



Examensarbete inom kemiteknik
Avancerad nivå, 30 hp

Multikriterieanalys av Norrvattens reservvattenalternativ

CAROLINA BERGSTRÖM

EXAMENSARBETE
Masterexamen
Kemiteknik för energi och miljö

Titel

Multikriterieanalys av Norrvattens reservvattenalternativ

Title

Multi-criteria analysis of Norrvatten's reserve water alternatives

Nyckelord

Multikriterieanalys, reservvatten, reservvattenförsörjning

Keywords

Multi-criteria analysis, reserve water, reserve water supply

Arbetsplats

Norrvatten

Handledare på Norrvatten

Daniel Hellström

Handledare på KTH

Klas Engvall

Student

Carolina Bergström

Datum

2022-06-10

Examinator

Klas Engvall

Sammanfattning

Norrvatten producerar dricksvatten i sitt vattenverk, Görvälnverket, som distribueras till 700 000 människor i norra Stockholm. Om problem uppstår med den ordinarie dricksvattenförsörjningen kan leveranserna säkras upp genom en reservvattenförsörjning. Norrvattens nuvarande reservvattenförsörjning klarar dock inte av att leverera tillräcklig kapacitet och kvalitet totalt sett och behöver därför förstärkas. För att utgöra underlag för vidarearbete med att förstärka Norrvattens reservvattenförsörjning genomförs en multikriterieanalys där sju olika reservvattenalternativ analyseras med avseende på ett antal kriterier. MKA-verktyget Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability (WISER) tillämpas som är utvecklat för att studera dricksvattenåtgärder. Även fyra olika känslighetsanalyser utförs för att se hur resultatet påverkas av val av viktning och hur osäkerheter i använd data bidrar till osäkerheten i resultatet.

Resultatet visade att alla reservvattenalternativ förutom ett är fördelaktiga jämfört med Norrvattens nuvarande reservvattenförsörjning. Det vore mest fördelaktigt att etablera en ny grundvattentäkt eller förstärka de befintliga grundvattentäkterna. Etablering av ett nytt råvattenintag till Görvälnverket bedöms ofördelaktigt jämfört med de andra alternativen. Om Norrvatten inte skulle begränsas av ekonomiska tillgångar visar resultatet istället att alla alternativ är fördelaktiga och rangordningen av alternativen ändras. Rangordning ändras även om analysen enbart beaktar alternativens kapacitet och dricksvattenkvalitet. För att uppnå Norrvattens målproduktion av reservvatten behöver fler av alternativen etableras, eller bara ett nytt råvattenintag till Görvälnverket. De kriterier som bidrar med störst osäkerhet i resultatet är investeringskostnader samt drift- och underhållskostnader följt av genomförbarhet, rådighet och dricksvattenkvalitet. Resultatet påverkas mer av osäkerheterna i kriterierna investeringskostnader, drift- och underhållskostnader, dricksvattenkvalitet och tillförlitlighet än de övriga kriterierna.

Abstract

Norrvatten produces drinking water in its Water Treatment Plant, Görvälnverket, which is distributed to 700,000 people in northern Stockholm. If problems arise with the ordinary drinking water supply, the deliveries can be secured through a reserve water supply. However, Norrvatten's current reserve water supply is not able to deliver sufficient capacity and quality overall and therefore needs to be strengthened. To form a basis for further work to strengthen Norrvatten's reserve water supply, a Multi Criteria Analysis is carried out in which seven different reserve water alternatives are evaluated regarding several criteria. The MCA tool Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability (WISER) is applied, which has been developed to study drinking water measures. Four different sensitivity analyzes are also performed to see how the result is affected by the choice of weighting and how uncertainties in the data used contribute to the uncertainty in the result.

The result showed that all reserve water alternatives except one are favorable compared with Norrvatten's current reserve water supply. It would be most favorable to establish a new groundwater source or to strengthen the existing groundwater sources. Establishment of a new raw water intake to Görvälnverket is considered unfavorable compared with the other alternatives. If Norrvatten wouldn't be limited by financial assets, the result instead show that all alternatives are favorable and the ranking of the alternatives changes. The ranking of the alternatives also changes if the analysis only considers the alternatives' capacity and drinking water quality. To achieve Norrvatten's goal production of reserve water, several of the alternatives need to be established, or only a new raw water intake to Görvälnverket. The criteria that contribute to the greatest uncertainty in the result are investment costs as well as operating and maintenance costs followed by feasibility, availability and drinking water quality. The result is affected more by the criteria investment costs, operating and maintenance costs, drinking water quality and reliability than the other criteria.

Förord

Med detta examensarbete avslutar jag masterprogrammet Kemiteknik för energi och miljö vid Kungliga tekniska högskolan i Stockholm. Arbetet omfattar 30 hp och har utförts i samarbete med Norrvatten.

Stort tack till min handledare Daniel Hellström på Norrvatten för möjligheten att utföra arbetet och för allt engagemang. David Heldt på Norrvatten ska även ha ett särskilt tack för engagemang och deltagande. Tack till min handledare Klas Engvall på KTH för goda råd på rapportens utformning och innehåll. Till sist vill jag tacka Andreas Lindhe på Chalmers för all vägledning och hjälp.

Carolina Bergström, juni 2022

Förkortningar

CO ₂	Koldioxid
CO ₂ -ekv	Koldioxidekvivalenter
MKA	Multikriterieanalys
PFAS	Per- och polyfluorerade alkylsubstanser
PFAS11	Summan av 11 PFAS ämnen
SLV	Livsmedelsverket
SVOA	Stockholm Vatten och Avfall
UV	Ultraviolett strålning
WISER	Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1 Syfte & mål.....	1
1.2 Avgränsningar.....	1
2. Bakgrund	2
2.1 Dricksvattenproduktion	2
2.2 Reningstekniker	2
2.2.1 Konstjord infiltration	3
2.2.2 Nanofiltrering.....	4
2.3 Ytvattentäkter.....	4
2.3.1 Mälaren	4
2.3.2 Fysingen.....	5
2.4 Grundvattentäkter	5
2.4.1 Märsta	5
2.4.2 Hammarby	5
2.4.3 Ulriksdal.....	5
2.4.4 Norrtälje.....	6
2.4.5 Toresta	6
3. Metod	7
3.1 Reservvattenalternativ	7
3.2 Kriterier.....	8
3.3 Poängsättning.....	10
3.4 Viktning	20
3.4 Index	22
3.5 Känslighetsanalys	22
3.5.1 Ekonomisk påverkan.....	22
3.5.2 Kapacitet och dricksvattenkvalitet.....	22
3.5.3 Korrelationsanalys.....	22
3.5.4 Variationsanalys.....	22
4. Resultat	23
4.1 Sammanvägt index.....	23
4.2 Dimensionsindex	23
4.3 Känslighetsanalys av ekonomisk påverkan	25
4.4 Kapacitet och dricksvattenkvalitet.....	25
4.5 Korrelationsanalys	26

4.6 Variationsanalys.....	28
5. Diskussion	30
5.1 Resultat av multikriterieanalysen.....	30
5.2 Känslighetsanalys av viktning	30
5.3 Korrelationsanalys och variationsanalys	31
5.4 Etablering av fler alternativ	32
5.5 MKA	32
6. Slutsats	34
7. Förslag på fortsatt arbete	35
8. Referenser	36
Bilaga A	40
Bilaga B	42
Bilaga C	43
Bilaga D	44
Bilaga E	46
Bilaga F	47

Tabellförteckning

Tabell 1. Sammanställning av kriterier	9
Tabell 2. Poängindelning och kategorisering av prestation	10
Tabell 3. Poängsättning av kriteriet kapacitet en månad.....	11
Tabell 4. Poängsättning av kriteriet kapacitet en vecka	12
Tabell 5. Poängsättning av kriteriet tillförlitlighet.....	12
Tabell 6. Poängsättning av kriteriet reningsbehov	13
Tabell 7. Poängsättning av kriteriet genomförbarhet.....	14
Tabell 8. Poängsättning av kriteriet rådighet	14
Tabell 9. Poängsättning av kriteriet dricksvattenkvalitet.....	15
Tabell 10. Poängsättning av kriteriet rekreativvärden.....	16
Tabell 11. Poängsättning av kriteriet påverkan på ytvattentäkter och akvatiska ekosystem	17
Tabell 12. Poängsättning av kriteriet växthusgasutsläpp vid drift	18
Tabell 13. Poängsättning av kriteriet växthusgasutsläpp vid konstruktion.....	19
Tabell 14. Poängsättning av kriteriet investeringskostnader.....	19
Tabell 15. Poängsättning av kriteriet drift- och underhållskostnader	20

Figurförteckning

Figur 1. Illustration av Görvålverkets reningsprocess	2
Figur 2. Principskiss av bassänginfiltration [10].....	3
Figur 3. Principskiss av inducerad infiltration [10]	3
Figur 4. Översigtskarta över Skarven, Hattholmen och Kalmarviken [15]	4
Figur 5. Karta över sjön Fysingen [19]	5
Figur 6. Översigtskarta över Toresta området [25]	6
Figur 7. Flödesschema över arbetsprocessen i WISER.....	7
Figur 8. Översikt av relativa viktningen	21
Figur 9. Sammanvägt index	23
Figur 10. Tekniskt index.....	24
Figur 11. Socialt index.....	24
Figur 12. Miljömässigt index.....	24
Figur 13. Ekonomiskt index	24
Figur 14. Sammanvägt index vid känslighetsanalys av ekonomisk påverkan.....	25
Figur 15. Sammanvägt index när enbart kapacitet och dricksvattenkvalitet beaktas	26
Figur 16. Korrelationskoefficienter alt. 1	27
Figur 17. Korrelationskoefficienter alt. 2.....	27
Figur 18. Korrelationskoefficienter alt. 3	27
Figur 19. Korrelationskoefficienter alt. 4	27
Figur 20. Korrelationskoefficienter alt. 5	27
Figur 21. Korrelationskoefficienter alt. 6	27
Figur 22. Korrelationskoefficienter alt. 7.....	27
Figur 23. Variationsanalys alt. 1	28
Figur 24. Variationsanalys alt. 2	28
Figur 25. Variationsanalys alt. 3	28
Figur 26. Variationsanalys alt. 4	28
Figur 27. Variationsanalys alt. 5	29
Figur 28. Variationsanalys alt. 6	29
Figur 29. Variationsanalys alt. 7	29

1. Introduktion

Med sitt vattenverk, Görvälnverket, producerar och distribuerar Norrvatten dricksvatten till 700 000 människor i norra Stockholmsregionen. Flera samhällskritiska verksamheter finns även i regionen, till exempel flera stora sjukhus och Arlanda flygplats. Således är ett stort antal människor och verksamheter beroende av att Norrvatten garanterar en säker leverans av dricksvatten. [1]

Om problem uppstår med den ordinarie dricksvattenförsörjningen kan leveranserna säkras upp genom en tillräcklig reservvattenförsörjning. Norrvattens nuvarande reservvattenförsörjning består av reservkapacitet från ordinarie produktion och reservvatten från andra källor. Nuvarande reservvattenförsörjning klarar dock inte av att leverera tillräcklig kapacitet och kvalitet totalt sett och är därför i stort behov av att förstärkas [2].

Idag har Norrvatten sju grundvattenverk som har möjlighet att pumpa upp grundvatten från Stockholmsåsen och Lohäradsåsen i Norrtälje [3]. Uttagsmöjligheterna från grundvattentäkterna är dock begränsade av vattentillgång, grundvattnets kvalitet och gällande tillstånd för att hämta vatten från grundvattentäkterna (vattendomar) [4]. Norrvatten har utöver grundvattenresurserna möjlighet att få stödleverans av Stockholm Vatten och Avfall (SVOA) [3].

Norrvatten har under en längre tid utrett olika möjligheter till att förstärka reservvattenkapaciteten och därmed Norrvattens reservvattenförsörjning. Ett flertal utredningar har behandlat förutsättningar till att förstärka befintliga grundvattentäkter och inrätta nya samt att komplettera nuvarande råvattenintag till Görvälnverket med ytterligare ett råvattenintag. [5]

1.1 Syfte & mål

Syftet är att utgöra underlag för vidarearbete med Norrvattens reservvattenförsörjning. Målet är att studera sju olika reservvattenalternativ genom en multikriterieanalys (MKA). MKA-verktyget Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability (WISER) tillämpas. Reservvattenalternativen som ingår i analysen inkluderar förstärkning av Märsta och Hammarby grundvattentäkt genom infiltration av ytvatten från Fysingen och Mälaren, rening i Hammarby med nanofiltrering, etablering av ny grundvattentäkt i Toresta och byggnation av ett nytt råvattenintag i till Görvälnverket. Frågeställningar som ska besvaras är följande:

- Vilket alternativ anses mest fördelaktigt att etablera utifrån valda kriterier och viktning?
- Vilka kriterier bidrar till den största osäkerheten i resultatet?
- Hur ser förslag på lösning ut för att uppnå Norrvattens målproduktion av reservvatten?

1.2 Avgränsningar

Arbetet avgränsas till att omfatta åtgärder i Märsta och Hammarby grundvattentäkt. Övriga grundvattentäkter antas inte åtgärdas för att få någon ökad kapacitet. Samtliga alternativ inkluderar ett reningssteg med ultraviolett strålning (UV) vilket exkluderas i analysen, eftersom det inte bidrar till någon skillnad mellan alternativen. Tidpunkt för jämförelsen mellan de olika alternativen är år 2030–2035.

2. Bakgrund

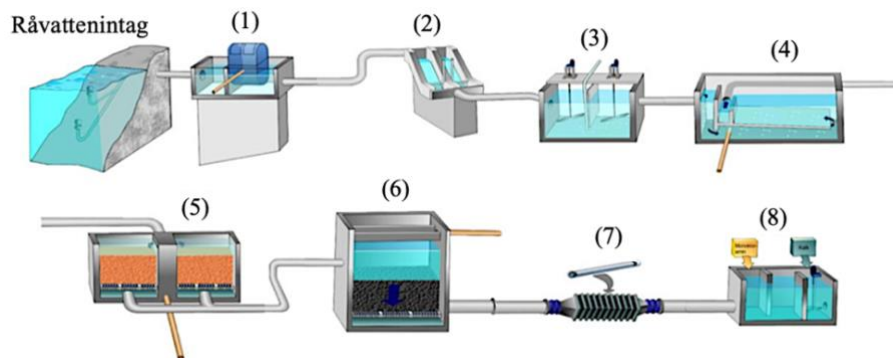
I detta kapitel beskrivs Norrvattens dricksvattenförsörjning och de resurser och tekniker som inkluderas i reservvattenalternativen som ingår i analysen.

2.1 Dricksvattenproduktion

Norrvattens dricksvattenförsörjning består av dricksvatten producerat i Görvälnverket som ligger i Järfälla kommun. Nuvarande dricksvattenproduktion uppgår i genomsnitt till 1600 l/s [6]. Råvatten hämtas in i Görvälnverket från Östra Mälaren. Detta innebär att dricksvattenförsörjningen är beroende av en ytvattentäkt och även ett vattenverk. I och med denna sårbarhet är det viktigt att Norrvatten har tillräckligt med reservvatten i beredskap.

I Görvälnverket renas råvattnet i flera steg för att dricksvattnet ska hålla god kvalitet. Det är Livsmedelsverket (SLV) som fastställer föreskrifter som bestämmer vilka krav som måste uppfyllas på dricksvattnet [7, 8]. Föreskrifterna innehåller bland annat olika gränsvärden för en rad olika ämnen. Därför kontrollerar Norrvatten regelbundet att dricksvattnet uppfyller SLV:s krav [8].

