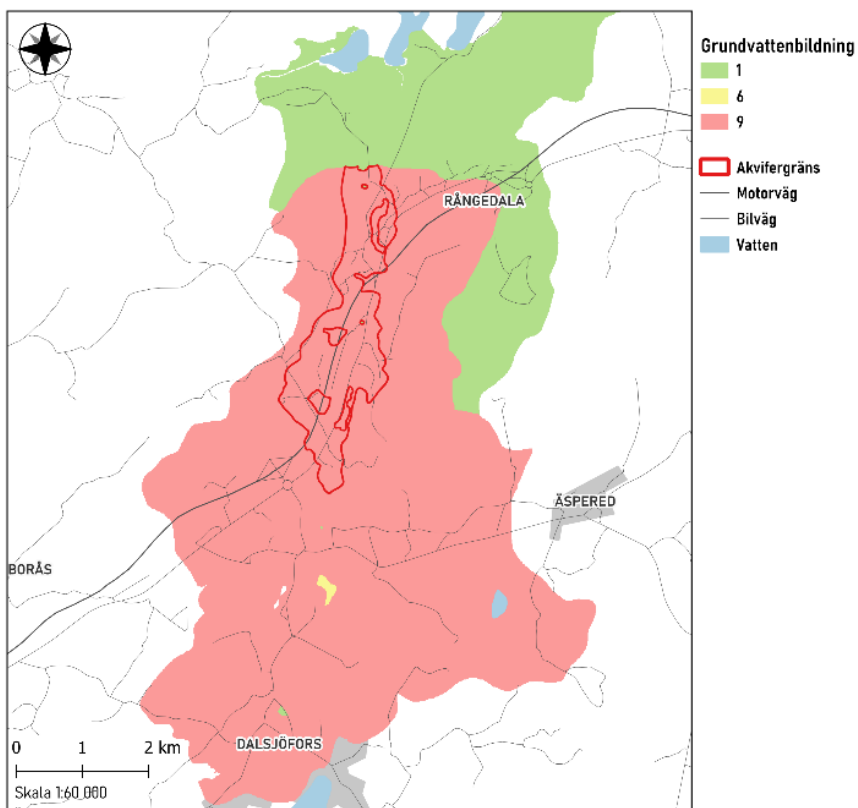
3.3.1 Vertikal sårbarhetsbedömning

Nedan presenteras resultatet av DRASTIC-analysens ingående parametrar samt områdets vertikala sårbarhet mätt i det slutgiltiga DRASTIC-indexet. Dessa består av respektive parameters poängfördelning över området och kan ses i figur 8–14 nedan.

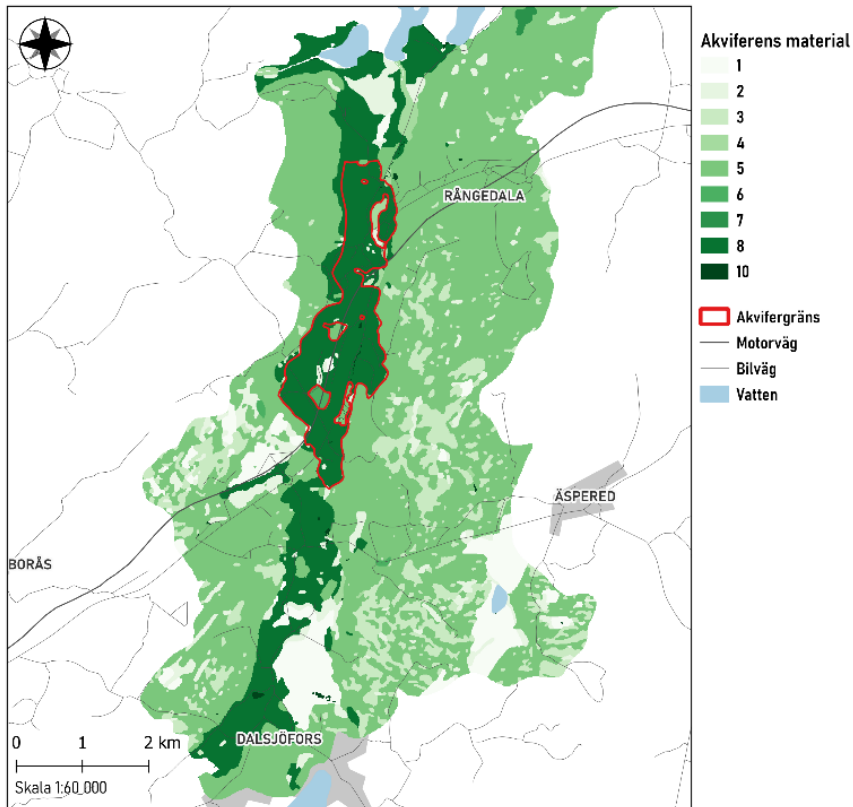
Resultatet av DRASTIC-analysen framgår i figur 15 där kartan illustreras enligt givna färger i tabell 9. Resultatet visar att området för grundvattenmagasinet har en högre sårbarhet än tillrinningsområdena i kringliggande mark. Det finns vissa områden som har en mycket hög sårbarhet i den södra delen av grundvattenmagasinet.



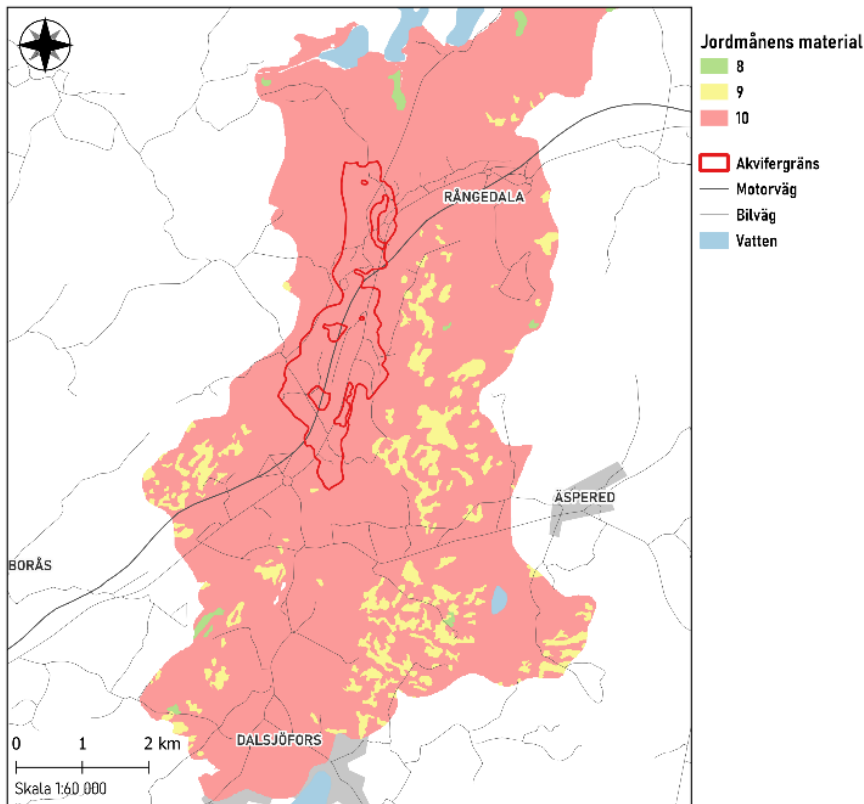
Figur 8. Poäng för parameter D: Grundvattnets djup under markytan.



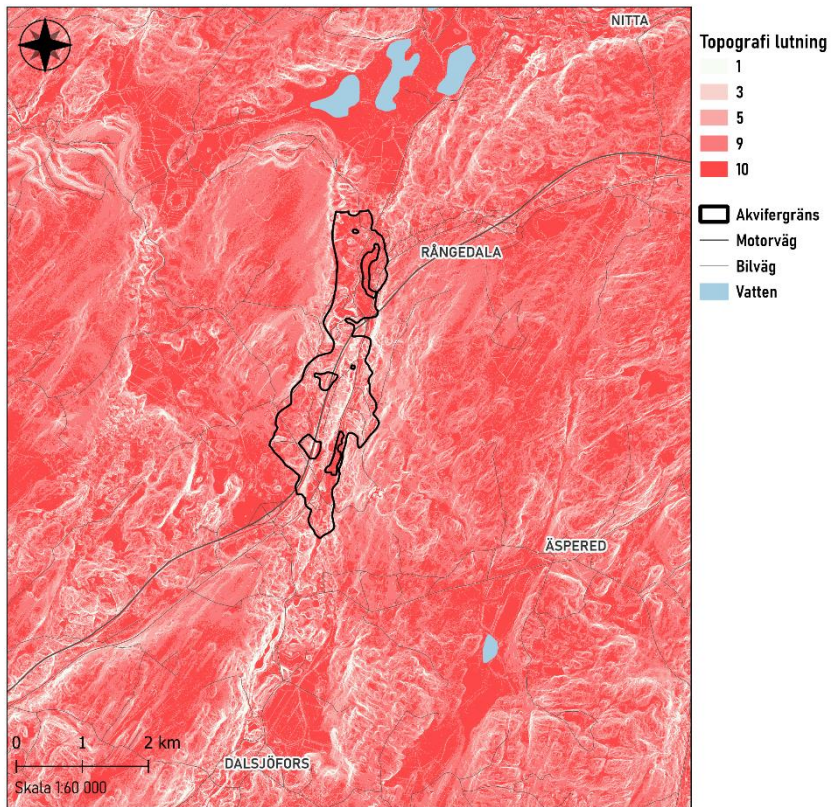
Figur 9. Poäng för parameter R: Grundvattenbildning.