Reningsprocessen i Görvälnverket illustreras i Figur 1. Råvatten silas från fisk, alger och större partiklar i en korgbandsil (1). Efter silningen leds vattnet till en blandare för kemisk fällning med aluminiumsulfat (2). Vattnet leds vidare till flockningskammare där partiklar i vattnet klumpar ihop sig. Natriumsilikat tillsätts även i flockningskammarna som gör att flockarna blir större (3). Efter flockningsprocessen leds vattnet till en sedimenteringsbassäng där flockarna separeras från vattnet (4). Vidare filtreras vattnet på sandbäddar (5), med aktivt kol (6) och desinficeras med UV (7). Till sist pH-justeras vattnet med kalk och desinficeras med tillsatser av monokloramin innan det distribueras ut i Norrvattens ledningsnät (8). [9]



Figur 1. Illustration av Görvälnverkets reningsprocess

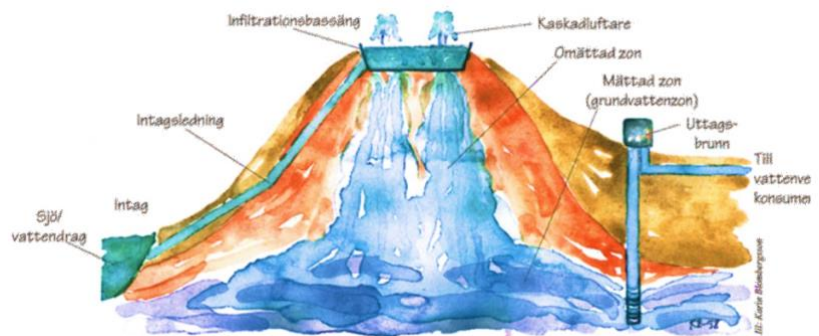
2.2 Reningstekniker

De reningstekniker som inkluderas i alternativen som analyseras är konstgjord infiltration och nanofiltrering som beskrivs i följande underkapitel.

2.2.1 Konstgjord infiltration

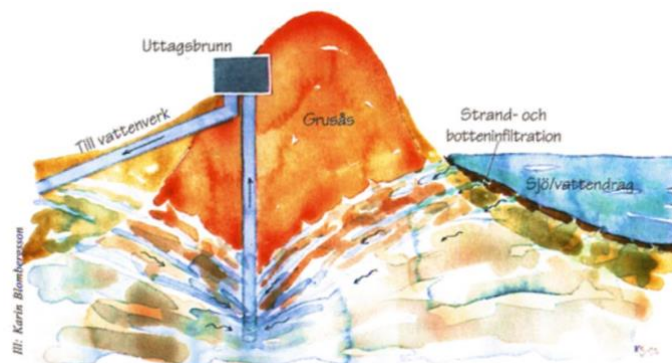
Naturlig grundvattenbildning tillkommer av nederbörd som rinner ner genom jord- och marklager. Om ett grundvattenmagasin inte har en önskvärd stor vattentillgång kan konstgjord infiltration tillämpas. Tillämpning av konstgjord infiltration innebär att ytvatten infiltreras genom jord- och marklager i syfte att förstärka den naturliga grundvattenbildningen vilket medför en högre uttagskapacitet [10]. Tekniken utgör också en mikrobiologisk barriär vilket förbättrar vattenkvaliteten [11]. Ytvattnets kvalitet förbättras eftersom det infiltreras genom olika lager av sand och grus vilket avskiljer mikrobiologiska föroreningar. Även kvaliteten på det grundvatten som redan befinner sig i grundvattentäkten förbättras eftersom infiltrationen medför en viss utspädning. De metoder för konstgjord infiltration som används runt om i Sverige är inducerad infiltration, bassänginfiltration, sprinklerinfiltration och djupinfiltration [4]. I denna studie analyseras reservvattenalternativ som inkluderar bassänginfiltration och inducerad infiltration. Dessa är de två vanligaste teknikerna vid tillämpning av konstgjord infiltration [12].

En illustration av bassänginfiltration visas i Figur 2. Ytvatten pumpas till en bassäng med lager av grus och sand som vattnet transporteras genom och bildar grundvatten. Bassängerna kan variera i storlek och form men en typisk bassäng är rektangulär med en yta på cirka 800 m². Det är vanligt att vattnet luftas i bassängerna, ofta med så kallade kaskadluftare. Syftet med luftningen är att öka syrehalten i vattnet vilket förbättrar nedbrytning av organiskt material. Efter en viss uppehållstid pumpas grundvattnet upp ur brunnar. [10]



Figur 2. Principskiss av bassänginfiltration [10]

Inducerad infiltration är en bra teknik att tillämpa för att öka grundvattenbildningen om ytvatten har direkt anslutning till ett grundvattenmagasin. När grundvatten pumpas upp ur en brunn, som placeras nära strandkanten, erhålls en gradient som gör att ytvatten från till exempel en sjö infiltrerar genom botteninfiltration och sand till grundvattenmagasinet [10]. På så vis fylls grundvattenmagasinet på vid uttag. Illustration av inducerad infiltration visas i Figur 3.



Figur 3. Principskiss av inducerad infiltration [10]

2.2.2 Nanofiltrering

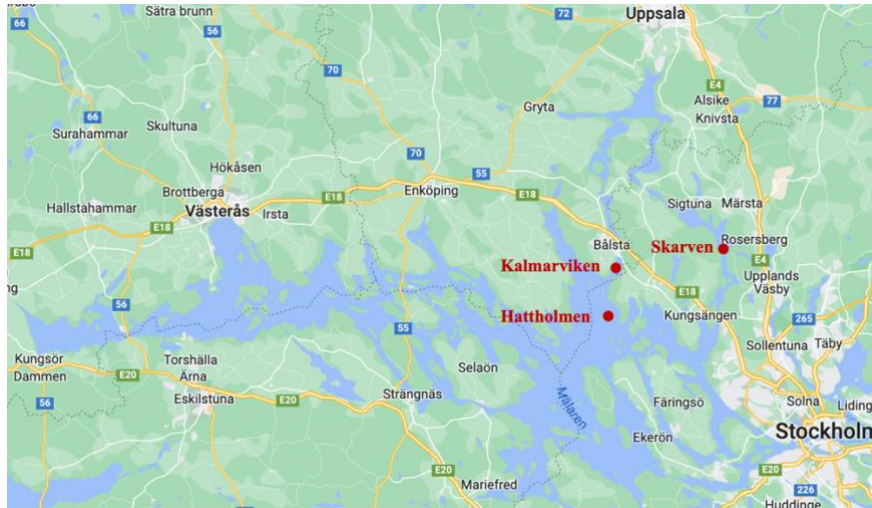
Nanofiltrering är en membranteknik som används för att separera vatten från andra ämnen. Membrantekniken är en fysikalisk teknik vilket innebär att kemikalier inte behövs för själva reningen [13]. Vid nanofiltrering används membran med en porstorlek omkring 0,5 – 2 nm där alla molekyler över en denna storlek renas från vattnet, dvs små molekyler kan passera filtret medan större molekyler inte kan passera. Nanofiltrering utgör en mikrobiologisk barriär och är bland annat effektiv för att avskilja uran och PFAS samt för att avhärda hårt vatten. En nanofiltreringsanläggning varierar i storlek och utformande samt kan optimeras eftersom fler parametrar dimensioneras, exempelvis membranets porstorlek och utbyte [14].

2.3 Ytvattentäkter

De ytvattentäkter som inkluderas i analysen är Mälaren och Fysingen vilka beskrivs nedan.

2.3.1 Mälaren

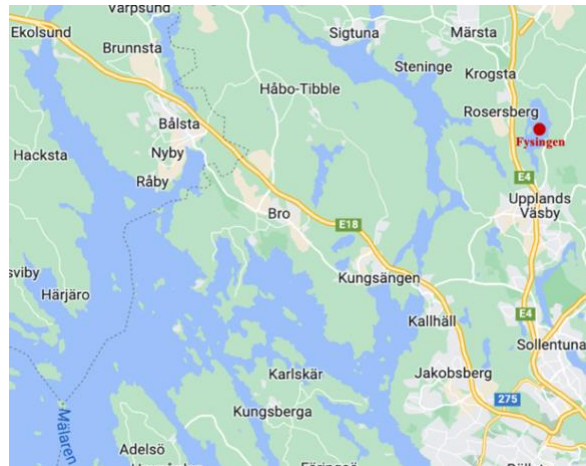
Mälaren har en stor sjöarea på 1120 km² och är landets tredje största sjö [4]. Mälaren sträcker sig från Kungsör till Stockholm och Huddinge. En flik av sjön går upp till Uppsala [15]. Sjön är en mycket värdefull och använd naturresurs som varje dag förser dricksvatten till närmare 2,5 miljoner människor i Sverige [16]. Sjön är uppdelad i olika delar och har många delströmmar som är mer eller mindre hydrauliskt oberoende av varandra [5]. Detta innebär att om ett utsläpp sker i en del av sjön påverkar utsläppet mer eller mindre andra delar. Vattenkvaliteten i Mälaren varierar beroende på vilken del av sjön som analyseras men är generellt sätt god [17]. De delar av Mälaren som är aktuella inom ramen för detta arbete är Skarven, Hattholmen och Kalmarviken. I Figur 4 visas en karta över Mälaren där de aktuella delarna är markerade.



Figur 4. Översiktskarta över Skarven, Hattholmen och Kalmarviken [15]

2.3.2 Fysingen

Fysingen har en mindre sjöarea på 5 km² och är belägen mellan Stockholmsåsen-Norrunda och Stockholmsåsen-Hammarby [18]. I Figur 5 ses en karta över sjön Fysingen. Sjön är en näringsrik sjö med höga natur- och friluftsvärden. Fysingen är en populär plats för friluftsliv och gynnsam för fågelliv med ett hundratal olika häckande arter [4]. Vattenkvaliteten i sjön har bedömts vara av god ekologisk status men ej av god kemisk status. Föroreningar så som bromerade difenyler, tributyltenn och kvicksilver behöver minska för att en god generell status ska kunna uppfyllas [18].



Figur 5. Karta över sjön Fysingen [19]

2.4 Grundvattentäkter

I följande underkapitel beskrivs de grundvattentäkter som inkluderas i arbetet, både befintliga i Stockholmsåsen och Lohäradsåsen samt en nyetablering av Toresta grundvattentäkt.

2.4.1 Märsta

Märsta grundvattentäkt ligger vid sjön Fysingens norra ände. Området kring grundvattentäkten innefattas av Fysingens naturreservat som till stor del består av åskullar, betesmark och kulturlandskap [4]. Märsta grundvattentäkt har bäst vattenkvalitet utav Norrvattens grundvattentäkter. Vissa prover har dock påvisat halter som överskrider SLV:s gränsvärden gällande koliforma bakterier, alkalinitet samt järn [20].

2.4.2 Hammarby

Hammarby grundvattentäkt ligger vid sjön Fysingens sydvästra del [4]. Prover visar på överskridande halter av uran och PFAS (poly- och perfluorerade alkylsubstanser). Uranhalterna har uppmätts under längre tid och alla prover förutom ett har överskridit SLV:s gränsvärde. Därför kan halterna uran behöva sänkas. PFAS har enbart provtagits i tre prov och samtliga har visat relativt höga halter. Halten PFAS11 har vid ett provtillfälle varit över SLV:s gränsvärde [20]. Från och med år 2026 kommer SLV:s nya gränsvärde tillämpas. Livsmedelsverkets gränsvärde är idag 90 ng/l vatten för 11 PFAS-ämnen, vilket troligtvis kommer minska till 4 ng/l [21]. Trots de överskridande halterna har grundvattnet god kvalitet, både mikrobiologisk och baskemisk [14].

2.4.3 Ulriksdal

Ulriksdals grundvattentäkt är belägen mellan Brunnsviken och Edsviken [22]. Grundvattentäkten ligger i Ulriksdals- och Igelbäckens naturreservat och är en del av Nationalstadsparken [4]. Under många år infiltrerades dricksvatten från Görvälnverket i Ulriksdal när AB Pripps Bryggerier och senare Carlsberg Sverige AB tog ut vatten till sitt bryggeri [22]. Invid grundvattentäktens brunn finns en gammal

infiltrationsanläggning som tidigare användes för infiltrationen [4]. Grundvattentäkten har de senaste åren uppvisat en bättre mikrobiologisk och baskemisk kvalitet. Vissa mätningar har visat på förhöjda halter av koliforma bakterier, men inga halter som överskrider SLV:s gränsvärden. [20]. Vattnet har låg uranhalt vilket troligtvis beror på infiltrationen som tidigare pågått. Vattenkvalitetsförändringarna gällande uran visar således på de positiva effekter på grundvattenkvaliteten som kan uppnås genom infiltration av ytvatten [14].

2.4.4 Norrtälje

Tillgången av grundvatten i Lohäradsåsen i Norrtälje är uppdelade i flera grundvattenmagasin som är hydrauliskt separerade från varandra. De tre grundvattenverken i Lohäradsåsen har tillsammans kapacitet att försörja Norrtälje upp till fem veckor [4]. Inom området där grundvattentäkten är belägna finns ett antal fornlämningar. Hela området är också av riksintresse för kulturmiljövård [23]. Grundvattnet i Norrtälje bedöms ha en god kvalitet [24].

2.4.5 Toresta

Norrvatten har tidigare utrett olika områden för att anlägga nya reservvattentäkter [4]. Ett av dessa områden är Toresta som ligger i Upplands-Bro kommun [5]. Området är beläget vid Kalmarviken där det har direktkontakt med ytvattnet [4]. Förutsättningarna för grundvattenuttag och inducerad infiltration har i tidigare utredningar bedömts som mycket goda längs Kalmarvikens stränder [4]. Kvaliteten i Torestaåsen bedöms även vara av ekologisk och kemisk status [18]. Provtagning i åsen är gjord och Norrvatten inväntar provresultat. I Figur 6 är det aktuella området i Toresta markerat.



Figur 6. Översiktskarta över Toresta området [25]

3. Metod

Multikriterieanalys (MKA) är ett begrepp för flera metoder som tillämpas inom olika områden. Utformningen av en MKA kan se olika ut med olika grad av komplexitet [26]. Idén med en MKA är att utvärdera åtgärdsalternativ till ett problem med avseende på ett antal uppsatta kriterier för att underlätta beslutstaganden. Kriterierna väljs efter egna intressen och förutsättningar. På det sättet kan kriterierna väljas så att ansedda nyckeldimensioner kan innefattas (exempelvis social och ekonomisk hållbarhet) [27]. I analysprocessen tas åtgärdsalternativ fram vilka bedöms mot de uppsatta kriterierna för att sedan viktas samman till ett slutgiltigt resultat. Resultatet är beroende av vilka val som görs under analysprocessen och vilka beslutsfattare som medverkar i analysen [26]. Därmed är MKA en subjektiv metod.

Multikriterieanalysen i examensarbetet har utförts med Excel-verktyget WISER som är framtaget av Rosén et al. (2021). WISER är ett MKA-verktyg som syftar till att utvärdera, jämföra och rangordna alternativa dricksvattenalternativ. Verktyget är därför väl passande för att analysera Norrvattens reservvattenalternativ. Framtagna alternativ bedöms relativt ett referensalternativ och tilldelas poäng för varje definierat kriterium. Sedan viktas kriterierna och de hållbarhetsdimensioner som inkluderas för att påvisa dess relativa betydelse. Resultatet från analysen redovisas med beräknade index vilka visar på om de analyserade alternativen är fördelaktiga jämfört med referensalternativet. [28] I Figur 7 visas ett flödesschema över de olika stegen arbetsprocessen i WISER.