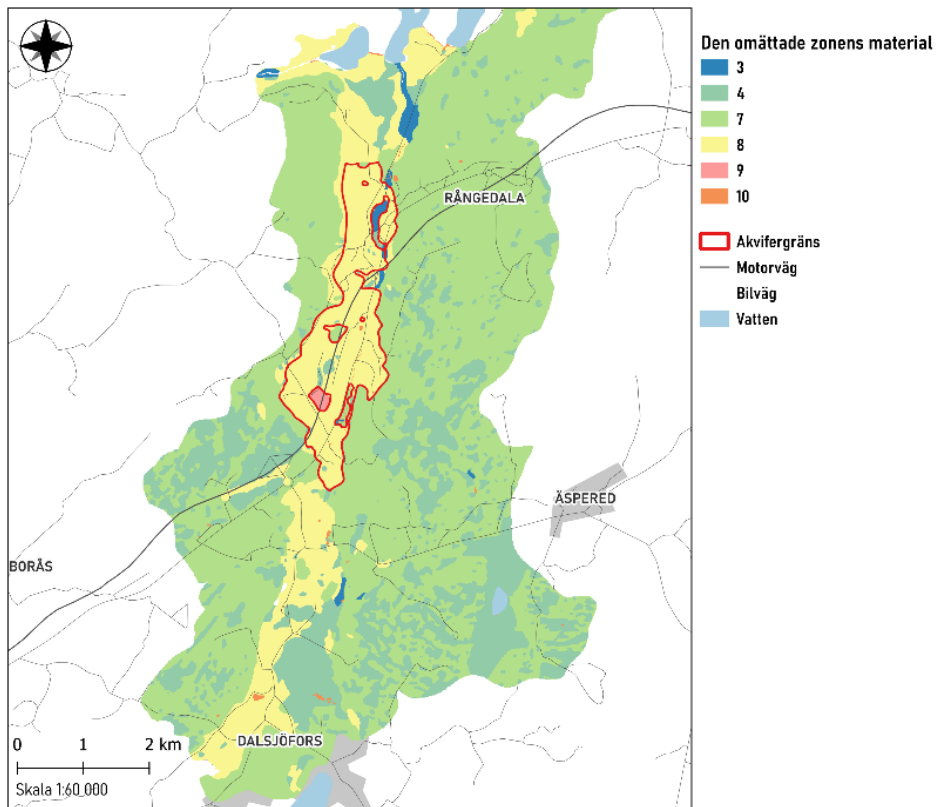
Figur 10. Poäng för parameter A: Akviferens material.



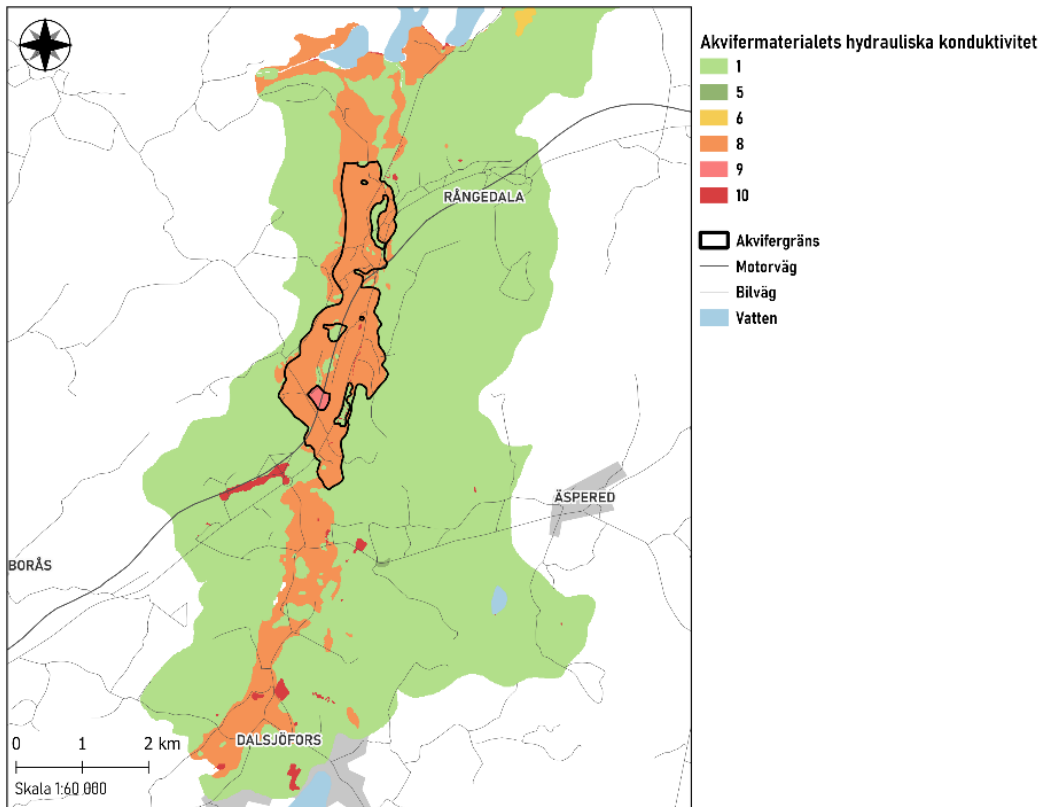
Figur 11. Poäng för parameter S: Jordmånens material.



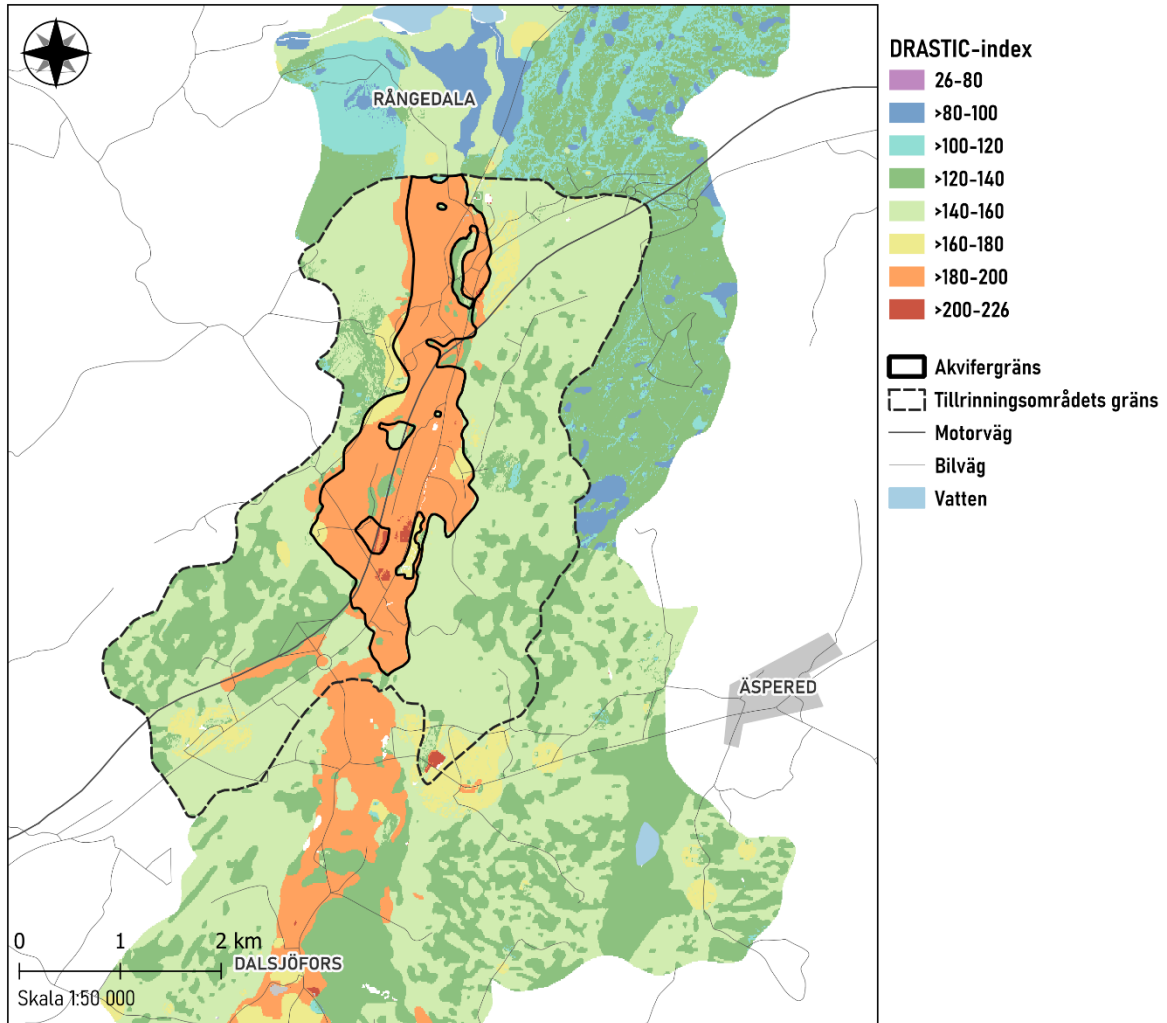
Figur 12. Poäng för parameter T: Topografi.