Figur 7. Flödesschema över arbetsprocessen i WISER

I WISER kan även osäkerheter medräknas. Detta innebär att inte bara de mest troliga poängen uppskattas, utan även min- och maxpoäng. Beräkningar utförs då med Monte Carlo simuleringar där beräkningarna upprepas med slumpmässiga poäng inom osäkerhetsfördelningarna. I WISER görs 5000 iterationer. Beräkningarna genererar på så vis en sannolikhetsfördelning av resultatet. Om osäkerheter inkluderas kan även en korrelationsanalys och en variationsanalys utföras. Analyserna visar på hur osäkerheter i använd data påverkar osäkerheter i resultatet. När osäkerheter inkluderas i WISER krävs insticksprogrammet @Risk (version 8) till Excel [28]. I följande underkapitel redogörs de olika stegen i utförandet av analysen.

3.1 Reservvattenalternativ

I analysen inkluderas sju reservvattenalternativ och ett referensalternativet vilka beskrivs nedan. Dessa är framtagna efter Norrvattens önskemål och slutsatser från tidigare studier utförda på uppdrag av Norrvatten.

Referensalternativ

Dagens reservvattenförsörjning med antagandet att enbart grundvattentäkterna i Märsta och Ulriksdal samt i Lohäradsåsen kan användas fullt ut utan ytterligare åtgärder.

1: Konstjord infiltration i Märsta med ytvatten från Mälaren-Skarven

Märsta grundvattentäkt förstärks med konstjord infiltration. I detta alternativ pumpas ytvatten från Mälaren-Skarven och transporteras till infiltrationsbassänger. Ingen ytterligare behandling av vattnet inkluderas.

2: Konstjord infiltration i Märsta med ytvatten från Fysingen

Märsta grundvattentäkt förstärks med konstjord infiltration. I detta alternativ pumpas ytvatten från sjön Fysingen och transporteras till infiltrationsbassänger. Ingen ytterligare behandling av vattnet inkluderas.

3: Konstjord infiltration i Hammarby med ytvatten från Mälaren-Skarven

Hammarby grundvattentäkt förstärks med konstjord infiltration. I detta alternativ pumpas ytvatten från Mälaren-Skarven och transporteras till infiltrationsbassänger. Ingen ytterligare behandling av vattnet inkluderas.

4: Konstjord infiltration i Hammarby med ytvatten från Fysingen

Hammarby grundvattentäkt förstärks med konstjord infiltration. I detta alternativ pumpas ytvatten från sjön Fysingen och transporteras till infiltrationsbassänger. Ingen ytterligare behandling av vattnet inkluderas.

5: Rening i Hammarby

Detta alternativ inkluderar enbart rening av grundvattnet med nanofiltrering vid Hammarby grundvattenverk.

6: Ny grundvattentäkt i Toresta med konstjord infiltration med ytvatten från Mälaren-Kalmarviken.

I detta alternativ etableras en ny grundvattentäkt i Toresta. Alternativet baseras på anläggande av nya brunnar i Uppsalaåsen. Konstjord grundvattenbildning sker genom inducerad infiltration med ytvatten från Mälaren-Kalmarviken.

7: Alternativt intag till Görvälnverket

Alternativet innebär etablering av en ny intagspunkt i Mälaren-Hattholmen.

3.2 Kriterier

WISER-verktyget föreslår ett antal kriterier som kan inkluderas eller exkluderas i analysen och nya kriterier kan läggas till. [28] Kriterierna som inkluderas i analysen är en blandning av kriterier föreslagna i WISER och tillagda kriterier för att anpassa verktyget efter kriterier som är viktiga för Norrvattens reservvattenförsörjning. De kriterier som inkluderas är sammanställda i Tabell 1 där de är indelade i fyra hållbarhetsdimensioner. I tabellen beskrivs samtliga kriterier med indikatorer.

Tabell 1. Sammanställning av kriterier

Kriterier	Beskrivning	Indikatorer
Tekniska kriterier		
Kapacitet en månad	Maximal kapacitet under en månad	Andel av målproduktionen [%]
Kapacitet en vecka	Maximal kapacitet under en vecka	Andel av målproduktionen [%]
Tillförlitlighet	Oberoende av nuvarande vattentäkt och vattenverk	Ytvattentäkt och vattenverk
Reningsbehov	Komplexitet av reningsprocess	Komplexitet av reningsprocess
Genomförbarhet	Förväntad projekttid i relation till uppsatt mål-år (år 2030-2035)	Förväntad projekttid [år]
Rådighet	Norrvattens rätt att nyttja, förfoga och införskaffa alternativen	Potentiella intressekonflikter med andra aktörer
Sociala kriterier		
Dricksvattenkvalitet	Kvalitet på dricksvattnet	Hälsomässiga aspekter såsom mikrobiell- och kemisk kvalitet på dricksvattnet
Rekreativvärden	Effekter på områden av värde för det rörliga friluftslivet	Mark/yta som tas i anspråk som i nuläget används till annat
Miljömässiga kriterier		
Påverkan på ytvattentäkter och akvatiska ekosystem	Avsänkning av ytvattennivå vid vattenuttag ur ytvattentäkter	Avsänkning [m]
Växthusgasutsläpp vid drift	Utsläpp som bidrar till global uppvärmning från energiförbrukning och kemikalieförbrukning	[kg CO ₂ -ekvivalenter/m ³ producerat dricksvatten]
Växthusgasutsläpp vid konstruktion	Emissioner som bidrar till global uppvärmning från ledningmaterial	[kg CO ₂ -ekvivalenter]
Ekonomiska kriterier		
Investeringskostnader	Totala investeringskostnader	Totala investeringskostnader [kr]
Drift- och underhållskostnader	Totala drift- och underhåll	Uppskattad storleksordning på totala drift- och underhållskostnader

3.3 Poängsättning

De olika alternativen tilldelas poäng utifrån prestation för varje kriterium relativt referensalternativet. I WISER:s stöd för poängsättning tillämpas intervallet (-10) till 10 [28]. I analysen tillämpas istället ett lägre intervall för att förtydliga gränsen mellan poängen vilket underlättar bedömningen. Intervallet som tillämpas är (-6) till 6. 1 till 3 poäng tilldelas ett alternativ som har en god prestation jämfört med referensalternativet, medan (-1) till (-3) poäng tilldelas ett alternativ som har en sämre prestation. Om ett alternativ bedöms prestera mycket missgynnande tilldelas alternativet (-4) till (-6) poäng. På motsvarande sätt tilldelas 4 till 6 poäng om ett alternativ bedöms prestera mycket tillfredställande. Noll poäng innebär en likvärdig prestation som referensalternativet. Denna poängindelning och kategorisering av prestation är sammanställd i Tabell 2. I Bilaga A redovisas en mer utförlig beskrivning av poängindelningen för respektive kriterium. I Bilaga B redovisas de uppskattade min- och max poängen.

Tabell 2. Poängindelning och kategorisering av prestation

Poäng	Kategorisering
4 – 6	Mycket tillfredställande
1 – 3	Tillfredställande
0	Likvärdig
(-1) – (-3)	Missgynnande
(-4) – (-6)	Mycket missgynnande

Material som utgör underlag för bedömning av majoriteten av kriterierna har hämtats från vetenskapliga artiklar, olika typer av rapporter, webbsidor och annan litteratur. Underlag för bedömning av kriterierna dricksvattenkvalitet samt drift-och underhållskostnader har tagits fram genom workshops med anställda på Norrvatten. Underlaget för bedömningen av dessa två kriterier är därför uppskattningar baserat på erfarenheter. Nedan följer bedömningen av respektive kriterium och de tilldelade troliga poängen.

Kapacitet en månad

För bedömning av kriteriet jämfördes alternativens maximala kapacitet under 30 dagar relativt referensalternativet. Referensalternativets kapacitet är angiven med hänsyn till gällande vattendomar eftersom referensalternativet finns idag. Kapaciteter för resterande alternativ är angivna med antagandet att vattendomar erhålls som tillåter uttag som motsvarar den förväntade maxkapaciteten. Poängsättningen har gjorts utifrån alternativens förmåga att täcka upp för Norrvattens målproduktion av reservvatten vilket motsvarar 2030 års prognostiserade medelproduktion [29]. Bedömningen är sammanställd i Tabell 3.

Referensalternativet inkluderar både grundvattentäkter och stödleverans från SVOA. Maxkapaciteten varierar därför över tid eftersom de inkluderade källornas maxkapacitet är olika. Hur länge SVOA kan ge stödleverans är osäkert men antas i detta arbete ha en kapacitet med en varaktighet på 14 dagar [5]. Tillsammans har källorna en hög maxkapacitet under 14 dagar och sedan en relativt låg maxkapacitet resterande tid av månaden. Data för referensalternativets kapacitet redovisas i Bilaga C.

Eftersom referensalternativet består av idag redan etablerade källor som kommer fortsätta nyttjas innebär övriga alternativ en ökning av kapaciteten jämfört med referensalternativet. Detta eftersom alternativen inte hindrar användningen av referensalternativet.

Tillämpning av bassänginfiltration i alternativ 1 till 4 medför en ökad kapacitet för grundvattentäkterna. Kapaciteten i Hammarby och Märsta grundvattentäkt förväntas motsvara 24 % respektive 16 % av målproduktionen [29]. Alternativ 1 och 2 tilldelas 2 poäng och alternativ 3 och 4 tilldelas 3 poäng.

I alternativ 5 kan hela den befintliga hydrauliska kapaciteten nyttjas vilket motsvarar 16 % av målproduktionen. I praktiken fås dock en viss vattenförlust vid nanofiltrering. En maxkapacitet som motsvarar 16 % av målproduktionen förväntas även vid etablering av en ny grundvattentäkt i Toresta [4]. Maxkapaciteten för alternativ 5 och 6 är alltså samma som för alternativ 1 och 2 och tilldelas 2 poäng.

Etablering av en ny intagspunkt i Hattholmen har troligtvis en maxkapacitet som motsvarar hela målproduktionen. Därav bedöms alternativ 7 uppnå målproduktionen och tilldelas 6 poäng.

Tabell 3. Poängsättning av kriteriet kapacitet en månad

Alternativ	Kapacitet som andel av målproduktionen [%]	Poäng
1 Märsta, Skarven	16	2
2 Märsta, Fysingen	16	2
3 Hammarby, Skarven	24	3
4 Hammarby, Fysingen	24	3
5 Hammarby, Nanofiltrering	16	2
6 Toresta	16	2
7 Nytt råvattenintag	100	6
Referens	80 (i 4 dagar)	0
	64 (i 10 dagar)	
	14 (i 14 dagar)	
	6 (i 2 dagar)	

Kapacitet en vecka

För bedömning av kriteriet jämfördes alternativens maximala kapacitet under 7 dagar relativt referensalternativet. Poängsättningen har gjorts utifrån alternativens förmåga att täcka upp för Norrvattens målproduktion av reservvatten vilket motsvarar 2030 års prognostiserade medelproduktion [29]. Bedömningen är sammanställd i Tabell 4.

Grundvattentäkterna som inkluderas i referensalternativet har högre maxkapacitet totalt sett under en veckas tid än under en månads tid som i föregående kriterium. Stödleverans från SVOA har även en varaktighet under hela tidsomloppet i detta kriterium. Detta innebär en mindre skillnad mellan referensalternativet och övriga alternativ än i föregående kriterium. Tillsammans har källorna i referensalternativet en total maxkapacitet som motsvarar 80 % av målproduktionen i fyra dagar och 64 % i resterande 3 dagar.

Alternativ 1, 2, 5 och 6 innebär att målproduktionen inte uppnås någon dag under veckan men bidrar med 16 % högre kapacitet än referensalternativet. Alternativen tilldelas 2 poäng. Alternativ 3 och 4 har en kapacitet som bidrar till att målproduktionen uppnås majoriteten av tiden och uppnås nästintill resterande tid. Alternativen tilldelas 4 poäng. Alternativ 7 har en betydligt högre maxkapacitet vilket i högre grad säkerställer att målproduktionen uppnås. Därav tilldelas alternativet 6 poäng.

Tabell 4. Poängsättning av kriteriet kapacitet en vecka

Alternativ	Kapacitet som andel av målproduktionen [%]	Poäng
1 Märsta, Skarven	16	2
2 Märsta, Fysingen	16	2
3 Hammarby, Skarven	24	4
4 Hammarby, Fysingen	24	4
5 Hammarby, Nanofiltrering	16	2
6 Toresta	16	2
7 Nytt råvattenintag	100	6
Referens	80 (i 5 dagar) 64 (i 3 dagar)	0

Tillförlitlighet

För kriteriet utgår bedömningen från alternativens oberoende av nuvarande intagspunkt i Östra Mälaren och Görvålverket. Bedömningen är sammanställd i Tabell 5.

Grundvattentäkterna som inkluderas i referensalternativet är helt oberoende ytvatten och Görvålverket. SVOA hämtar dock sitt råvatten från Östra Mälaren men är oberoende Görvålverket.

Alternativ 2 och 4 har Fysingen som ytvattentäkt och är oberoende av Görvålverket. Alternativerna bedöms därför ha en hög tillförlitlighet. Det finns dock brister med alternativen som påverkar tillförlitligheten, exempelvis Fysingens vattenkvalitet. Därför tilldelas alternativen 5 poäng. Även alternativ 5 bedöms ha en hög tillförlitlighet eftersom alternativet är helt oberoende av ytvatten och av Görvålverket. Alternativet tilldelas 6 poäng

Alternativ 1, 3 och 6 är oberoende Görvålverket och inkluderar infiltration av mälurvatten. Ytvattnet tas dock från andra delar än Östra Mälaren, vilka är Skarven och Kalmarviken. Ingen av dessa delar av Mälaren är helt hydrauliskt oberoende av nuvarande intagspunkt, men sannolikheten att en förorening i Östra Mälaren skulle ha en betydlig påverkan på Skarven och Kalmarviken är liten [4, 17]. Alternativerna tilldelas 3 poäng.

I alternativ 7 tas råvatten in i Görvålverket från Hattholmen. Alternativet är därmed beroende av nuvarande vattenverk tillskillnad från referensalternativet och övriga alternativ. Alternativ 7 är dock relativt oberoende nuvarande intagspunkt. Alternativet tilldelas 2 poäng.

Tabell 5. Poängsättning av kriteriet tillförlitlighet

Alternativ	Ytvattentäkt	Vattenverk	Poäng
1 Märsta, Skarven	Mälaren-Skarven	Annan	3
2 Märsta, Fysingen	Fysingen	Annan	5
3 Hammarby, Skarven	Mälaren-Skarven	Annan	3
4 Hammarby, Fysingen	Fysingen	Annan	5
5 Hammarby, Nanofiltrering	-	Annan	6
6 Toresta	Mälaren-Kalmarviken	Annan	3
7 Nytt råvattenintag	Mälaren-Hattholmen	Samma	2
Referens	Delvis Östra Mälaren	Annan	0

Reningsbehov

Kriteriet reningsbehov innebär den behövda reningen av vattnet innan distribuering av dricksvatten i ledningsnätet. Kriteriet bedöms efter komplexitet av reningsprocessen. Bedömningen är sammanställd i Tabell 6.

Referensalternativets inkluderar ingen rening av vattnet av Norrvatten. Märsta grundvattentäkt kräver ingen ytterligare behandling av vattnet än den rening bassänginfiltration medför. Hammarby grundvattentäkt kräver inte heller någon ytterligare behandling av vattnet än den rening bassänginfiltration medför med anledning av att kvalitetsavvikelserna gällande uran och PFAS antas minska vid infiltrationen. Alternativ 1 till 4 tilldelas -1 poäng. Även alternativ 6 inkluderar konstgjord infiltration. I alternativet tillämpas dock inducerad infiltration istället för bassänginfiltration. Alternativ 6 bedöms därför vara likvärdig referensalternativet och tilldelas 0 poäng.