Figur 13. Poäng för parameter I: Den omättade zonens material.



Figur 14. Poäng för parameter C: Akvifermateriallets hydrauliska konduktivitet.



Figur 15. Sårbarhet för Rångedala grundvattenmagasin och tillrinningsområde, bedömd enligt slutgiltigt DRASTIC-index.

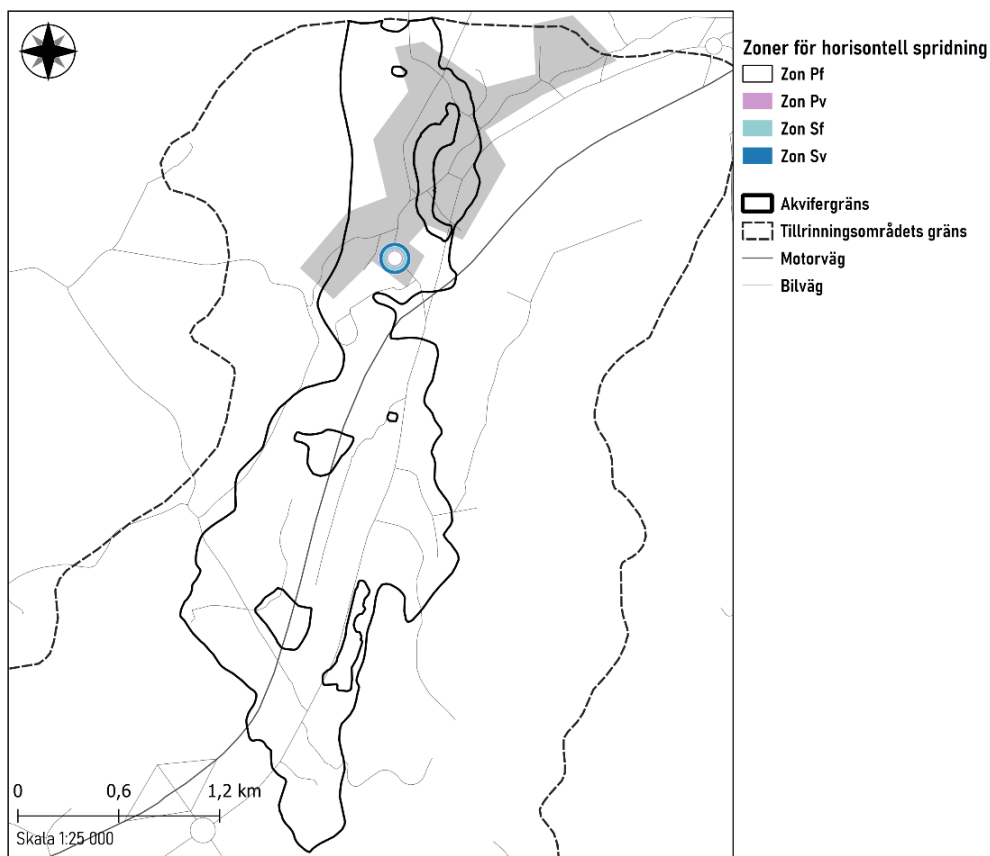
3.3.2 Horisontell sårbarhetsbedömning

För CFR-beräkningarna som gjordes sattes värdet på Q till $66 \text{ m}^3/\text{dygn}$ och värdet på H till 11 m. Snittporositeten sattes till 26 % och värsta tänkbara porositet sattes till 45 %. Med dessa ingångsvärden beräknades radien för de olika tillrinningstiderna på 100 respektive 365 dagar. Resultatet presenteras i tabell 19.

Tabell 19. Den resulterande radien för vardera zon beräknad med CFR-metoden för respektive tillrinningstid och porositet.

| Tillrinningstid [dagar] | Porositet [%] | Radie [m] |
|-------------------------|---------------|-----------|
| 100 | 26 | 27,10 |
| 100 | 45 | 20,60 |
| 365 | 26 | 51,78 |
| 365 | 45 | 39,36 |

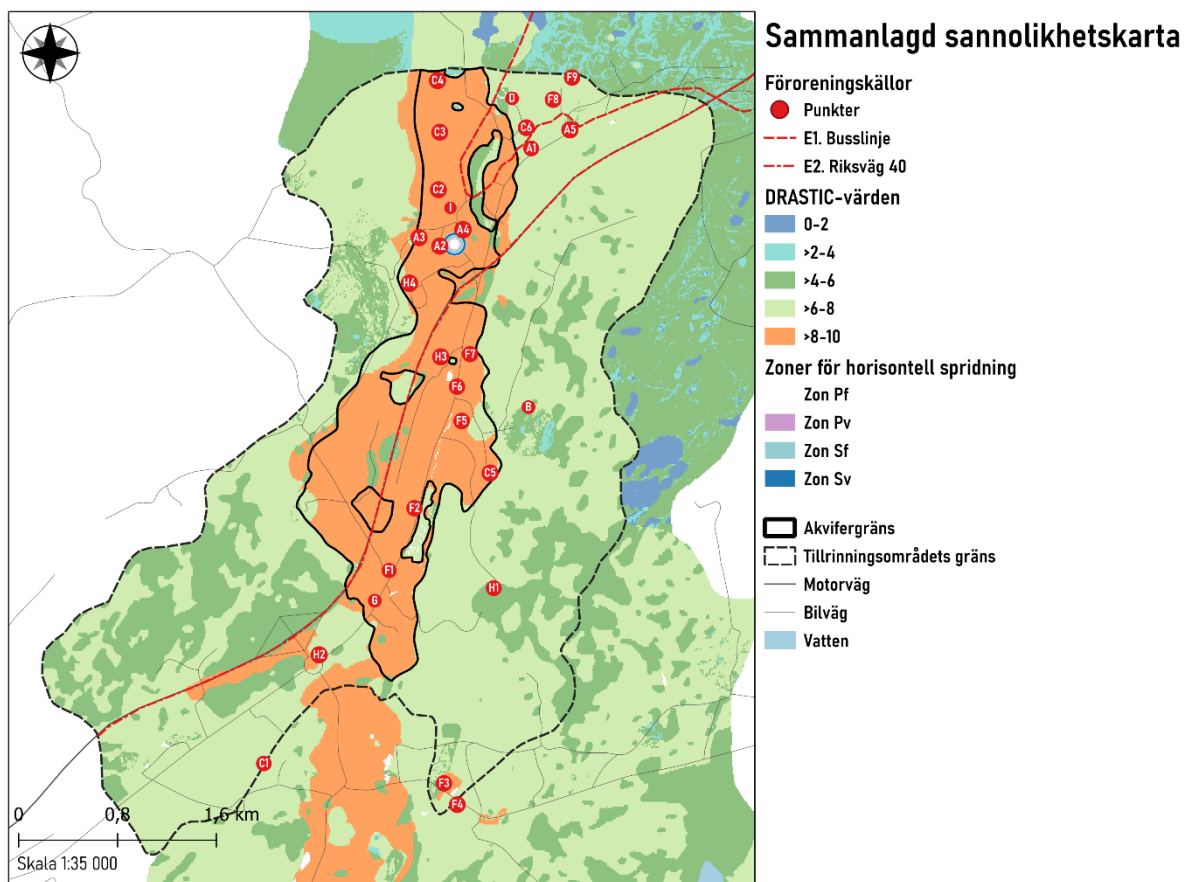
Den tertiära zonen behövde inte beräknas då den inkluderar hela området utanför 51,78 m. Resultatet av den horisontella sårbarhetsbedömningen för de icke vattentrogna föroreningarna består av de fyra innersta zonerna som presenteras i figur 16. Resultatet för vattentrogna föroreningar består av fastställning av grundvattnets flödesriktning i områdesundersökningen, där föroreningskällor söder om brunnen innebär uppströms placering.



Figur 16. Resultat av horisontell sårbarhetsbedömning, presenterat i de fyra innersta zonerna beräknade med CFR-metoden.

3.3.3 Slutgiltig sannolikhetsbedömning

Sannolikhetsbedömningen baserades på resultatet av de tre ingående delarna. I figur 17 åskådliggörs föroreningskällornas placering tillsammans med kartorna för vertikal respektive horisontell spridning.



Figur 17. Sannolikhetskarta där identifierade föroreningskällor, områdets vertikala sårbarhet och zoner för horisontell spridning presenteras tillsammans.