Eftersom reningsprocessen i alternativ 7 är samma som dagens reningsprocess i Görvålverket innefattar detta alternativ flest steg och högst komplexitet (se beskrivning av reningsprocessen i kapitel 2.1). Alternativ 7 medför dock inga betydande förändringar av Görvålverkets reningsprocess. På så vis innebär alternativet ingen skillnad mot normal drift och tilldelas -1 poäng. Alternativ 5 innefattar reningsprocess med nanofiltrering vilket är relativt de andra alternativen en komplex process. Retentat från nanofiltreringsanläggningen kan även kräva behandling. Alternativet tilldelas -3 poäng.

Tabell 6. Poängsättning av kriteriet reningsbehov

Alternativ	Reningsprocess	Poäng
1 Märsta, Skarven	Bassänginfiltration	-1
2 Märsta, Fysingen	Bassänginfiltration	-1
3 Hammarby, Skarven	Bassänginfiltration	-1
4 Hammarby, Fysingen	Bassänginfiltration	-1
5 Hammarby, Nanofiltrering	Nanomembran	-3
6 Toresta	Inducerad infiltration	0
7 Nytt råvattenintag	Görvålverkets reningsprocess	-1
Referens	Ingen rening av Norrvatten	0

Genomförbarhet

Kriteriet bedöms efter den förväntade projekttid vardera alternativ antas ta i relation till när alternativet behöver vara i drift, givet att tillstånd som behövs för etablering erhålls. Bedömningen är sammanställd i Tabell 7.

Grundvattentäkterna som inkluderas i referensalternativet är redan etablerade vilket innebär en projekttid på 0 år. Skarven ligger längre bort från både Hammarby och Märsta än vad Fysingen gör och det bedöms vara svårare att etablera infiltration från Mälaren än från Fysingen. Ledningsdragningen är därav olika i sin omfattning vilket sannolikt innebär att alternativen som inkluderar infiltration från Skarven tar längre tid att etablera än alternativen som inkluderar infiltration från Fysingen. Därför uppskattas att det tar längre tid att etablera alternativ 1 och 3 än 2 och 4. Alternativ 1 och 3 uppskattas ta 4-6 år och tilldelas -3 poäng, medan alternativ 2 och 4 uppskattas ta 3-5 år och tilldelas -2 poäng. Etablering av en ny grundvattentäkt i Toresta förväntas ta ännu längre tid eftersom en helt ny grundvattentäkt ska byggas. I relation till uppsatt mål-år är det dock inte stor skillnad mellan alternativ 6 och alternativ 1 och 3. Alternativ 6 tilldelas därför även -3 poäng. Byggnation av reningsanläggningen i alternativ 5 uppskattas ta kortas tid att etablera och tilldelas -1 poäng. Byggnation av alternativ 7 uppskattas ta ungefär lika lång tid som alternativ 2 och 4 och tilldelas därför -2 poäng.

Tabell 7. Poängsättning av kriteriet genomförbarhet

Alternativ	Förväntad projekttid [år]	Poäng
1 Märsta, Skarven	4–6	-3
2 Märsta, Fysingen	3–5	-2
3 Hammarby, Skarven	4–6	-3
4 Hammarby, Fysingen	3–5	-2
5 Hammarby, Nanofiltrering	1,5-2,5	-1
6 Toresta	5–8	-3
7 Nytt råvattenintag	3-4	-2
Referens	0	0

Rådighet

Kriteriet rådighet innebär Norrvattens rätt att nyttja, förfoga och införskaffa alternativen. Kriteriet bedöms efter potentiella intressekonflikter med andra aktörer som kan påverka anläggande och möjligheterna att drifva alternativen. Bedömningen är sammanställd i Tabell 8.

Referensalternativet inkluderar både grundvattentäkter och stödleverans från SVOA. Norrvatten har idag egen rådighet över de befintliga grundvattentäkterna [30]. Majoriteten av referensalternativet består dock av stödleveransen från SVOA, vilket innebär att Norrvatten är beroende av SVOA:s tekniska system. Referensalternativet är därmed relativt ogynnsamt eftersom Norrvatten till stor del är beroende av SVOA.

När tillstånd erhållits och anläggningarna i alternativ 1 till 4 och 6 är etablerade kommer Norrvatten ha stor rådighet inom ramen för angivna vattendomar. Alternativen tilldelas 2 poäng. Nanofiltreringsanläggning i alternativ 5 kan Norrvatten bygga på egen mark, till skillnad från övriga alternativ där mark behöver införskaffas. Rådigheten bedöms vara högst för alternativ 5 av samtliga alternativ och tilldelas 6 poäng. Som i alternativ 1 till 4 och 6 kommer Norrvatten ha stor rådighet över alternativ 7 när alternativet väl är etablerat. Till skillnad från alternativ 1 till 4 och 6 är det en mindre yta mark som behöver köpas in för att anlägga pumpstationen i alternativ 7. Alternativet tilldelas 4 poäng.

Tabell 8. Poängsättning av kriteriet rådighet

Alternativ	Intressekonflikter	Poäng
1 Märsta, Skarven	Oberoende andra aktörer vid nyttjande och förfogande. Mark behöver införskaffas.	2
2 Märsta, Fysingen	Oberoende andra aktörer vid nyttjande och förfogande. Mark behöver införskaffas.	2
3 Hammarby, Skarven	Oberoende andra aktörer vid nyttjande och förfogande. Mark behöver införskaffas.	2
4 Hammarby, Fysingen	Oberoende andra aktörer vid nyttjande och förfogande. Mark behöver införskaffas.	2
5 Hammarby, Nanofiltrering	Oberoende andra aktörer. Byggs på egen mark	6
6 Toresta	Oberoende andra aktörer vid nyttjande och förfogande. Mark behöver införskaffas.	2
7 Nytt råvattenintag	Oberoende andra aktörer vid nyttjande och förfogande. Mark behöver införskaffas.	4
Referens	Till stor del beroende av SVOA	0

Dricksvattenkvalitet

För bedömning av kriteriet jämfördes alternativens hälsomässiga aspekter såsom mikrobiell och kemisk kvalitet på dricksvattnet relativt referensalternativet. Bedömningen är sammanställd i Tabell 9. Referensalternativet består till störst del av vatten från SVOA vilket antas ha samma dricksvattenkvalitet som dricksvatten producerat vid Görvälnverket. Referensalternativet bedöms totalt sett garanterat klara gällande krav som gäller för tjänligt dricksvatten, men sannolikt inte förväntade framtida krav.

I alternativ 1 infiltreras ytvatten från Skarven vilken bedöms ha en sämre vattenkvalité än Görväln. Dock innebär konstgjord infiltration en rening av vattnet vilket förbättrar vattenkvalitén (se kapitel 2.3.1). Alternativet bedöms därför likvärdig referensalternativet. I Alternativ 2 infiltreras istället ytvatten från Fysingen vilken bedöms ha sämre vattenkvalité än Skarven. Dricksvattenkvalitén bedöms vara mikrobiellt säkert, men krav på samtliga kemiska parametrar bedöms inte klaras. Detta innebär dock ingen hälsorisk vid korttidsexponering. Alternativet tilldelas -1 poäng. Alternativ 6 uppskattas ha snarlik dricksvattenkvalitet som alternativ 1. Toresta antas dock vara mindre påverkad än Märsta. Alternativ 6 tilldelas därför 1 poäng. I alternativ 3 och 4 infiltreras Hammarby grundvattentäkt vilken har en sämre kvalité än Märsta grundvattentäkt. Eftersom infiltration av ytvatten medför en utspädning av grundvattnet (se kapitel 2.3.1) tros vattenkvalitén förbättras väsentligt, dock inte tillräckligt. Alternativ 3 tilldelas -2 poäng, medan alternativ 4 tilldelas -3 poäng.

I alternativ 5 renas Hammarbys grundvatten med nanofiltreringen vilket antas medföra en mycket god dricksvattenkvalitet. Alternativet tilldelas 5 poäng. Hattholmen uppskattas ha bättre vattenkvalitet än Skarven och Görväln, bland annat för att Hattholmen inte är lika påverkad av avlopp. Intaget i Hattholmen ligger även längre ut från land än vad intaget i Kalmarviken gör som inkluderas i alternativ 6, vilket medför att vattnet troligtvis inte är lika påverkat från bebyggelse. Alternativ 7 tilldelas därmed 1 poäng.

Tabell 9. Poängsättning av kriteriet dricksvattenkvalitet

Alternativ	Dricksvattenkvalitet	Poäng
1 Märsta, Skarven	Klarar garanterat gällande krav som gäller för tjänligt dricksvatten, men sannolikt inte förväntade framtida krav	0
2 Märsta, Fysingen	Mikrobiellt säkert vatten, men krav på samtliga kemiska parametrar klaras ej. Dock ingen hälsorisk vid korttidsexponering	-1
3 Hammarby, Skarven	Mikrobiellt säkert vatten, men krav på samtliga kemiska parametrar klaras ej. Dock ingen hälsorisk vid korttidsexponering	-2
4 Hammarby, Fysingen	Mikrobiellt säkert vatten, men krav på samtliga kemiska parametrar klaras ej. Dock ingen hälsorisk vid korttidsexponering	-3
5 Hammarby, Nanofiltrering	Klarar garanterat gällande och framtida krav som gäller för tjänligt dricksvatten	5
6 Toresta	Klarar sannolikt gällande och framtida krav som gäller för tjänligt dricksvatten	1
7 Nytt råvattenintag	Klarar sannolikt gällande och framtida krav som gäller för tjänligt dricksvatten	1
Referens	Klarar garanterat gällande krav som gäller för tjänligt dricksvatten, men sannolikt inte förväntade framtida krav	0

Rekreativvärden

Kriteriet bedöms efter effekter på områden av värde för det rörliga friluftslivet. Bedömningen baseras på storleksordning på den mark/yta som tas i anspråk som i nuläget används av friluftslivet. Bedömningen är sammanställd i Tabell 10.

Grundvattentäkterna som inkluderas i referensalternativet är redan etablerade och tar därför ingen ny mark i anspråk. För alternativ 1 till 4 är det främst infiltrationsytan som är av vikt i detta kriterium med anledning av att infiltrationsbassänger tar större ytor i anspråk. Vart infiltrationsytor är belägna har därför stor betydelse för bedömningen. I alternativ 1 och 2 är infiltrationsbassängerna belägna inom naturreservat Fysingen som har stor betydelse för friluftslivet [31]. I alternativ 3 och 4 är infiltrationsbassängerna inte belägna inom ett naturreservat och marken som tas i anspråk bedöms ha måttlig betydelse för friluftsliv. I alternativ 2 och 4 tas dessutom mark/yta i anspråk för intag av ytvatten från sjön Fysingen, vilket är en sjö av stort intresse för det rörliga friluftslivet [4]. Skarven är inte av intresse för det rörliga friluftslivet i samma utsträckning. För samtliga alternativ bedöms att den mark/yta som tas i anspråk har mindre negativ påverkan på friluftsliv. Alternativ 2 bedöms dock ha största negativ påverkan på friluftsliv av alternativen och tilldelas -4 poäng, följt av alternativ 1 som tilldelas -3 poäng. Alternativ 4 tilldelas även -3 poäng medan alternativ 3 tilldelas -2 poäng.

Nanofiltrering som inkluderas i alternativ 5 kräver en större yta vilket medför en relativt omfattande utbyggnad av Hammarby [14]. Ytan som behöver tas i anspråk uppskattas dock vara liten i relation till de andra alternativen men kan komma att inskränka på det rörliga friluftslivet. Alternativet tilldelas -1 poäng.

Vid etablering av Toresta grundvattentäkt tas större ytor i anspråk eftersom en helt ny grundvattentäkt etableras. Marken/ytan uppskattas dock vara i storleksordning mindre än i alternativ 1 till 4 eftersom inducerad infiltration tillämpas istället för bassänginfiltration. Marken som tas i anspråk i alternativ 6 är belägen kring naturreservat med friluftsliv men alternativet bedöms inte påverka naturreservatet negativt. [4] Området kring vattenverket kommer dock inte längre vara tillgängligt för allmänheten. Alternativ 6 tilldelas -1 poäng.

Ledningar som behöver dras i alternativ 7 kan dras utan att passera närmsta farled [17]. Därför medför inte alternativet att yta som är av värde för fiske eller liknande friluftsliv tas i anspråk. Däremot behöver en pumpstation byggas i relativt nära anslutning till det nya intaget. Alternativet tilldelas 0 poäng.

Tabell 10. Poängsättning av kriteriet rekreativvärden

Alternativ	Mark/yta	Poäng
1 Märsta, Skarven	Infiltrationsbassänger natur	-3
2 Märsta, Fysingen	Infiltrationsbassänger	-4
3 Hammarby, Skarven	Infiltrationsbassänger	-2
4 Hammarby, Fysingen	Infiltrationsbassänger	-3
5 Hammarby, Nanofiltrering	Nanofilteranläggning	-1
6 Toresta	Vattenverk och brunnar	-1
7 Nytt råvattenintag	Ledningar, pumpstation	-1
Referens	-	0

Påverkan på ytvattentäkter och akvatiska ekosystem

Kriteriet bedöms efter avsänkning av ytvattennivå vid vattenuttag ur ytvattentäkter. Bedömningen är sammanställd i Tabell 11. Om ytvattennivån i en sjö sänks blir den grundare och får därmed en mindre yta. Detta påverkar vattenorganismernas livsmiljö på olika sätt, exempelvis får fiskar mindre lekrområden och risken för att sjön växer igen ökar [32]. En avsänkning av ytvattennivå är därför en indikator på hur allvarliga effekterna på ekosystem kan bli.

I referensalternativet samt i alternativ 1, 3, 6 och 7 tas råvatten från olika delar av Mälaren. Inget av dessa alternativ innebär en avsänkning av Mälarens vattenyta med anledning av att Mälaren är en mycket stor sjö. Därför tilldelas alternativen 0 poäng. I alternativ 5 inkluderas enbart rening av grundvatten med nanofiltrering. Därför medför alternativet ingen avsänkning av en ytvattentäkt och tilldelas 1 poäng.

I alternativ 2 och 4 används Fysingen som ytvattentäkt. Miljökonsekvenserna vid ett uttag ur sjön beror på aktuell avrinningsituation men bedöms generellt kunna bli betydande vid stora avsänkningar av sjöns nivå (>1m). Fysingen är idag avsänkt till lägre nivå än vad gällande vattendomen föreskriver. Arbete pågår dock med att finna finansiering för att höja sjön till den nivå som vattendomen föreskriver. Om Fysingen återställs till som minst den nivå den ska ha enligt vattendomen borde det finnas möjlighet att sänka sjöns nivå ca 0,5 m utan alltför stora negativa miljökonsekvenser [4]. Påverkan förväntas därmed vara större för alternativen som har Fysingen som ytvattentäkt än alternativ som har Mälaren som ytvattentäkt. Alternativ 2 och 4 tilldelas därför -2 poäng.

Tabell 11. Poängsättning av kriteriet påverkan på ytvattentäkter och akvatiska ekosystem

Alternativ	Avsänkning [m]	Poäng
1 Märsta, Skarven	0 m, obetydlig	0
2 Märsta, Fysingen	0,5 m, kan vara betydande	-2
3 Hammarby, Skarven	0 m, obetydlig	0
4 Hammarby, Fysingen	0,5 m, kan vara betydande	-2
5 Hammarby, Nanofiltrering	-	1
6 Toresta	0 m, obetydlig	0
7 Nytt råvattenintag	0 m, obetydlig	0
Referens	0 m, obetydlig	0

Koldioxidutsläpp från drift

Kriteriet inkluderar växthusgasutsläpp från driftfasen som bidrar till global uppvärmning. I driftfasen inkluderas emissioner som genererats vid produktion av förbrukade kemikalier och energi. I energi inkluderas inte pumpning för grundvattenuttag och distribution. Bedömningen och resultat av beräkningar är sammanställda i Tabell 12 där CO₂ utsläppen redovisas i kg CO₂ – ekv/m³ producerat dricksvatten. I Bilaga D redovisas beräkningar och använd data.