I tabell 20 presenteras de olika riskkällornas sannolikhetsvärde inom de tre kategorierna sannolikhet för utsläpp, sannolikhet för vertikal spridning och sannolikhet för horisontell spridning. Tilldelade värden baserades på beskrivningarna av verksamheter och aktiviteter i kapitel 3.2 samt resultaten i kapitel 3.3.1–3.3.2. I kolonnen längst till höger har de tre värdena multiplicerats med varandra enligt ekvation 3 och översatts till en sannolikhetskategori enligt tabell 11.

Tabell 20. Sannolikhetsvärde för respektive föroreningskälla inom de tre delmomenten i sannolikhetsbedömningen samt föroreningskällans slutgiltiga sannolikhetskategori.

| Verksamhet | Utsläpp | Vertikal | Horisontell | Sannolikhetskategori |
|-----------------------------------|---------|-----------|-------------|----------------------|
| | | spridning | spridning | |
| A1 Bebyggelse | 5 | 8 | 2 | S1 |
| A2 Bebyggelse | 6 | 10 | 4 | S2 |
| A3 Bebyggelse | 6 | 9 | 4 | S2 |
| A4 Bebyggelse | 0 | 10 | 4 | S1 |
| A5 Bebyggelse | 0 | 8 | 2 | S1 |
| B Energianläggning | 2 | 6 | 2 | S1 |
| C1 Jordbruk/djurhållning | 10 | 8 | 5 | S2 |
| C2 Jordbruk/djurhållning | 10 | 10 | 3 | S2 |
| C3 Jordbruk/djurhållning | 10 | 10 | 2 | S1 |
| C4 Jordbruk/djurhållning | 10 | 10 | 2 | S1 |
| C5 Jordbruk/djurhållning | 10 | 10 | 5 | S3 |
| C6 Jordbruk/djurhållning | 10 | 8 | 2 | S1 |
| D Avloppsreningsverk | 10 | 7 | 2 | S1 |
| E1 Trafik – lokaltrafik/busslinje | 8 | 10 | 6 | S3 |
| E2 Trafik - Riksväg 40 | 10 | 10 | 6 | S4 |
| F1 Åkeri och bilvårdsanläggning | 8 | 10 | 4 | S2 |
| F2 Åkeri och bilvårdsanläggning | 8 | 10 | 6 | S3 |
| F3 Åkeri och bilvårdsanläggning | 8 | 9 | 4 | S2 |
| F4 Åkeri och bilvårdsanläggning | 8 | 8 | 6 | S2 |
| F5 Åkeri och bilvårdsanläggning | 8 | 9 | 6 | S3 |
| F6 Åkeri och bilvårdsanläggning | 8 | 9 | 6 | S3 |
| F7 Åkeri och bilvårdsanläggning | 8 | 10 | 6 | S3 |
| F8 Åkeri och bilvårdsanläggning | 8 | 8 | 2 | S1 |
| F9 Åkeri och bilvårdsanläggning | 8 | 7 | 2 | S1 |
| G Byggföretag | 6 | 10 | 2 | S2 |
| H1 Bergtäkt/grustäkt | 5 | 6 | 2 | S1 |
| H2 Grustäkt | 0 | 9 | 2 | S1 |
| H3 Grustäkt | 0 | 10 | 2 | S1 |
| H4 Grustäkt | 0 | 9 | 2 | S1 |
| I Rångedala kyrka | 10 | 10 | 6 | S4 |

3.4 Konsekvensbedömning

I detta avsnitt presenteras resultatet av konsekvensbedömningen. Bedömningen utgår från den gjorda områdesundersökningen i kapitel 3.2 och resultatet presenteras i tabell 21.

Tabell 21. Konsekvensvärdet och konsekvenskategori för respektive föroreningskälla.

| Verksamhet | Konsekvensvärde | Konsekvenskategori |
|------------------------------------|------------------------|---------------------------|
| A1 Bebyggelse | 5 | K3 |
| A2 Bebyggelse | 2 | K1 |
| A3 Bebyggelse | 2 | K1 |
| A4 Bebyggelse | 0 | K1 |
| A5 Bebyggelse | 0 | K1 |
| B Bebyggelse | 5 | K3 |
| C1 Jordbruk/djurhållning | 2 | K1 |
| C2 Jordbruk/djurhållning | 2 | K1 |
| C3 Jordbruk/djurhållning | 2 | K1 |
| C4 Jordbruk/djurhållning | 2 | K1 |
| C5 Jordbruk/djurhållning | 2 | K1 |
| C6 Jordbruk/djurhållning | 2 | K1 |
| D Avloppsreningsverk | 8 | K4 |
| E1 Trafik - Lokal trafik/busslinje | 5 | K3 |
| E2 Trafik - Riksväg 40 | 7 | K4 |
| F1 Åkeri och bilvårdsanläggning | 5 | K3 |
| F2 Åkeri och bilvårdsanläggning | 5 | K3 |
| F3 Åkeri och bilvårdsanläggning | 5 | K3 |
| F4 Åkeri och bilvårdsanläggning | 5 | K3 |
| F5 Åkeri och bilvårdsanläggning | 5 | K3 |
| F6 Åkeri och bilvårdsanläggning | 5 | K3 |
| F7 Åkeri och bilvårdsanläggning | 5 | K3 |
| F8 Åkeri och bilvårdsanläggning | 5 | K3 |
| F9 Åkeri och bilvårdsanläggning | 5 | K3 |
| G Byggföretag | 3 | K2 |
| H1 Bergtäkt/grustäkt | 5 | K3 |
| H2 Bergtäkt/grustäkt | 5 | K3 |
| H3 Bergtäkt/grustäkt | 5 | K3 |
| H4 Bergtäkt/grustäkt | 5 | K3 |
| I Rångedala kyrka | 6 | K3 |

3.5 Riskbedömning

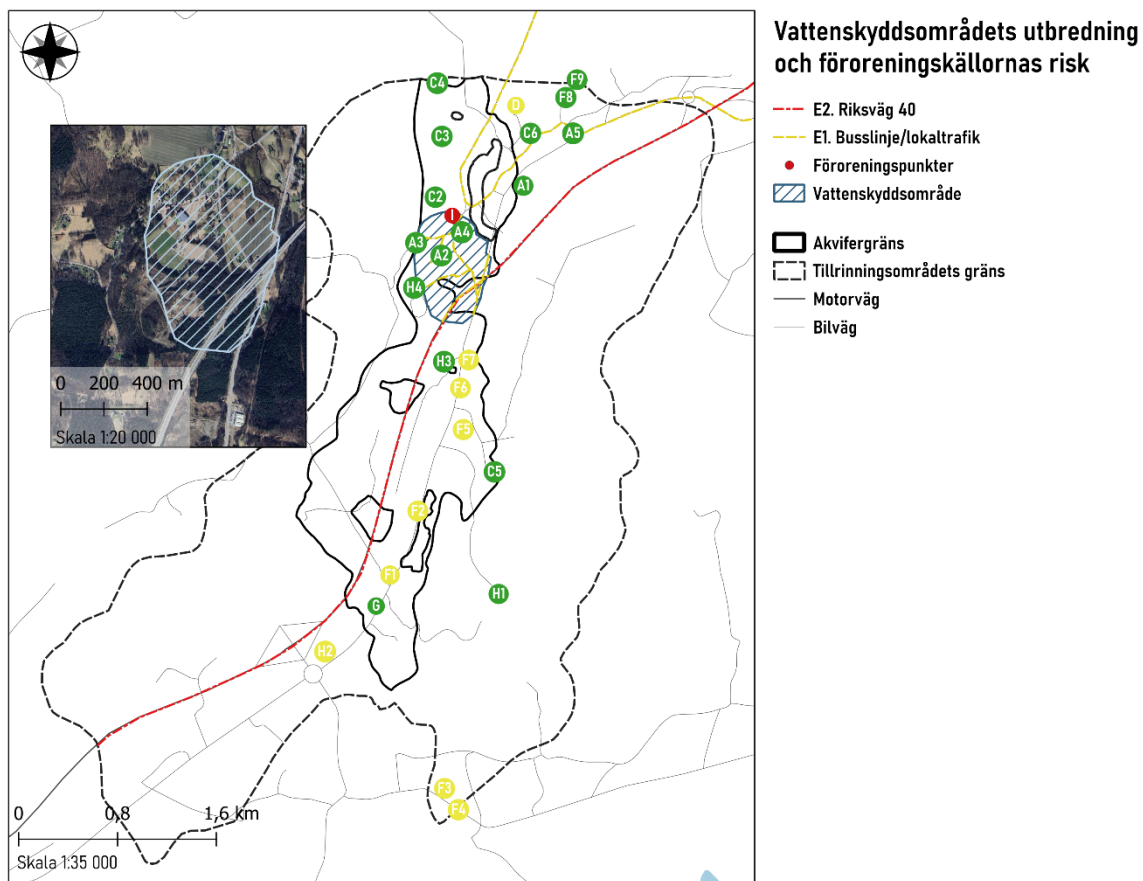
Riskbedömningen baserades på resultatet av arbetets sannolikhets- och konsekvensbedömning. De allvarligaste föroreningskällorna visade sig vara riksväg 40 och Rångedala kyrka, som båda hamnade inom matrisens rödmarkerade område enligt tabell 22.

Tabell 22. Föroreningskällornas placering i riskmatrisen.

| | | | | | |
|----|----------------------|----|-------------------------------------|----|----|
| S5 | | | | | |
| S4 | | | I | E2 | |
| S3 | C5 | | F2, F5, F6, F7, E1 | | |
| S2 | A2, A3 C1, C2 | G | F1, F3, F4 | | |
| S1 | A4, A5 C3, C4, C6 | | A1, B, F8, F9, H1, H2, H3, H4 | D | |
| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 |

3.6 Förslag på vattenskyddsområde

I figur 18 är föreslaget vattenskyddsområde markerat tillsammans med kartering av föroreningskällor, färgkodade utifrån placering i tabell 21. Vid skapande av förslaget valdes att inkludera kyrkan med tillhörande kyrkogård, riksväg 40 samt lokal trafik då dessa källor ansågs utgöra störst risk för dricksvattenförsörjningen. Detta ledde till att även A2, A3 och A4, som endast utgör en minimal risk, hamnade innanför vattenskyddsområdets gränser då de är belägna i anslutning till lokal trafik.



Figur 18. Vattenskyddsområdets utbredning och föroreningskällornas risk samt vattenskyddsområdets utbredning över en satellitkarta (Google Maps, 2025)

4 Diskussion

Under arbetets gång gjordes flera antaganden. Dessa återspeglar inte alltid hur verkligheten ser ut. I detta kapitel diskuteras hur arbetet skulle kunna förändras för att eventuellt ge ett mer korrekt resultat i framtiden.

4.1 Utvärdering av vattenskyddsområde

Förslaget på det vattenskyddsområde som presenterades i arbetet visade sig vara väldigt likt det befintliga vattenskyddsområdet kring Rångedala vattentäkt. Skillnaden är att arbetets avgränsning sträcker sig längre söderut vilket innebär ett högre skydd uppströms. Nedan diskuteras både avvägningar och beslut som gjordes när förslaget på vattenskyddsområdets geografiska avgränsning togs fram samt vilka restriktioner som hade kunnat implementeras på de källor som berörs av vattenskyddsområdet.

4.1.1 Antaganden vid geografisk avgränsning för vattenskyddsområdet

Förslaget på vattenskyddsområdets geografiska avgränsning baserades på den gjorda riskbedömningen. Kyrkan, lokaltrafik och riksväg 40 valdes att inkluderas av området och därmed områdets skyddsföreskrifter.

Värt att notera är att den framtagna metoden bedömer risker i ett långsiktigt perspektiv och att den gjorda bedömningen för horisontell spridning inte tar långa avstånd i beaktning. Detta gör att risken kan bedömas större än vad den faktiskt är. Därav kan slutsatsen vid inrättandet av det föreslagna vattenskyddsområdet motiveras genom att utesluta de gula riskkällorna som anses vara placerade på ett för långt avstånd från brunnen.

4.1.2 Förslag på åtgärder och restriktioner för riskfyllda verksamheter

Kyrkan, lokaltrafiken och riksväg 40 kommer, på grund av deras placering, omfattas av restriktioner i syfte att skydda dricksvattnet. För kyrkan kan detta innebära att se över vilka substanser som följer med ner i jorden vid begravning och plantera mycket växtlighet runt kyrkan som kan binda eventuell koppar som kan utsöndras från koppartaket. Angående lokaltrafik och riksväg 40 är det av störst vikt att hantera avrinningen från vägen som för med sig metaller och andra föroreningar till följd av fordonsslitage. Därför är ytterligare

dagvattenhantering nödvändigt som komplement till vägdiket som kan fördröja föroreningarna och föra bort vattnet vidare till exempelvis en dagvattendam. För lokaltrafiken kan även dagvattenledningar implementeras som fångar upp avrinningen från vägarna och för dem till någon form av reningsprocess.

4.2 Utvärdering av CFR-metoden

CFR-metoden baseras på en enkel ekvation av volymetriska flöden. Metoden behöver relativt lite teknisk kunskap då den räknar ut ett enkelt cirkulärt skyddsområde inom en viss tidsperiod. En tydlig nackdel med metoden är att grundvatten inte alltid ter sig i enlighet med ekvationen. Detta kan i sin tur leda till att ytor som inte är i behov av skydd faktiskt skyddas, och vice versa. För att kompensera för eventuella osäkerheter bör en eventuell säkerhetsfaktor tas i beaktning. Säkerhetsfaktorn kan då kompensera för eventuella förluster av viktiga antaganden som inte används i CFR-metoden. Radien som beräknas täcker då in ett större område som kanske överensstämmer mer med den faktiska situationen för ett skyddsområde.

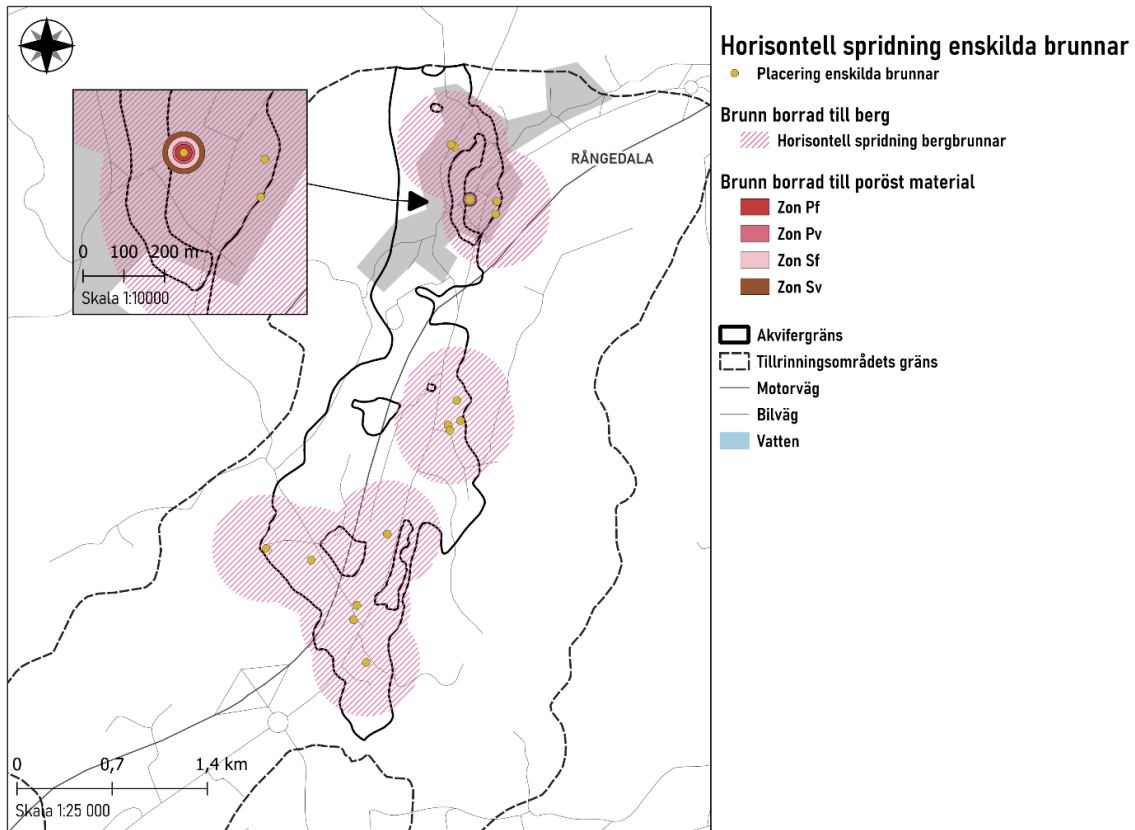
Utöver detta så kan dessutom valt Q i CFR-formeln behöva ses över. Q som användes för denna beräkning är hämtad från ett medeluttag från den kommunala brunnen baserat på 2007 års värde. Eventuella ändringar efter detta år kan medföra förändrat värde på Q . I nuläget bedömdes inte medeluttaget ha förändrats i stor utsträckning sedan 2007, däremot kan en eventuell befolkningsökning i framtiden medföra ett ökat uttag. Detta kommer i sin tur att öka värdet på Q , som i sin tur ger en ökad radie med hjälp av CFR-metoden. Däremot kan andra påverkanskällor i stället bidra till minskat uttag, så som minskade grundvattennivåer.

4.2.1 Privata brunnar

I arbetet med att bedöma sannolikheten för horisontell spridning togs endast det kommunala brunnshusets radie i beaktning. Ytterligare en dimension är att ta hänsyn till de privata brunnar som befinner sig inom grundvattenmagasinets område. Dessa bidrar till dricksvattenförsörjning men beaktas inte i bedömningsunderlaget enligt den riskbedömning som utförs.