Grundvattentäkterna som inkluderas i referensalternativet medför ingen energianvändning eftersom energi för pumpning av grundvattenuttag och distribution inte inkluderas. Grundvattentäkterna förbrukar heller inga kemikalier. SVOA:s kemikalieförbrukning och energianvändning medför en indirekt påverkan. SVOA:s och Görvålverket's beredningsprocesser är idag tämligen lika gällande kemikalie- och energianvändning. Den största skillnaden är att SVOA använder långsamfilter, vilket inte påverkar deras växthusgasutsläpp beaktansvärt [33]. Referensalternativets kemikalieförbrukning och energianvändning antas vara ungefär samma som i Görvålverket.

I alternativ 1-4 förbrukas inga kemikalier. Växthusgasutsläppen från driften består därmed av utsläpp från energin som krävs för att lyfta vattnet från ytvattentäkt till infiltrationsbassängerna. Fysingen är belägen närmare både Märsta och Hammarby grundvattentäkt än Skarven. Fysingen är dessutom belägen högre över havsnivån än Skarven. Detta medför en lägre energianvändning i alternativ 2 än 1 och 4 än 3. Infiltrationsytorna vid Märsta grundvattentäkt är belägna högre över havsnivån än infiltrationsytorna vid Hammarby grundvattentäkt. Därför medför alternativ 1 och 2 högre växthusgasutsläpp än 3 och 4. I alternativ 5 tillsätts inga kemikalier och energianvändningen inkluderar energi använd vid nanofiltreringen. Alternativets totala CO₂ utsläpp är högre än alternativ 1 till 4. I alternativ 6 tillämpas inducerad infiltration, vilket innebär att ytvatten transporteras till grundvattnet genom en gradientskillnaden som uppstår vid grundvattenuttag. Därmed inkluderar alternativet ingen energianvändning och inte heller någon kemikalieförbrukning. Trots skillnader i totala utsläpp mellan alternativen tilldelas de ändå samma poäng med anledning av att de totala utsläppen är lika relativt referensalternativet. Alternativen tilldelas 5 poäng.

Alternativ 7 medför betydligt högre CO₂ utsläpp än övriga alternativ. Den betydligt högre mängd emissioner genereras av den stora mängd kemikalier som förbrukas tillsammans med den högre energianvändningen i Görvälnverket. Alternativet är likvärdigt referensalternativet och tilldelas 0 poäng.

För att avgöra om CO₂ utsläppen är betydande kan de beräknade emissionerna jämföras med genomsnittliga utsläppsdata i Sverige. Alternativ 7 medför högst koldioxidutsläpp av alternativen med ett utsläpp på 0,0271 kg CO₂ – ekv/m³ producerat dricksvatten, vilket vid maxkapacitet är 25 ton CO₂ – ekv/vecka. Sveriges utsläpp av växthusgaser år 2020 var 890 000 ton CO₂ – ekv/vecka [34]. Därmed är alternativ 7:s bidrag väldigt litet och de övriga alternativens bidrag än mindre.

Tabell 12. Poängsättning av kriteriet växthusgasutsläpp vid drift

Alternativ	Drift [kg CO ₂ – ekv/m ³]	Poäng
1 Märsta, Skarven	1,10E-03	5
2 Märsta, Fysingen	1,00E-03	5
3 Hammarby, Skarven	3,70E-04	5
4 Hammarby, Fysingen	2,50E-04	5
5 Hammarby, Nanofiltrering	5,55E-03	5
6 Toresta	-	5
7 Nytt råvattenintag	6,11E-02	0
Referens	~ 6,11E-02	0

Koldioxidutsläpp från konstruktion

Kriteriet inkluderar växthusgasutsläpp från konstruktionsfasen som bidrar till global uppvärmning. I konstruktionsfasen inkluderas utsläpp som genererats vid produktion ledningsmaterial. Bedömningen och resultat av beräkningar är sammanställda i Tabell 13 där CO₂ utsläppen redovisas i kg CO₂ – ekv. I Bilaga E redovisas beräkningar och använd data.

Eftersom referensalternativet inkluderar redan etablerade grundvattentäkter och dricksvatten producerat av SVOA inkluderas inget ledningsmaterial för alternativet.

Som beskrivet i föregående kriterium är Fysingen belägen närmare både Märsta och Hammarby grundvattentäkt än Skarven samt högre över havsnivån. Detta medför en mindre mängd förbrukad ledningsmaterial i alternativ 2 och 4 än 1 och 3. Därför medför alternativ 2 och 4 lägre växthusgasutsläpp

än alternativ 1 och 3. I alternativ 5 byggs en nanofiltreringsanläggning vid Hammarby vattenverk. Ledningsmaterialet som krävs för detta är så pass liten att mängden har försumrats vid beräkningarna. I alternativ 6 består de totala växthusgasutsläppen av ledningsmaterial för sträckan mellan Kalmarviken och Toresta grundvattentäkt. Trots skillnader i totala utsläpp mellan alternativen tilldelas de ändå samma poäng med anledning av att de totala utsläppen är lika relativt referensalternativet. Alternativen tilldelas -1 poäng.

Alternativ 7 medför betydligt högre CO₂-utsläpp än samtliga alternativ. Den betydligt högre mängd emissioner genereras av den stora mängd ledningsmaterial som behövs. Alternativet tilldelas -6 poäng. Utsläppet som alternativ 7 medför är 15 498 ton CO₂ – ekv. Sveriges utsläpp av växthusgaser år 2020 var totalt 46,3 miljoner ton CO₂ –ekv [34]. Därmed är alternativ 7:s bidrag litet och de övriga alternativens bidrag än mindre.

Tabell 13. Poängsättning av kriteriet växthusgasutsläpp vid konstruktion

Alternativ	Konstruktion [kg CO ₂ - ekv]	Poäng
1 Märsta, Skarven	1,7E+06	-1
2 Märsta, Fysingen	5,9E+05	-1
3 Hammarby, Skarven	2,00E+06	-1
4 Hammarby, Fysingen	2,80E+05	-1
5 Hammarby, Nanofiltrering	-	-1
6 Toresta	1,60E+06	-1
7 Nytt råvattenintag	1,60E+07	-5
Referens	-	0

Investeringskostnader

Kriteriet bedöms utifrån alternativens totala investeringskostnader relativt referensalternativen. Referensalternativets källor är redan etablerade och inkluderar därav inga investeringar. I Bilaga F redovisas beräkningar för investeringskostnader för övriga alternativ som är sammanställda i tabell 14.

Alternativ 7 har väsentligt högre investeringskostnader än samtliga alternativ. Dessutom är kostnader för nödvändiga tillstånd och marklösen exkluderade ur använd data, medan dessa kostnader är inkluderade i de andra alternativen. Därmed förväntas en än högre investeringskostnad för alternativ 7 än redovisad i tabell 14. Alternativet tilldelas -6 poäng. Investeringskostnaderna för övriga alternativ skiljer sig åt mellan varandra. Relativt alternativ 7 och referensalternativet är skillnaderna mellan alternativen dock små. Alternativ 1 till 6 tilldelas därför -1 poäng.

Tabell 14. Poängsättning av kriteriet investeringskostnader

Alternativ	Investeringskostnader [Mkr]	Poäng
1 Märsta, Skarven	90	-1
2 Märsta, Fysingen	38	-1
3 Hammarby, Skarven	72	-1
4 Hammarby, Fysingen	28	-1
5 Hammarby, Nanofiltrering	103	-1
6 Toresta	78	-1
7 Nytt råvattenintag	797	-6
Referens	0	0

Drift- och underhållskostnader

Kriteriet bedöms efter uppskattad storleksordning på kostnader som uppstår vid drift av alternativen relativt referensalternativet. I kostnaderna inkluderas energikostnader samt underhåll- och arbetskostnader. Underhåll- och arbetskostnader uppskattas dock vara ungefär samma i samtliga alternativ. Tillskillnad från föregående kriterium bedöms detta kriterium kvalitativt. Kostnadernas storleksordning är uppskattade. Bedömningen är sammanställd i Tabell 15.

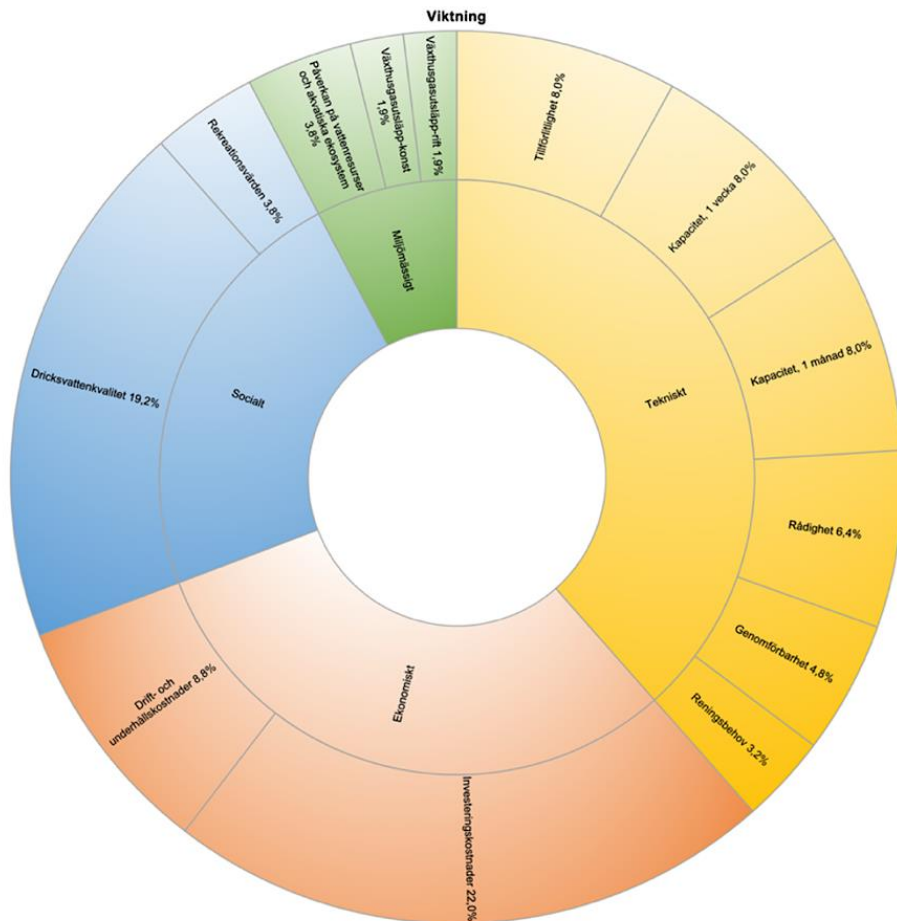
I referensalternativet inkluderas totalt fem grundvattenverk och stödleverans från SVOA. Majoriteten av reservvattnet i alternativet är dock vatten från SVOA som produceras på liknande sätt som Norrvattens ordinarie produktion i Görvålverket. Därför uppskattas stödleveransen ha ett självkostnadspris. I alternativ 1 och 3 tas ytvatten från Mälaren vilket medför högre kostnader än om ytvatten istället tas från Fysingen som i alternativ 2 och 4. Detta eftersom ytvattnet pumpas en längre sträcka vilket innebär en högre energianvändning. Alternativ 1 och 3 tilldelas 3 poäng medan alternativ 2 och 4 tilldelas 4 poäng. I alternativ 5 inkluderas nanofiltrering vilket har en mycket högre energianvändning än alternativen som inkluderar konstgjord infiltration och referensalternativet. Alternativet tilldelas -3 poäng. Alternativ 6 har i princip samma tekniska lösning som grundvattenverken som inkluderas i referensalternativet. Ingen el används vid infiltrationen och inga kemikalier tillsätts. Alternativet bedöms vara mycket gynnsamt relativt referensalternativet och tilldelas 5 poäng. I alternativ 7 inkluderas en pumpstation och ytvattnet pumpas en längre sträcka. Samma mängd kemikalier förbrukas som i ordinarie produktion i Görvålverket. Alternativet tilldelas -1 poäng

Tabell 15. Poängsättning av kriteriet drift- och underhållskostnader

Alternativ	Drift- och underhållskostnader	Poäng
1 Märsta, Skarven	Ytvatten tas från Mälaren	3
2 Märsta, Fysingen	Ytvatten tas från Fysingen	4
3 Hammarby, Skarven	Ytvatten tas från Mälaren	3
4 Hammarby, Fysingen	Ytvatten tas från Fysingen	4
5 Hammarby, Nanofiltrering	Nanofiltreringen är energikrävande	-3
6 Toresta	Inducerad infiltration	5
7 Nytt råvattenintag	Samma process som ordinarie produktion i Görvålverket	-1
Referens	SVOA:s produktion är lik Görvålverkets	0

3.4 Viktning

Genom viktning kan hänsyn tas till att hållbarhetsdimensionerna och dess ingående kriterier bedöms olika betydelsefulla. Kriterierna och varje hållbarhetsdimension tilldelas viktningspoäng för att erhålla en relativ viktning. Om ett kriterium bedöms ha en hög prioritet tilldelas ett högre poäng. På motsvarande sätt tilldelas ett lägre poäng om ett kriterium bedöms ha låg prioritet. 0 poäng innebär att kriteriet inte ingår i analysen. Om samma poäng tilldelas alla kriterier får de också samma procentuella vikt [28]. På samma sätt tilldelas poäng för respektive dimension. I Figur 8 visas ett soldigram där den relativa viktningen för både dimensionerna och de ingående kriterierna redovisas i procent. Denna viktning är baserad på hur olika aspekter uppskattas beaktas i en framtida beslutsprocess. Därför kan Norrvattens värderingen av dimensionerna och kriterierna i en framtida beslutsprocess skilja sig från denna uppskattning.



Figur 8. Översikt av relativa viktningen

3.4 Index

Efter poängsättning och viktning sammanvägs vikter och poäng för att beräkna alternativens index I inom varje hållbarhetsdimension. Indexen varierar inom samma intervall som poängsättningen ((-6) till 6) och påvisar vilka alternativ som är fördelaktiga jämfört med referensalternativet i respektive hållbarhetsdimension. Metoden som används för beräkningar är en linjär additiv metod. Beräkning görs av WISER enligt Ekvation 1. Där a = alternativ, d = dimension, v = vikt, p = poäng för varje kriterium och k = kriterium. [28]

$$I_{d,a} = \sum_{k=1}^K v_k p_{a,k} \quad \text{Ekvation 1.}$$

Därefter kombineras indexen I för vardera hållbarhetsdimension med anledning att jämföra samtliga dimensioner. För varje alternativ beräknas ett sammanvägt index S i WISER. I beräkningarna summeras de viktade indexen inom vardera hållbarhetsdimension enligt Ekvation 2, där a = alternativ, V_d = den relativa vikten av de olika dimensionerna, d = dimension, $I_{d,a}$ = alternativets dimensionsindex. [28]

$$s_a = \sum_{d=1}^D V_d I_{d,a} \quad \text{Ekvation 2.}$$

3.5 Känslighetsanalys

Fyra olika känslighetsanalyser utfördes i WISER vilka är beskrivna nedan.

3.5.1 Ekonomisk påverkan

För att undersöka vilka alternativ som är fördelaktiga om Norrvatten inte skulle vara beroende av ekonomiska tillgångar exkluderades den ekonomiska dimensionen ur analysen och därmed de ekonomiska kriterierna. Den relativa viktningen för den ekonomiska dimensionen sattes till noll medan de relativa viktningen för social, miljö och teknisk dimension hölls konstant.