En av dessa brunnar är borrhärd ner till akviferen och inte ner till berggrunden vilket innebär att även denna brunn tillämpas med CFR-metoden. Resterande brunnar är borrhärd genom berggrunden och avslutar inte i poröst material så som sand och grus. Dessa kan då inte tillämpas av CFR-metoden då det inte går att anta att grundvattenflödet är densamma som i

poröst material. I figur 19 presenteras ett förslag på hur resultatet av en utredning för sannolikhet för horisontell spridning hade sett ut vid inkludering av de privata brunnarna.



Figur 19. Privata brunnar med tillhörande radier.

Att privata brunnar inte påverkas av ett inrättat vattenskyddsområde innebär att det blir brukarens eget ansvar att se till att vattnet är av god kvalitet. Det kan medföra en risk för att brunnen inte håller den kvalitet som krävs. Om privata brunnar skulle ingå i vattenskyddsområdets avgränsning hade kvaliteten på dessa enklare kunna säkerställas men det hade även resulterat i stor påverkan på skyddsområdets geografiska avgränsning.

4.3 Utvärdering av riskkällor

Vid utvärdering av respektive riskkälla antogs att det undersökta området inte omfattas av gällande skyddsföreskrifter. Detta återspeglar inte verkligheten, då det i dagsläget finns ett befintligt vattenskyddsområde i Rångedala där bestämda föreskrifter råder. Hela undersökningsområdet omfattas även av skyddsföreskrifter för Öresjö vattenskyddsområdes

sekundära eller tertiära zon. Dessa föreskrifter begränsar vissa typer av aktiviteter och ställer krav på att vissa verksamheter bedrivs på ett reglerat sätt. Med detta i beaktande kan sannolikhetsbedömningen påverkas eftersom hänsynstagande skulle kunna leda till en lägre bedömd uppfattning av sannolikhet för utsläpp. Hänsynstagande skulle även potentiellt påverka konsekvensbedömningen, till följd av ändrad uppfattning av förväntad mängd utsläpp.

Under arbetets gång uppstod funderingar kring värdesättning av vissa verksamheter. För nuvarande regleras aktiviteter inom bebyggelsen för exempelvis volymen hälsoskadliga och miljöfarliga kemikalier, däribland petroleumprodukter, som får lagras inom Rångedalas vattenskyddsområde utan tillstånd. Berörda verksamheter av det befintliga vattenskyddsområdet är A2, A4 samt några få hushåll inklusive närliggande jordbruksmark. För jordbruksmarkens fall påverkar föreskrifterna exempelvis bondens möjlighet till lagring av bränsle till sina lantbruksmaskiner, då lagringen behöver tillstånd samt att uppförandet av förvaringen ska vara säker mot läckage till omgivningen. Övriga två föroreningskällor anses för nuvarande inte bedriva verksamheter som kan äventyra dricksvattenförsörjningens kvalitet men om verksamheternas utformning skulle förändras, kan de påverkas och begränsas av det upprättade vattenskyddsområdet. Öresjös tertiära skyddszon reglerar även hur fordonstvätt får ske. Skydds föreskrifterna som omfattar hela det studerade området kräver att fordonstvätt sker i en självtvättsanläggning eller automatisk biltvätt för att förhindra utsläpp av kemikalier och föroreningar till omgivningen.

4.3.1 Olyckor

Som beskrivet i avgränsningen tog inte arbetet hänsyn till oförutsägbara händelser som naturkatastrofer, brand, krig, sabotage och vissa olyckor. Gemensamt för dessa händelser är att de kan inträffa var som helst, när som helst. Eftersom händelserna är svåra att sannolikhetsbedöma försumrades de vid utformningen av ett vattenskyddsområde i Rångedala. Konsekvenserna vid inträffande av olyckshändelser kan bli förödande och om dessa skulle beaktas, riskerar bedömningen att bli missvisande och vattenskyddsområdets avgränsning hade antagligen sett annorlunda ut.

Naturkatastrofer som jordbävningar, översvämningar och skogsbränder beaktades inte i arbetet då de inträffar så pass sällan i området att de i nuläget anses svåra att kartlägga, främst utifrån sannolikhetsbedömningen. Till följd av dagens klimatförändringar kan naturkatastrofer komma att inträffa mer frekvent och eventuellt bli aktuellt att beakta vid framtida riskbedömningar.

Händelser som brand, krig, sabotage och långsökta olyckor exkluderades då de bedömdes tillräckligt osannolika att inträffa för att inkluderas i riskbedömningen. Om något av detta inträffar, finns en risk att ytterligare farliga ämnen och dess nedbrytningsprodukter sprids över området samt att föroreningarnas transportväg ser annorlunda ut.

Sannolikheten att exempelvis ett kraftigt oljeläckage från ett vindkraftverk enligt planerad utformning inträffar, måste ske genom passage av samtliga tilltagna säkerhetsåtgärder och den sannolikheten bedömdes vara så pass liten att det inte kommer att ske. Vissa tidigare vindkraftsolyckor har läckt ut stora mängder olja men information kring vindkraftverkens utformning saknas, varför aktuella kraftverk i planerad vindkraftspark antas läcka ut små mängder olja vid ett läckage. Trafikolyckor inkluderades däremot i riskbedömningen då dessa typer av olyckor kartläggs och visar sig återkomma med jämna mellanrum årligen.

4.4 Tillämpning av metoden på andra områden

Metoden är framtagen för att tillämpas på Rångedala grundvattenmagasin. Den kan tillämpas på andra områden men eventuellt behöver den justeras för att bättre lämpa sig för just det specifika området.

I arbetet togs ingen hänsyn till infiltration av ytvatten eller grundvattenkontakt från intilliggande grundvatten. Vid beaktande av detta ökar grundvattenbildningen. Arbetet togs heller inte hänsyn till ytavrinning men vid tillämpning av metoden på andra områden med stor andel hårdgjorda ytor i Sverige kan detta vara missvisande då hårdgjorda ytor är en stor bidragande orsak till ytavrinning. En annan förenkling som vidtogs är att hela grundvattenmagasinet består av uteslutande isälvsmaterial medan SGU:s kartvisare visar att små partier med finkornigt material, så som lera och silt, förekommer i jordlagerföljden som påverkar genomsläppligheten för vatten ner till grundvattenmagasinet. För att tillämpa metoden på andra områden kan en mer noggrann undersökning av materialet i grundvattenmagasinet göras för att erhålla en mer precis bedömning.

5 Slutsats

Syftet med arbetet var att skapa en metod för riskbedömning för att kunna analysera hur vattenkvaliteten påverkas vid eventuella föroreningskällor och hur pass lämplig grundvattenmagasinet är som grundvattentäkt. Riskbedömningen skulle sedan ligga till grund för ett förslag på ett vattenskyddsområdes geografiska avgränsning. Arbetet resulterade i nedan presenterade slutsatser.

Den metod som togs fram är användbar för att identifiera de områden som behöver skyddas i Rångedala. Riksväg 40 och Rångedala kyrka med tillhörande kyrkogård är de riskkällor som har störst risk att påverka grundvattenmagasinet negativt. De riskkällor som i stället har minst risk att påverka är jordbruk/djurhållning (specifikt C3, C4), C6, A4 samt A5.

Resultatet som metoden gav är en riskrankning som baseras på flertalet antaganden. Dessa kan dock komma att ändras i framtiden i takt med förändrade förutsättningar så som nya verksamheter, markförändringar eller andra påverkanskällor.

Sammanfattningsvis är det tydligt att metoden ger en bra grundstruktur åt expertbedömningar som kan anpassas till olika platser och användare. Då sektorn är i ständigt behov av bättre riskbedömningsmetoder kan arbetets metod utgöra grund för vidareutveckling av en mer avancerad sådan. Dessutom måste juridiska aspekter beaktas utöver denna metod för att kunna bedöma om vattenskyddsområdet kan verkställas enligt lag.

Referenser

- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., Hackett, G., Applications, J. T., Branch, A., & Kerr, R. S. (1987). *DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic setting*.
- Avloppsguiden. (u.å.). *Krav på enskilda avlopp*.
<https://avloppsguiden.se/informationssidor/krav-pa-enskilda-avlopp/>
- Baresel, C., Ek, M., Ejhed, H., Allard, A.-S., Magnér, J., Dahlgren, L., Westling, K., Wahlberg, C., Fortkamp, U., & Söhr, S. (2017). *Handbok för rening av mikroföröreningar vid avloppsreningsverk*. www.ivl.se
- Bergek, S., Sandin, L., Tomband, F., Holén, E., & Bryhn, A. (2017). *Ekosystemtjänster från svenska sjöar och vattendrag*. www.havochvatten.se
- Blom, M. (2020). *Riskbedömning av näringsläckage från hästagar*.
https://stud.epsilon.slu.se/16030/7/blom_m_200923.pdf
- Borås Stad. (2025a, januari 23). *Eget avlopp*.
<https://www.boras.se/bobyggaochtrafik/dinbostadochnarmiljo/vattenochavlopp/avlopp/egtavlopp.4.2ab8b45f1584d51f7f47a86.html>
- Borås Stad. (2025b, februari 11). *Tätortsbefolkning 2022-12-31*.
<http://boras.se/kommunochpolitik/omboras/borasisiffror/statistikforolikaamnen/markanvandning/tatorter/tatortsbefolkning20221231.4.7179dec21876ee4a279166aa.html>
- Bovin, K., Vikberg, E., & Morén, I. (2015). *Tätande jordlager - en kunskapssammanställning*.
<https://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1532-rapport.pdf>
- Britannica. (2025, januari 21). *What are the common pollutants present in wastewater?*
<https://www.britannica.com/question/What-are-the-common-pollutants-present-in-wastewater>
- Choudhary, P., Andersson, J., Stråe, D., WRS AB, Svensson, G., & SP Urban Water. (2015). *PM - Föreningar i dagvatten från parkeringsplatser*.
https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/pm_fororening_ar--parkeringsplatser_150910.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Corpus, R. M. B., Bayani, M. S., Aguilar, J. L., Aguilar, J. C. B., & Aguilar, H. B. (2024). *Emerging pollutants in waste water: Challenges and advancements in treatment technology*. 1372(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1372/1/012037>
- European Environment Agency. (2023). *Föreningar i mark och jord — vitt spridda, skadliga och ökande*. <https://www.eea.europa.eu/sv/miljosignaler/miljosignaler-2020/articles/fororeningar-i-mark-och-jord>
- Falk Enfors, L. (2024, mars 14). *Här går kossorna på pottan för att minska utsläpp*.
<https://www.svt.se/nyheter/vetenskap/har-gar-kossorna-pa-pottan-for-att-minska-utslapp>
- Folkhälsomyndigheten. (2016, februari 22). *Sjukdomsinformation om vattenburna infektioner och utbrott*. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/smittsamma-sjukdomar/vattenburen-smitta/>

- Folkhälsomyndigheten. (2023, juni 28). *Antibiotika och antibiotikaresistens*.
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittydd-beredskap/antibiotika-och-antibiotikaresistens/>
- Giftinformationscentralen. (2023a, februari 28). *Ammoniak*.
<https://giftinformation.se/kemikaliereregister/ammoniak/>
- Giftinformationscentralen. (2023b, maj 30). *Petroleumprodukter*.
<https://giftinformation.se/kemikaliereregister/petroleumprodukter/>
- Giftinformationscentralen. (2024, december 16). *Bensin*.
<https://giftinformation.se/kemikaliereregister/bensin/>
- Google Maps. (2025). *Google satellite Rångedala*. Google.
https://www.google.se/maps/@57.6805871,11.9625566,3725m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDUwNy4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- Gustafsson, J. (2022). Hundratals liter rann ut från läckande vindkraftverk. *Piteå-Tidningen*.
<https://doi.org/10.1002/ardp.19783110414>
- Gönczi, M. (2019, maj 21). *Växtskyddsmedlens spridningsvägar i miljön*.
<https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/SLU-Centrum-for-kemiska-bekampningsmedel-i-miljon/information-om-bekampningsmedel-i-miljon1/vaxtskyddsmedlens-spridningsvagar-i-miljon/>
- Göteborgs Stad. (u.å.-a). *Detta är dagvatten och skyfall*. Hämtad 05 april 2025, från
<https://goteborg.se/wps/portal/start/bygga-bo-och-leva-hallbart/vatten-och-avlopp/dagvatten-och-skyfall/detta-ar-dagvatten-och-skyfall>
- Göteborgs Stad. (u.å.-b). *Krav på rening av eget avlopp*. Hämtad 10 april 2025, från
<https://goteborg.se/wps/portal/start/bygga-bo-och-leva-hallbart/vatten-och-avlopp/eget-vatten-och-avlopp/krav-pa-rening-av-eget-avlopp>
- Göteborgs Stad. (u.å.-c). *Tvätta inte bilen på gatan*. <https://goteborg.se/wps/portal/start/bygga-bo-och-leva-hallbart/leva-hallbart/tvatta-inte-bilen-pa-gatan>
- Havs- och vattenmyndigheten. (2020, februari 24). *Vattenskyddsområde*.
<https://www.havochvatten.se/avlopp-och-dricksvatten/dricksvatten-och-vattenskydd/vattenskyddsomrade.html>
- Havsmiljöinstitutet. (u.å.). *Kvåve*. Hämtad 10 april 2025, från
<https://www.sverigesvattenmiljo.se/undersoka-vattenmiljo/kvave>
- Henriksson, M., & Abrahamsson, C. (2023). *Samrådsunderlag: Vindkraftsprojektet Rångedala i Borås kommun, Västra Götalands län*.
<https://www.tekniskaverken.se/siteassets/tekniska-verken/om-oss/vindkraft/boras-rangedala/samradsunderlag-for-vindkraftsprojekt-rangedala-inkl-bilagor.pdf>
- Jordbruksverket. (2022, november 17). *Övergödning och läckage av växtnäring*.
<https://jordbruksverket.se/jordbruket-miljon-och-klimatet/overgodning-och-lackage-av-vaxtnaring>
- Jordbruksverket. (2024, juli 3). *Antibiotikaresistens*. <https://jordbruksverket.se/djur/djurskydd-smittydd-djurhalsa-och-folkhalsa/antibiotikaresistens>

- Kemikalieinspektionen. (2021). *Kunskapssammanställning om PFAS*.
- Kemikalieinspektionen. (2022, december 6). *Metaller*. <https://www.kemi.se/rad-till-privatpersoner/kemikalier-i-material/metaller>
- Kemikalieinspektionen. (2025, februari 21). *PFAS*. <https://www.kemi.se/hallbarhet/amnen-och-material/pfas>
- Kristersson, M., Ankarberg, E. H., Bolin, Y. S., Rosengren, Å., Lantz, C., & Fogelberg, C. L. (u.å.). *2017 nr 18 del 1 - Nitrat och nitrit i livsmedel och dricksvatten från egen brunn* (Vol. 18).
- Larsson, M. (2008). *Avskiljning av dieselolja med aktivt kol för dricksvattenrening*.
- Levein, M. (2006). *Hydraulolja*. <https://rib.msb.se/bib/Search/Document?id=20902>
- Lindhe, A. (2010). *Risk assessment and decision support for managing drinking water systems*.
- Livsmedelsverket. (u.å.). *Tolka resultatet av din dricksvattenanalys*. Hämtad 23 april 2025, från <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/dricksvatten/egen-brunn2/vattenprov-och-analys-av-ditt-dricksvatten/tolka-ditt-vattenanalysresultat?filter=fosfat>
- Livsmedelsverket. (2021). *Försörjning av kemikalier inom den svenska dricksvattenproduktionen*.
- Livsmedelsverket. (2024a, oktober 15). *Mikroplast*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/mikroplast>
- Livsmedelsverket. (2024b, december 12). *Toxoplasma*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/bakterier-virus-parasiter-och-mogelsvampar1/parasiter/toxoplasma>
- Livsmedelsverket. (2025a, februari 5). *Bekämpningsmedel fördjupning*. https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/bekampningsmedel/bekampningsmedel-fordjupning#Hur_farligt_%C3%A4r_det
- Livsmedelsverket. (2025b, februari 14). *Cryptosporidium*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/bakterier-virus-parasiter-och-mogelsvampar1/parasiter/cryptosporidium>
- Livsmedelsverket. (2025c, mars 3). *Fosfor*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/naringsamne/salt-och-mineraler1/fosfor>
- Livsmedelsverket. (2025d, mars 19). *Giardia*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/bakterier-virus-parasiter-och-mogelsvampar1/parasiter/giardia>
- Luleå tekniska universitet. (2017). *Föroreningar i dagvatten*.
- Lång, L.-O., & Lindh, Å. (2015). *Grundvattenmagasinet Rångedala*. www.sgu.se
- Länsstyrelserna. (u.å.). *EBH-kartan*. Hämtad 02 maj 2025, från <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=ed0d3fde3cc9479f9688c2b2969fd38c>
- Malgeryd, J., & Persson, T. (2013). *Hästgödsel - en naturlig resurs*.
- Mansberger, J. (u.å.). *What are Permeable Surfaces?* [Video recording]. Hämtad 06 april 2025, från <https://extension.psu.edu/what-are-permeable-surfaces>