3.5.2 Kapacitet och dricksvattenkvalitet

För att undersöka vilka alternativ som är fördelaktiga om enbart alternativens kapacitet och dricksvattenkvalitet beaktas inkluderades inga andra kriterier än kriterierna kapacitet en månad, kapacitet en vecka och dricksvattenkvalitet. Den relativa viktningen för de tre kriterierna och för dimensionerna teknisk och social (som dessa tre kriterier inkluderas i) sattes till samma viktningspoäng.

3.5.3 Korrelationsanalys

Korrelationsanalysen bygger på rangkorrelation, vilket innebär att korrelationen mellan varje kriterium och indexet S visas med korrelationskoefficienter. Utförandet av korrelationsanalysen syftar till att identifiera de kriterier som har mest påverkan på osäkerheten i resultaten. Genom att identifiera dessa kriterier kan vägledning ges för vidare utredning för att reducera osäkerheten i analysen. [28] Resultatet från korrelationsanalysen presenteras som grafer i WISER.

3.5.4 Variationsanalys

I variationsanalysen varierar poäng mellan min- och maxpoängen tilldelat ett alternativ för varje kriterium. Resultatet visar hur stor effekt variationerna inom min -och maxpoängen har på de sammanvägda indexen. Det är därför möjligt att det alternativ som visar högst sammanvägt index kan ändras beroende på storleken på tilldelade poäng. [28] Resultatet från variationsanalysen presenteras som grafer i WISER.

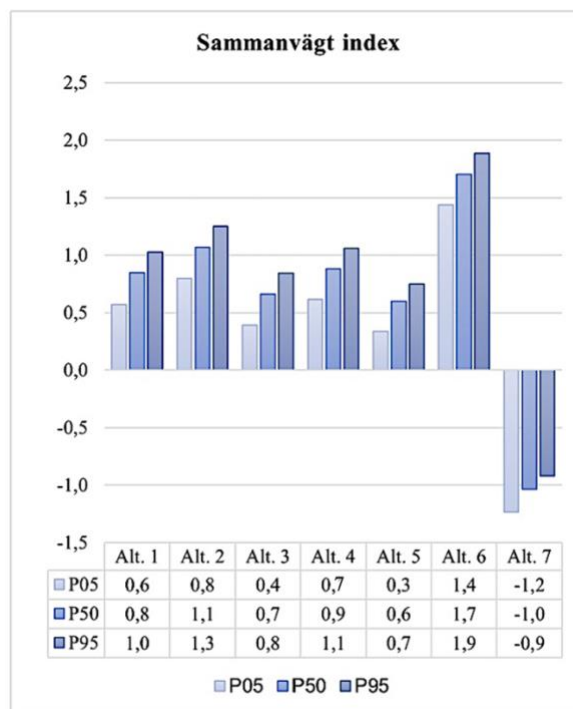
4. Resultat

Nedan redovisas resultaten från multikriterieanalysen och känslighetsanalyserna.

4.1 Sammanvägt index

I Figur 9 presenteras de sammanvägda indexen S för de olika alternativen. Alternativens respektive index visas som tre percentiler för att illustrera osäkerheterna. 5- percentiler (P05) är värdet som 5% av osäkerhetsfördelningens värden understiger. 95-percentiler (P95) är värdet som 5 % av osäkerhetsfördelningen värden överstiger. 50- percentiler (P50) motsvarar medianen.

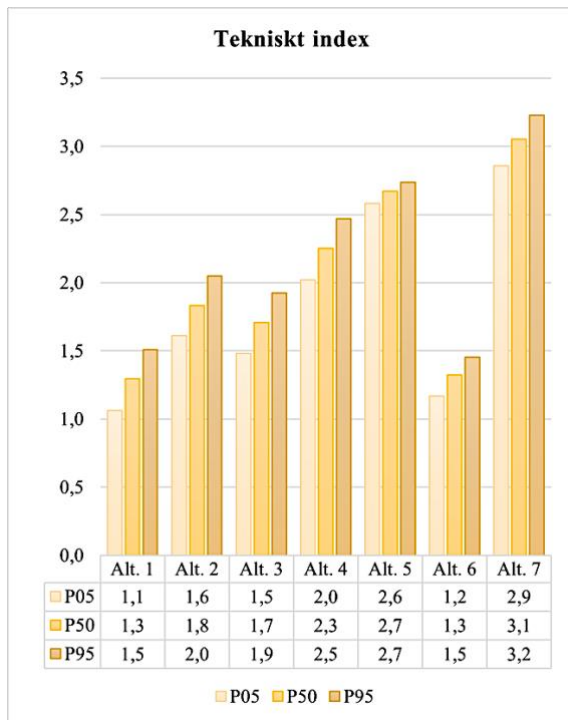
Enligt Figur 9 är endast alternativ 7 ofördelaktigt jämfört med referensalternativet (negativt index). Det mest fördelaktiga alternativet är alternativ 6 följt av alternativ 2 och 4 (högst positivt index). Alternativ 1, 3 och 5 är de minst fördelaktiga alternativen av de alternativ som erhåller positivt index (lägst positivt index).



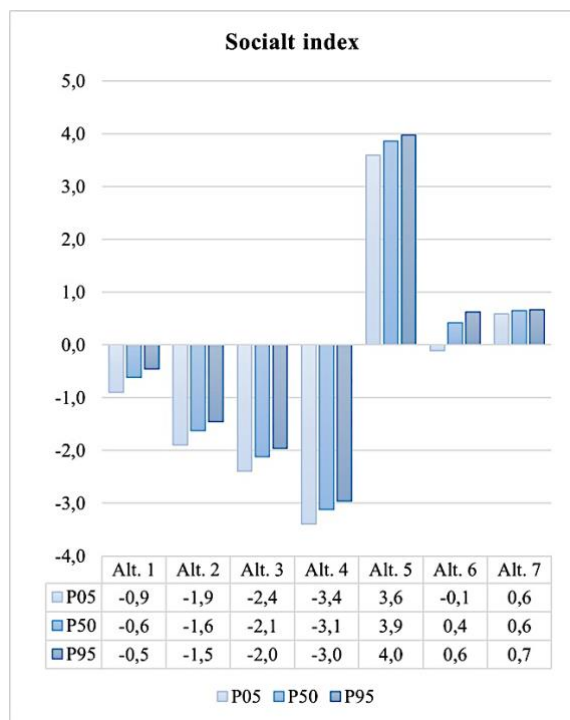
Figur 9. Sammanvägt index

4.2 Dimensionsindex

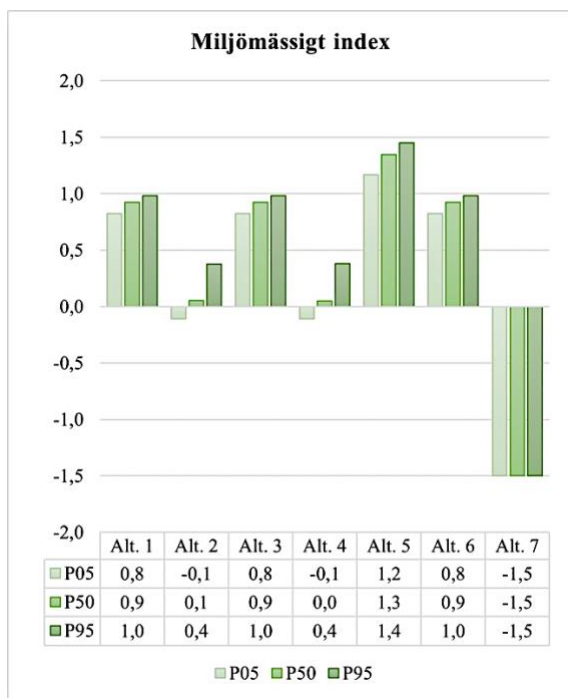
De olika dimensionsindexen presenteras i Figur 10 till 13. I Figur 10 presenteras de tekniska indexen där samtliga alternativ är fördelaktiga jämfört med referensalternativet (positiva index). Alternativ 7 är mest fördelaktigt följt av alternativ 5, 4 och 2 (högst positivt index). De alternativ som är minst fördelaktiga är alternativ 6, 1 och 3 (lägst positivt index). I Figur 11 presenteras de sociala indexen där tre alternativ är fördelaktiga jämfört med referensalternativet. Alternativ 5 är klart mest fördelaktigt följt av alternativ 6 och 7 (högst positivt index). I Figur 12 presenteras de miljömässiga indexen som visar att tre alternativ är fördelaktiga jämfört med referensalternativet. Alternativ 5 är mest fördelaktigt följt av alternativ 6 och 3 (högst positivt index). I Figur 13 presenteras de ekonomiska indexen som visar att alla alternativ förutom alternativ 5 och 7 är fördelaktiga jämfört med referensalternativet (positiva index).



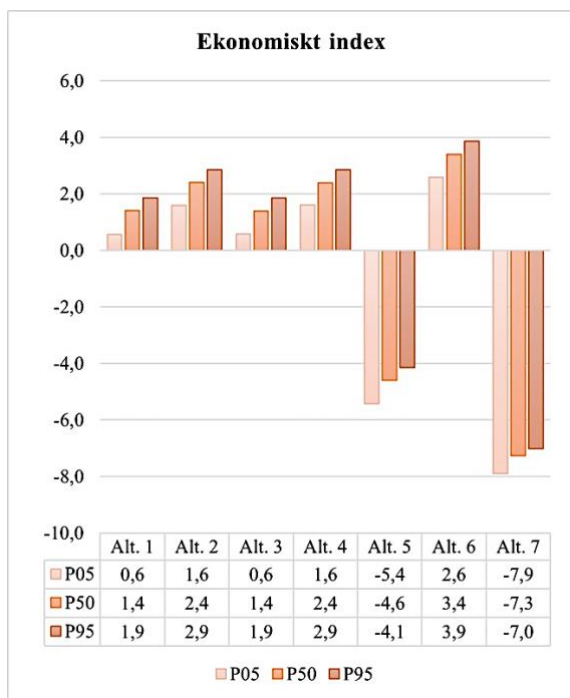
Figur 10. Tekniskt index



Figur 11. Socialt index



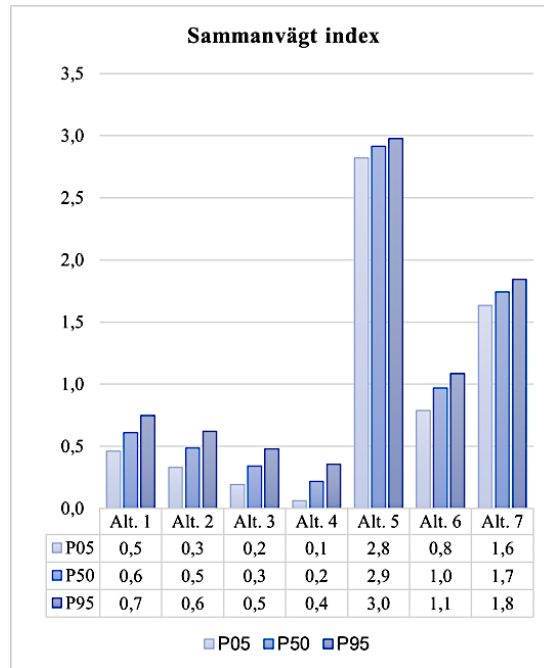
Figur 12. Miljömässigt index



Figur 13. Ekonomiskt index

4.3 Känslighetsanalys av ekonomisk påverkan

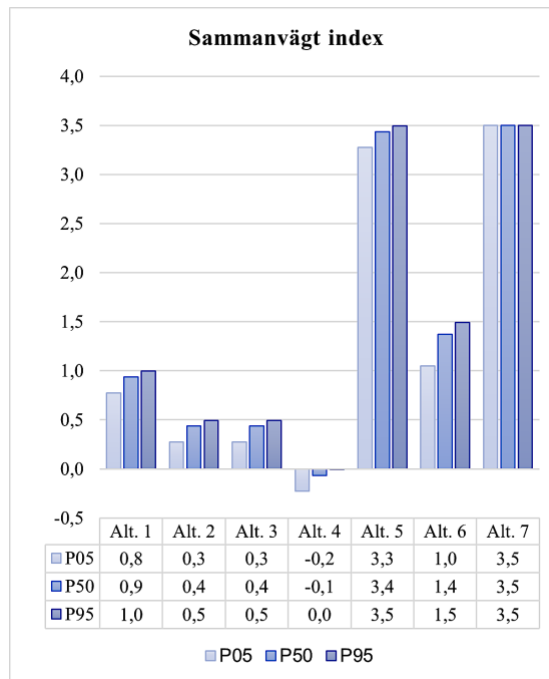
I Figur 14 presenteras resultatet från känslighetsanalys av ekonomisk påverkan. Samtliga alternativ är fördelaktiga jämfört med referensalternativet (positiva index). Alternativ 5 har högst index och kan därmed anses som mest lämpligt att etablera. Alternativ 7 har näst högst index följt av alternativ 6.



Figur 14. Sammanvägt index vid känslighetsanalys av ekonomisk påverkan

4.4 Kapacitet och dricksvattenkvalitet

I Figur 15 presenteras resultatet från känslighetsanalysen när enbart alternativens kapacitet och dricksvattenkvalitet beaktas. Alternativ 4 är det enda alternativ som har negativt index. Resterande alternativ har positiva index. Alternativ 5 och 7 har högst index och kan därmed anses som mest fördelaktiga.

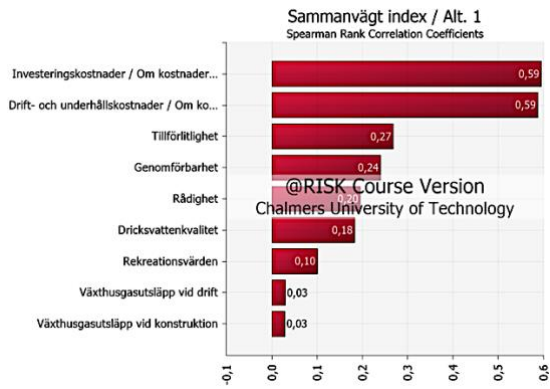


Figur 15. Sammanvägt index när enbart kapacitet och dricksvattenkvalitet beaktas

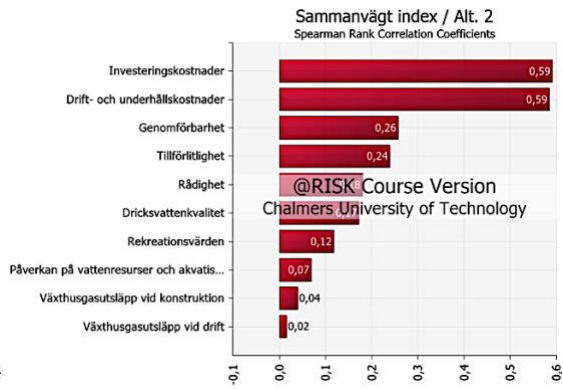
4.5 Korrelationsanalys

I Figur 16-22 presenteras resultatet från korrelationsanalysen för alternativets sammanvägda index. Studentversionen av @Risk har använts, därav stämpeln som ses på respektive figur. Korrelationen mellan varje kriterium och de sammanvägda indexen S visas med korrelationskoefficienter. Korrelationskoefficienterna är positiva i samtliga diagram vilket innebär att en ökning i bedömningen för vardera kriterium bidrar med en ökning av det sammanvägda indexet. Ju närmre ett kriteriums korrelationskoefficient är 1 desto mer påverkan har kriteriet på osäkerheterna i de sammanvägda indexen. Om ett kriterium har en korrelationskoefficient på 0 finns ingen korrelation och kommer därför inte med i graferna, dvs det mest troliga poänget är samma som min och max-poängen.