- MedlinePlus. (2023, april 1). *Antifreeze poisoning*.
https://medlineplus.gov/ency/article/002751.htm?utm_source=chatgpt.com
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (u.å.). *Akut omhändertagande på olycksplats – Alifatiska kolväten*. Hämtad 20 april 2025, från <https://rib.msb.se/fa/Substance/Index?id=8938>
- Naturskyddsforeningen. (2024a, oktober 24). *Frågor och svar om PFAS*.
<https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vad-ar-pfas/>
- Naturskyddsforeningen. (2024b, november 7). *PFAS i bekämpningsmedel*. Elsevier Ltd.
<https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/pfas-i-bekampningsmedel/>
- Naturvårdsverket. (2009). *Riktvärden för förorenad mark*.
<https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/5900/978-91-620-5976-7.pdf>
- Naturvårdsverket. (2011). *Naturvårdsverkets handbok 2010:5 om Vattenskyddsområde*.
www.naturvardsverket.se
- Naturvårdsverket. (2024a). *Förorenade områden*.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/forenadede-omraden/>
- Naturvårdsverket. (2024b, januari 10). *Vad är ekosystemtjänster?*
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/mark-och-vattenanvandning/ekosystemtjanster/vad-ar-ekosystemtjanster/>
- Naturvårdsverket. (2024c, februari 16). *Högfluorerade ämnen i miljön, PFAS*.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/miljoforoeningar/organiska-miljogifter/hogfluorerade-amnen-i-miljon-pfas/>
- Naturvårdsverket. (2024d, mars 11). *Läkemedel i miljön*.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/miljoforoeningar/organiska-miljogifter/lakemedel-i-miljon/>
- Naturvårdsverket. (2024e, mars 15). *Bekämpningsmedel i miljön*.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/miljoforoeningar/organiska-miljogifter/bekampningsmedel-i-miljon/>
- Nilsson, G., Rosqvist, H., Andersson-Sköld, Y., Starzec, P., & Norrman, J. (2005). *Föroreningsspridning*. www.swedgeo.se
- Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp. (u.å.). *Bräddning och nödutsläpp*. Hämtad 05 april 2025, från <https://nsva.se/kunskap/avloppsrening/braddning-och-nodutslapp/>
- Poison Control. (u.å.). *Hydraulic Fluids are Potentially Dangerous*. Hämtad 20 april 2025, från https://www.poison.org/articles/hydraulic-fluids-are-potentially-dangerous-203?utm_source=chatgpt.com
- Raid V., W., Mooney A., H., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter R., S., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Kumar Duraiappah, A., Hassan, R., Kasperson, R., Leemans, R., May M., R., McMichael (A. J.), T., Pingali, P., Samper, C., Scholes, R., Watson T., R., Zakri A., H., & Zurek B., M. (2005). *Ecosystems and human well-being : synthesis*. Island Press.

- Regeringskansliet. (2023, mars 2). *Regeringen satsar på en hållbar antibiotikaanvändning i djurhållningen*. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2023/03/regeringen-satsar-pa-en-hallbar-antibiotikaanvandning-i-djurhallningen/>
- Regionfakta. (2025, februari 17). *Personbilar per 1 000 invånare*. <https://www.regionfakta.com/norrbottnens-land/infrastruktur/personbilar-per-1000-invanare/>
- Rosén, L. (1991). *Sårbarhetsklassificering av grundvatten - Tillämpningar av standardiserade klassificeringssystem på svenska förhållanden*.
Statens geotekniska institut. (u.å.). *Förorening och mängd*. Hämtad 22 april 2025, från https://gis.swedgeo.se/vattentaktolycka/bl1_mertext.html
- Statens veterinärmedicinska anstalt. (2023, oktober 19). *Naturgödsel, biogödsel och slam*. <https://www.sva.se/djurhaelsa/foder-och-vatten/faror-i-foder-och-vatten/naturgoedsel-biogoedsel-och-slam/>
- Svensson, J., & Westlund, J. (2021, december 2). *Vindkraftbolag anmält för miljöbrott – hundratals liter olja och diesel läckte ut*. Sveriges Radio. <https://www.sverigesradio.se/artikel/lansstyrelsen-anmaler-vindkraftpark-for-miljobrott-hundratals-liter-olja-och-diesel-lackte-ut>
- Sveriges geologiska undersökning. (2020, november 12). *Isälvsediment - spår av isälvarna*. <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/isen-smalter/isalvsediment-spar-av-isalvarna/>
- Sveriges geologiska undersökning. (2024a, januari 29). *Bekämpningsmedel*. <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomningsgrunder-for-grundvatten/grundvattnets-kvalitet--organiska-amnesgrupper/bekampningsmedel/>
- Sveriges geologiska undersökning. (2024b, januari 29). *Bekämpningsmedel*. <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomningsgrunder-for-grundvatten/grundvattnets-kvalitet--organiska-amnesgrupper/bekampningsmedel/>
- Sveriges geologiska undersökning. (2024c, januari 29). *Koppar*. <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomningsgrunder-for-grundvatten/grundvattnets-kvalitet--oorganiska-amnen/koppar/>
- Sveriges geologiska undersökning. (2024d, januari 29). *Nitrit*. <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomningsgrunder-for-grundvatten/grundvattnets-kvalitet--oorganiska-amnen/nitrit/>
- Sveriges geologiska undersökning. (2024e, februari 27). *Läkemedel*. <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomningsgrunder-for-grundvatten/grundvattnets-kvalitet--organiska-amnesgrupper/lakemedel/>
- Sveriges geologiska undersökning. (2024f, mars 15). *Ammonium*. <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomningsgrunder-for-grundvatten/grundvattnets-kvalitet--oorganiska-amnen/ammonium/>
- Sveriges geologiska undersökning. (2024g, augusti 15). *Vattenskyddsområden*. <https://www.sgu.se/grundvatten/vattenskyddsomraden/>

- Sveriges geologiska undersökning. (2024h, oktober 31). *Brunnar*. <https://www.sgu.se/produkter-och-tjanster/geologiska-data/brunnar--geologiska-data/brunnar/>
- Sveriges geologiska undersökning. (2025a). *Bedömningsgrunder för grundvatten* (Vol. 163). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.034>
- Sveriges geologiska undersökning. (2025b). *Grundvattnets kvalitet - oorganiska ämnen*. www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomningsgrunder-for-grundvaen/
- Sveriges geologiska undersökning. (2025c). *Kartvisare*. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-brunnar.html?zoom=-376547.93284386606,5965143.160396321,1556295.932843866,7804746.839603679>
- Sveriges geologiska undersökning. (2025d, januari 2). *Grundvattenmagasin*. <https://www.sgu.se/produkter-och-tjanster/geologiska-data/grundvatten--geologiska-data/grundvattenmagasin/>
- Sveriges geologiska undersökning. (2025e, mars 7). *Vatten*. <https://www.sgu.se/om-geologi/vatten/>
- Sveriges lantbruksuniversitet. (2025, mars 3). *Sök digitala kartor och geodata*. <https://www.slu.se/site/bibliotek/soka-och-lana/soka/digitala-kartor/>
- Sveriges Miljömål. (u.å.). *Vattenskyddsområden för grundvattentäkter och ytvattentäkter i Västra Götalands län*. Hämtad 18 april 2025, från <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/grundvatten-av-god-kvalitet/vattenskyddsomraden/vastra-gotalands-lan/>
- Sveriges riksdag. (2018, juni 20). *Djurskyddslag (2018:1192)*. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/djurskyddslag-20181192_sfs-2018-1192/#K2
- SVT Nyheter. (2017, november 6). *Vindkraftverk läckte 100 liter olja*. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/smaland/utslapp-fran-vindkraftverk>
- SVT Nyheter. (2024, november 5). *Vindkraftverk har blåst ner i Härjedalen*. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/jamtland/vindkraftverk-har-blast-ner-i-harjedalen>
- Syafrudin, M., Kristanti, R. A., Yuniarto, A., Hadibarata, T., Rhee, J., Al-Onazi, W. A., Algarni, T. S., Almarri, A. H., & Al-Mohaimed, A. M. (2021). Pesticides in Drinking Water—A Review. I *International Journal of Environmental Research and Public Health 2021, Vol. 18, Page 468* (Vol. 18, Nummer 2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18020468>
- Teilmann, K. (2019). *Väg 40, Rångedala-Dalsjöfors Fördjupad riskbedömning och förslag till åtgärder*. Trafikverket.
- Trafikverket. (2023a). *Stickprov*. <https://vtf.trafikverket.se/tmg101/AGS/tmg102.aspx?punktnrlista=7220305&laenkrollista=2&typ=Stickprov>
- Trafikverket. (2023b). *Stickprov*. <https://vtf.trafikverket.se/tmg101/AGS/tmg102.aspx?punktnrlista=7220061&laenkrollista=1&typ=Stickprov>
- Transportstyrelsen. (2025). *Urvalskriterier*.

- Ulricehamns kommun. (2024). *Riktlinjer för förorenade områden 2024–2029*.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1987). *Guidelines for delineation of wellhead protection areas*.
- WHO. (2008). *Guidelines for Drinking-water Quality THIRD EDITION INCORPORATING THE FIRST AND SECOND ADDENDA Volume 1 Recommendations Geneva 2008 WHO Library Cataloguing-in-Publication Data*.
- Wilhelmson Håkan, & Brorsson Inge. (1986). *Handledning för geotekniska beräkningar*.
- Wirén, E. (2022, april 6). *Trädgård och miljö – gödsling*.
<https://svensktradgard.se/tradgardsrad/hallbar-tradgard/valj-miljovanligt/tradgard-och-miljo-godsling/>
- Öhman, J., Sultan, L., Mayner Singh, Anna Lindqvist, E., Julin, E., Tunbjörk, M., Storck, J., Ryding, C., Nittérus, K., & Wietrzyk-Pelka, P. (2024). *Miljökonsekvensbeskrivning Vindpark Rångedala*. <https://www.tekniskaverken.se/siteassets/tekniska-verken/om-oss/vindkraft/boras-rangedala/miljokonsekvensbeskrivning-vindpark-rangedala.pdf>



CHALMERS