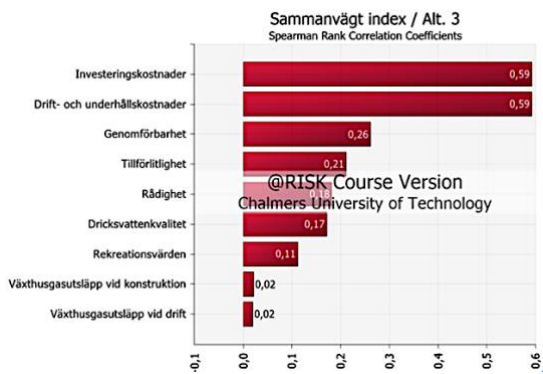
Korrelationskoefficienterna för investeringskostnader är 0,59 i alternativ 1 till 4 och 6 vilket är relativt högt. För drift- och underhållskostnader är korrelationskoefficienterna även 0,59 i alternativ 1 till 3 och 0,58 i alternativ 4 och 6 samt nästan 0 i alternativ 5 och 7. Korrelationskoefficienten för genomförbarhet är låg i alternativ 6, men mellan 0,24 och 0,26 i alternativ 1 till 4. Korrelationskoefficienten är högst i alternativ 5 och 7 där de uppgår till 0,40 respektive 0,44. För rådighet är korrelationskoefficienten mellan 0,17 och 0,20 i alternativ 1 till 4 och 6 samt 0,40 i alternativ 7. För dricksvattenkvalitet är korrelationskoefficienten mellan 0,17 och 0,20 i alternativ 1 till 4, 0,34 i alternativ 6 och 0,76 i alternativ 5. För rekreationsvärden är korrelationskoefficienten mycket låg i alternativ 6 och 7 samt relativt låg i resterande alternativ där de varierar mellan 0,10 och 0,17. Korrelationskoefficienterna är mycket låga i alla alternativ för växthusgasutsläpp vid drift och växthusgasutsläpp vid konstruktion. Korrelationskoefficienterna är även mycket låg i alternativ 2 och 4. För reningsbehov är korrelationskoefficienten 0,11 i alternativ 7 och 0,38 i alternativ 5.



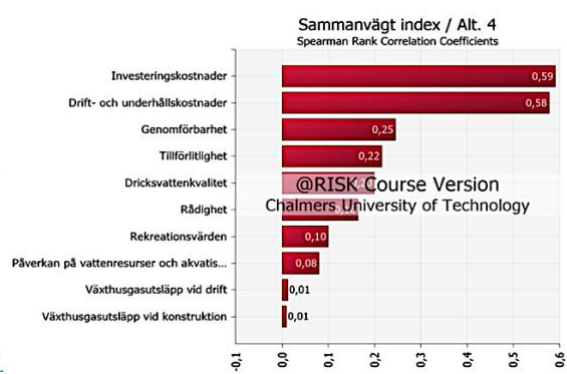
Figur 16. Korrelationskoefficienter alt. 1



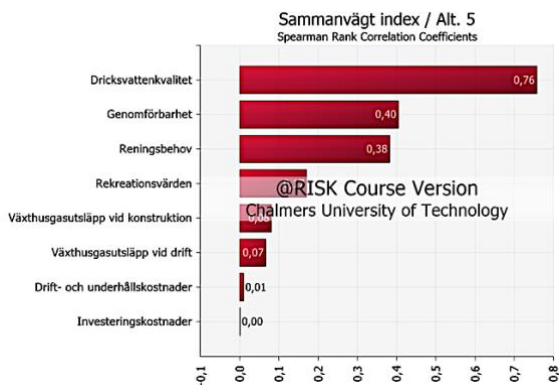
Figur 17. Korrelationskoefficienter alt. 2



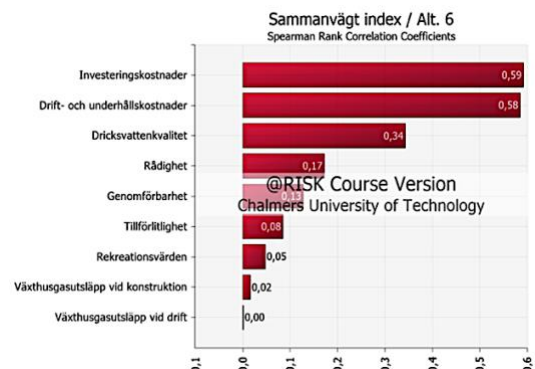
Figur 18. Korrelationskoefficienter alt. 3



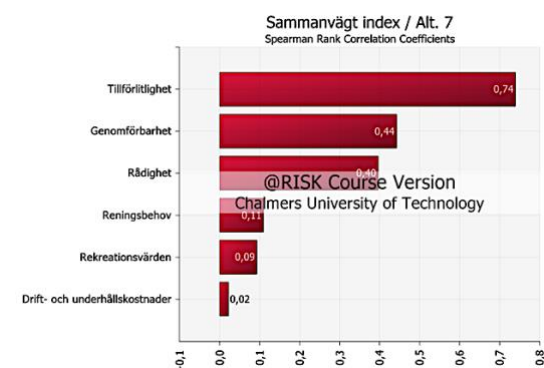
Figur 19. Korrelationskoefficienter alt. 4



Figur 20. Korrelationskoefficienter alt. 5



Figur 21. Korrelationskoefficienter alt. 6



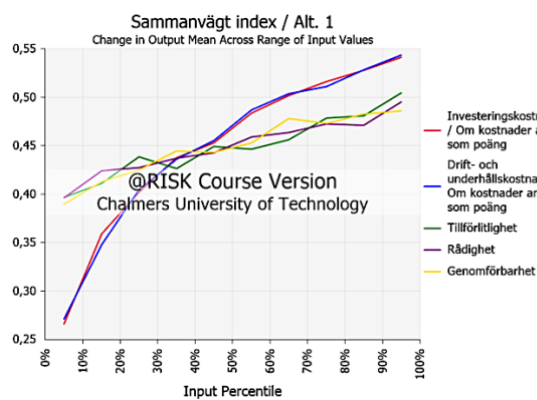
Figur 22. Korrelationskoefficienter alt. 7

4.6 Variationsanalys

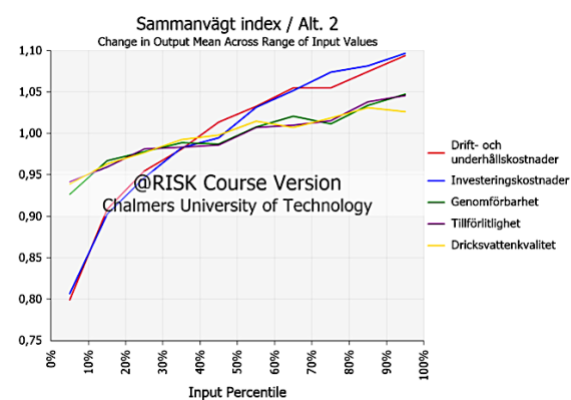
I Figur 23 till 29 presenteras resultatet från variationsanalysen för vardera alternativs sammanvägda index. De fem starkast korrelerade variabler redovisas i respektive alternativ, vilket är standard i WISER-verktyget. Eftersom alla kriterier bedöms med poäng på samma sätt är de positivt korrelerade, dvs en ökning av poängen ger ett ökat sammanvägt poäng. På samma sätt ger en minskning av poängen en minskning av det sammanvägda poänget.

I Figur 23 har genomförbarhet, tillförlitlighet och rådighet likvärdiga osäkerheter. I Figur 24 till 26 har genomförbarhet, tillförlitlighet och dricksvattenkvalitet likvärdiga osäkerheter. I Figur 27 har genomförbarhet, reningsbehov, rekreativvärden och växthusgasutsläpp vid drift likvärdiga osäkerheter. I Figur 28 har dricksvattenkvalitet, rådighet och genomförbarhet likvärdiga osäkerheter. I Figur 29 har rekreativvärden och reningsbehov har likvärdiga osäkerheter, även genomförbarhet och rådighet har likvärdiga osäkerheter. För alternativ 5 och 6 är skillnaderna mellan osäkerheterna något större än i de andra alternativen, men de följer fortfarande samma trend. Likvärdiga osäkerheter i detta sammanhang innebär att när man rör sig från dess 5-percentil till dess 95-percentil ändras det sammanvägda indexet på samma sätt.

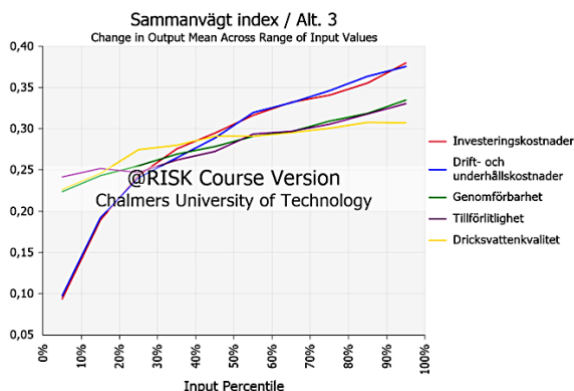
För alternativ 1 till 4 och 6 ser man att drift- och underhållskostnader samt investeringskostnader har en större effekt när man går mot de lägre värdena. På samma sätt har dricksvattenkvalitet i alternativ 5 en större effekt. I alternativ 7 ser man istället att tillförlitligheten har en större effekt när man går mot de lägre värdena. Detta innebär att det sammanvägda indexet påverkas mer av dessa kriterier än de övriga i respektive alternativ, speciellt om kriterierna antar sina lägsta värden.



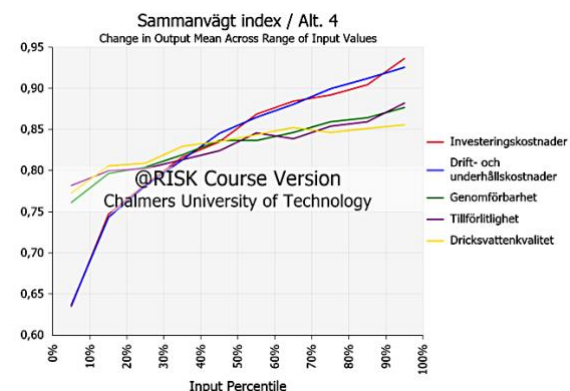
Figur 23. Variationsanalys alt. 1



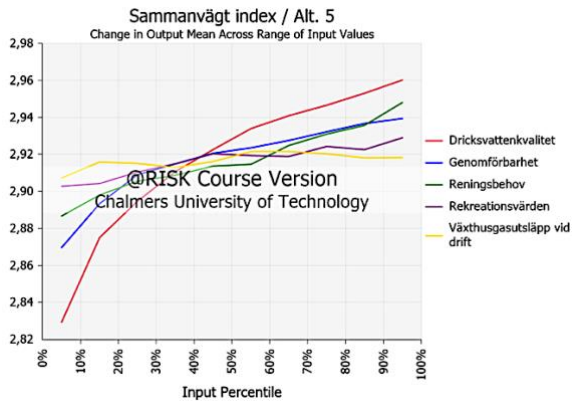
Figur 24. Variationsanalys alt. 2



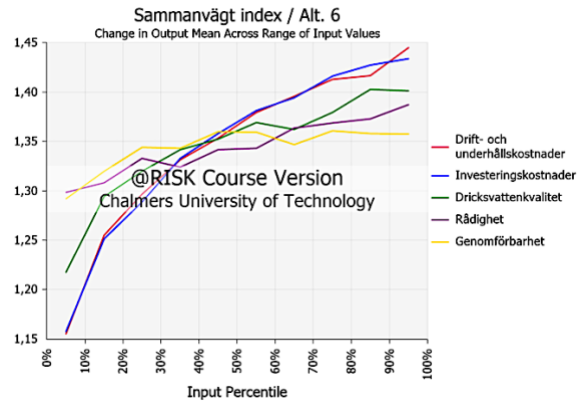
Figur 25. Variationsanalys alt. 3



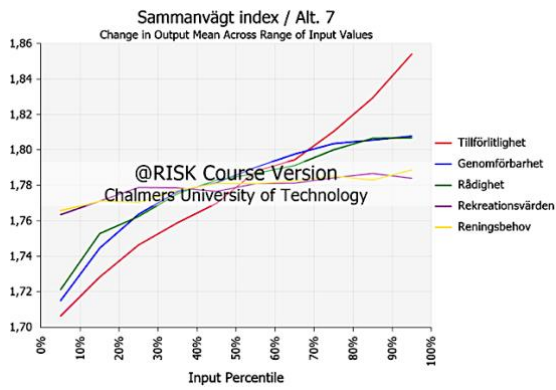
Figur 26. Variationsanalys alt. 4



Figur 27. Variationsanalys alt. 5



Figur 28. Variationsanalys alt. 6



Figur 29. Variationsanalys alt. 7

5. Diskussion

I kapitlet diskuteras resultaten från multikriterieanalysen och känslighetsanalyserna. Även etablering av fler alternativ och MKA som metod diskuteras.

5.1 Resultat av multikriterieanalysen

Resultatet visar att alla alternativ är fördelaktiga att etablera förutom alternativ 7 när alla hållbarhetsdimensioner vägs samman. Alternativets sammanvägda index dras ner på grund av prestationen av de ekonomiska och miljömässiga kriterierna. Den miljömässiga dimensionen värderas dock relativt lågt i viktningen i förhållande till de andra dimensionerna med anledning av att alternativens miljöpåverkan kan anses acceptabla i förhållande till nyttan. Därför anses alternativet totalt sätt inte vara fördelaktigt att etablera jämfört med referensalternativet med anledning av de stora investeringskostnaderna samt drift- och underhållskostnaderna.

Alternativ 6 är mest fördelaktigt att etablera eftersom alternativet erhåller högst sammanvägt index. Alternativet är även det enda alternativet som erhåller positivt index för samtliga fyra dimensionsindex. De dimensioner som erhöll högst relativ viktning är teknisk och ekonomisk, vilka även är de dimensioner där alternativet presterar som bäst. Alternativ 6 förväntas alltså tillgodose de flesta av kriterierna och särskilt de dimensioner som prioriterats enligt viktningen. Alternativet är dock det alternativ som Norrvatten idag har minst rådighet över vilket bör beaktas.

Alternativet 5 har positiva index i alla dimensioner förutom i den ekonomiska dimensionen. Alternativet har dock lägst sammanvägt index av alla alternativ som erhåller positivt index. Resultatet är med andra ord mycket påverkat av de högre kostnaderna som alternativet medför.

Av de fyra alternativ som inkluderar konstgjord infiltration vid befintliga grundvattentäkter erhåller alternativ 2 och 4 högst sammanvägt index. Dessa två har högst tekniskt och ekonomiskt index men lägst socialt och miljömässigt index. För alternativ 1 och 3 råder det omvända resultatet. Infiltration av sjövattnet från Fysingen kan alltså anses mer lämpligt än infiltration av mälarvattnet totalt sett och utifrån tekniskt och ekonomiskt perspektiv. Dimensionerna socialt och miljömässigt värderas lägst av de fyra dimensionerna, vilka är där alternativ 1 och 3 presterar som bäst. Av alternativ 1 till 4 har alternativ 2 högst sammanvägt index och är därför mest lämplig att etablera. Därmed är det mer fördelaktigt att förstärka Märsta grundvattentäkt än att förstärka Hammarby grundvattentäkt. Alternativerna som inkluderar Märsta har bättre vattenkvalitet men lägre kapacitet än alternativen som inkluderar Hammarby. Eftersom reservvattenalternativen ska kunna tillgodose människor dricksvatten under kortare perioder blir konsumtionen av reservvattnet liten i förhållande till konsumtionen av dricksvattnet från ordinarie produktion. Exponeringen av reservvattnet av sämre kvalitet kanske av den anledningen kan anses tolerabel. Isåfall skulle alternativ 4 istället vara att föredra eftersom alternativet har en högre kapacitet än alternativ 2.

5.2 Känslighetsanalys av viktning

Resultatet av känslighetsanalysen av ekonomisk påverkan visar en ändring av rangordningen av högsta index och att alla alternativ är lämpliga att etablera. Alternativ 5 erhåller högst sammanvägt index och är således det mest fördelaktiga alternativet att etablera om Norrvatten inte skulle begränsas av ekonomiska tillgångar. Tillskillnad från tidigare diskuterat resultat visar dessutom känslighetsanalysen av ekonomisk påverkan att alternativ 7 erhåller positivt index och är det näst mest fördelaktiga alternativet. Alternativ 6 hamnar på tredjeplats av de mest fördelaktiga alternativen. Detta visar att oavsett om den ekonomiska dimensionen värderas högt eller lågt har alternativ 6 fortfarande ett relativt

högst sammanvägt index. Känslighetsanalysen visar fortfarande att konstgjord infiltration är mer fördelaktigt i Märsta än Hammarby. Infiltration av ytvatten från Skarven är dock mer fördelaktigt än infiltration med ytvatten från Fysingen om den ekonomiska dimensionen exkluderas. När enbart alternativens kapacitet och dricksvattenkvalitet beaktas visar resultatet samma rangordning av alternativen som när den ekonomiska dimensionen exkluderas. En skillnad är att alternativ 7 har något högre index än alternativ 5. Eftersom uttagskapaciteten från grundvattentäkterna i nuvarande reservvattenförsörjning begränsas till stor del av grundvattentäkternas vattenkvalitet och uttagskapacitet kan dessa kriterier vara av särskild betydelse. Dessutom är alternativ 7 det enda alternativ som har en kapacitet som motsvarar Norrvattens målproduktion av reservvatten.

5.3 Korrelationsanalys och variationsanalys

Korrelationsanalysen visar att investeringskostnader samt drift- och underhållskostnader bidrar med den största osäkerheten i de flesta alternativ följt av genomförbarhet, rådighet och dricksvattenkvalitet. Resultatet från variationsanalysen visar dessutom att de sammanvägda indexen för alternativ 1 till 4 och 6 påverkas mest av investeringskostnader samt drift- och underhållskostnader än de övriga kriterierna. På samma sätt påverkas det sammanvägda indexet för alternativ 5 mest av dricksvattenkvalitet och alternativ 7 påverkas mest av tillförlitligheten. Speciellt om dessa kriterier antar sina lägsta värden (minpoäng). Om mer material och data inhämtas för nämnda kriterier skulle osäkerheterna i resultatet kunna reduceras.

I investeringskostnader inkluderas exempelvis kostnader för mark och tillstånd vilket kräver större undersökningar för att erhålla mer exakta uppskattningar. Data för bedömningen av investeringskostnaderna inkluderar även uppskattade oförväntade kostnader för att ta höjd i beräkningarna. Därmed kan investeringskostnaderna för alternativen vara både högre och lägre än använd data. För att reducera osäkerheten i bedömningen bör kontakt tas med aktörer som själva anlagt liknande system. Exakta investeringskostnader kommer dock troligtvis inte kunna erhållas men möjligen mer korrekta uppskattningar av storleksordningen på alternativens investeringskostnader.

Gällande osäkerheter i bedömningen av drift- och underhållskostnader är det rimligt att osäkerheten i bedömningen för detta kriterium är lägre än i investeringskostnaderna. Detta med anledning av att bedömningen har gjorts kvalitativt. Även eftersom Norrvatten redan har grundvattentäkter etablerade med kända drift- och underhållskostnader som används som referenspunkt vid poängsättningen. Uppskattningarna är dock grova och inrymmer därmed en större osäkerhet. För att reducera osäkerheten i bedömningen bör en detaljerad kalkyl göras gällande drift- och underhållskostnader istället för att basera bedömningen på kvalitativa uppskattningar.

Osäkerheter som kriteriet rådighet medför baseras främst på uppskattningen av potentiella intressekonflikter med andra aktörer som kan påverka anläggande av alternativen, eftersom Norrvatten kommer ha stor rådighet över alternativen när de väl är på plats. I alla alternativ förutom alternativ 5 behöver anläggningar byggas på en yta/mark som inte ägs av Norrvatten. Hur svårt eller lätt det är att införskaffa denna yta/mark är svårt att bedöma.

Bedömningen av kriteriet dricksvattenkvalitet är baserad på en del antaganden vilket bidrar till osäkerheter i bedömningen. För att reducera osäkerheterna i bedömningen bör kriteriet bedömas efter utförda tester och provresultat för samtliga alternativ.

De förväntade projekttider som bedömningen gjordes på är också relativt grova uppskattningar. Orsakerna är många till att förväntade projekttider är svåra att uppskatta och kan dra ut på tiden. Hur lång tid det tar att införskaffa rådighet över mark, inrätta vattenskydd och anlägga nya ledningar m.m. är svårt att uppskatta. Därför innefattar bedömningen större osäkerheter och den verkliga projekttiden kan vara både mycket kortare och mycket längre än vad som har uppskattats. För en bättre uppskattning bör kontakt tas med aktörer som etablerat liknande anläggningar.

5.4 Etablering av fler alternativ

Av alla alternativ är det endast alternativ 7 som har en maxkapacitet som motsvarar Norrvattens målproduktion av reservvatten. Alternativ 7 erhöll dock negativt sammanvägt index. Vid etablering av alternativ 6 som erhåller högst sammanvägt index uppnås inte en tillräcklig kapacitet, varken under en veckas tid eller under en månads tid. För att uppnå målproduktionen behöver därför fler av alternativen etableras för att tillsammans uppnå målproduktionen.

För att uppnå målproduktionen under en vecka skulle ett alternativ vara att etablera alternativ 6 och 4. Alternativ 2 erhåller dock ett högre sammanvägt index än alternativ 4, men alternativ 6 och alternativ 2 klarar inte målproduktionen tillsammans. För att uppnå målproduktionen under en hel månad behöver alternativ 2, 4, 6 och 7 etableras, alternativt bara alternativ 7. Alternativ 2 kan ersättas med alternativ 1 och alternativ 4 kan ersättas med alternativ 3 om den ekonomiska dimensionen istället skulle värderas lågt, vilket känslighetsanalysen av ekonomisk påverkan visade. Dessutom för att uppnå målproduktionen med hänsyn till tillförlitligheten vore det bra om alternativ 2 eller 4 byts ut till alternativ 1 eller 3, eftersom de är beroende av olika ytvattentäkter. Även om alternativ 7 erhöll ett negativt sammanvägt index visade känslighetsanalysen av ekonomisk frihet att alternativet erhåller nästa högsta positiva sammanvägda index. Kostnaderna som alternativ 7 medför kanske kan anses förtjänt eftersom alternativet bidrar med en så pass hög reservvattenkapacitet. Dessutom kan det vara så att kostnaderna för alternativ 7 ändå är lika mycket som kostnaderna för fler av alternativet tillsammans som behövs för att uppnå motsvarande kapacitet.

5.5 MKA

Resultatet av multikriterieanalysen är beroende av tillvägagångssätt av poängsättning och utförd viktning. Därför är analysen påverkad av vilka som deltar i de olika stegen i analysen vilket innebär att MKA som metod är mycket subjektiv. För att resultatet från multikriterieanalysen ska anses tillförlitligt behöver det därför tolkas tillsammans med utförd viktning och poängsättning. Till exempel kan aspekter som anses viktiga inte riktigt synas i resultatet när kriterierna viktas mot varandra. Vidare bör resultatet användas som underlag för att prioritera vilka reservvattenalternativ som är intressanta att arbeta vidare med.

En fördel med att MKA är en subjektiv metod är att Norrvattens egna preferenser kan beaktas och kan tydligt komma till uttryck i analysen. Det hade dock varit bra om fler anställda på Norrvatten inkluderats vid utformning av de inkluderade kriterierna och även vid val av viktning. Det hade troligtvis gett en mer generell och säker värdering. Resultaten från känslighetsanalyserna visar exempelvis att rangordningen av alternativen ändras mycket när viktningen förändras. Genom att tillämpa känslighetsanalyser på detta sätt påvisas därmed multikriterieanalysens känslighet för förändringar av viktningen.

Poängsättningen som tillämpades tillåter att alternativ som presterar olika mot ett specifikt kriterium ändå tilldelas samma poäng. Exempelvis varierar investeringskostnaderna mellan alternativen men samtliga tilldelades ändå samma poäng eftersom prestationen var lika jämfört med referensalternativet.

Detta indikerar att alternativ presterar likvärdigt trots att det inte är fallet. Indexen representerar därför enbart hur alternativen presterar jämfört med referensalternativet. En annan poängsättning skulle möjligen ge ett annat resultat och ett större poängintervall skulle ge en mer noggrannhet poängsättning.

6. Slutsats

Multikriterieanalysen visade att det mest fördelaktiga alternativet att etablera är alternativ 6: *Etablering av ny grundvattentäkt i Toresta*. Alternativ 6 är även det enda alternativ som erhöll högst index i samtliga hållbarhetsdimensioner. Det näst mest fördelaktiga alternativet är alternativ 2: *Konstgjord infiltration i Märsta med ytvatten från Fysingen* följt av alternativ 4: *Konstgjord infiltration i Hammarby med ytvatten från Fysingen*, 1: *Konstgjord infiltration i Märsta med ytvatten från Mälaren-Skarven*, 3: *Konstgjord infiltration i Hammarby med ytvatten från Mälaren-Skarven* och 5: *Rening i Hammarby*. Alternativ 7: *Alternativt intag till Görvälnverket* är det enda alternativ som bedöms ofördelaktigt jämfört med referensalternativet.

Alternativ 5 är det mest fördelaktigt alternativet om Norrvatten inte skulle begränsas av ekonomiska tillgångar följt av alternativ 7, 6, 1, 2, 3, 4. Denna rangordning gäller även om enbart alternativens kapacitet och dricksvattenkvalitet beaktas, med avvikelsen att alternativ 7 erhöll något högre index än alternativ 5.

Korrelationsanalysen visar att kriterierna investeringskostnader samt drift- och underhållskostnader bidrar med den största osäkerheten följt av genomförbarhet, rådighet och dricksvattenkvalitet i de flesta alternativ. Därtill visar resultatet från variationsanalysen att det sammanvägda indexen för alternativ 1 till 4 och 6 påverkas mest av investeringskostnader samt drift- och underhållskostnader än de övriga kriterierna. Det sammanvägda indexet för alternativ 5 påverkas mest av dricksvattenkvaliteten på samma sätt och alternativ 7 påverkas mest av tillförlitligheten.

Enbart alternativ 7 har en kapacitet som motsvarar Norrvattens målproduktion av reservvatten. För att uppnå målproduktionen under en vecka skulle ett alternativ vara att etablera både alternativ 6 och 4. För att uppnå målproduktionen under en hel månad behöver alternativ 2, 4, 6 och 7 etableras, alternativt bara alternativ 7. Alternativ 2 kan ersättas med alternativ 1 och alternativ 4 kan ersättas med alternativ 3 om den ekonomiska dimensionen värderas lågt. För att uppnå målproduktionen med hänsyn till tillförlitligheten vore det bra om alternativ 2 eller 4 byts ut till alternativ 1 eller 3 för att reducera beroendet av en ytvattentäkt.

7. Förslag på fortsatt arbete

Nedan listas rekommendationer till fortsatt arbete.

- Komplettera analysen med andra kriterier för att fånga upp fler aspekter som är viktiga för Norrvattens reservvattenförsörjning.
- Tillämpa ett större intervall vid poängsättningen för en mer rättvis bedömning av alternativen vilket troligtvis skulle reducera osäkerheter i resultatet.
- Inhämta mer information för kriterierna investeringskostnader, drift- och underhållskostnader, rådighet, dricksvattenkvalitet och genomförande för att reducera osäkerheterna i resultatet.
- Inkludera fler deltagare i analysen för en bättre anpassad och säker analys.
- En mer grundläggande analys av referensalternativets inkluderande vattenresurser bör göras eftersom bedömning av dessa lägger grunden för poängsättningen av övriga alternativ.

8. Referenser

- [1] Norrvatten. *Om Norrvatten*. Norrvatten; u.å. Hämtad från: <https://www.norrvatten.se/om-norrvatten/>
- [2] Heldt, D. Norrvatten. Mailkontakt gällande Norrvattens reservvattenförsörjning. Våren 2022.
- [3] Norrvatten. *Reservvatten*. Norrvatten; u.å. Hämtad från: <https://www.norrvatten.se/dricksvatten/dricksvattenproduktion/reservvatten/>
- [4] Grundvattengruppen. *Norrvattens reservvattenförsörjning. Förutsättningar för konstgjord grundvattenbildning vid befintliga och potentiellt nya reservvattentäkter*. Grundvattengruppen; 2008-06.
- [5] Törneke, K. *Utredning om reservvattenförsörjning*. Stockholm: Tyréns; 2015-07. Uppdragsnr; 254321.
- [6] Norrvatten. *Dricksvattenproduktion*. Norrvatten; u.å. Hämtad från: <https://www.norrvatten.se/dricksvatten/dricksvattenproduktion/>
- [7] gamla [9] Livsmedelsverket. *Regler om dricksvattenproduktion*. Livsmedelsverket; 2022-01. Hämtad från: <https://www.livsmedelsverket.se/foretagande-regler-kontroll/regler-for-livsmedelsforetag/dricksvattenproduktion/regler-om-dricksvatten>
- [8] Norrvatten. *Dricksvattenkvalitet*. Norrvatten; u.å. Hämtad från <https://www.norrvatten.se/dricksvatten/Dricksvattenkvalitet/>
- [9] Norrvatten. *Reningsprocessen*. Norrvatten; u.å. Hämtad från: <https://www.norrvatten.se/dricksvatten/dricksvattenproduktion/reningsprocessen/>
- [10] Hanson. G. *Konstgjord grundvattenbildning. 100-årig teknik inom svensk dricksvattenförsörjning*. VAV AB; 2000. ISBN: 91-89-182-41-3.
- [11] Svenskt vatten. *Mikrobiologiska barriärer*. Svenskt vatten; 2018-11. Hämtad från: <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/dricksvatten/vattenverk-och-reningsprocesser/mikrobiologiska-barriarer/>
- [12] Forsling. L. *Avskiljning av organiskt material vid konstgjord grundvattenbildning Förändras reningen över tid?*. Luleå: Luleå universitet; 2014. Hämtad från: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1025922/FULLTEXT02>
- [13] Björks rostfria AB. *Nanofilter*. Björks rostfria AB; u.å. Hämtad från: <https://www.bjorksrostfria.se/produkter/nanofilter/>
- [14] Heldt. D. *Norrvattens grundvattenverk, sammanställning av reningstekniker*. Stockholm: Norrvatten; 2019-03
- [15] Lantmäteriet. Sökord: Karta över Mälaren. Hämtad från: <https://minkarta.lantmateriet.se/>

- [16] Mälarens vattenvårdsförbund. *Vattenvård i Mälaren och dess tillrinningsområde 2022-2027*. Mälarens vattenvårdsförbund; u.å. Hämtad från: <http://media.malaren.org/2020/07/Diskussionsunderlag-vision-MVVF-2022-2027-ver-200705-utskrift.pdf>
- [17] Sweco. *Alternativ intagspunkt Görväln. Lämpliga lokaliseringar med avseende på vattenkvalitet och risker*. Sweco; 2019. Uppdragsnr; 13008627.
- [18] Viklund. S. *Intressekonflikter kring prioriterade vattenresurser enligt regional vattenförsörjningsplan*. Uppsala; Uppsala universitet; 2021-08. Hämtad från: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1581175/FULLTEXT01.pdf>
- [19] Lantmäteriet. Sökord: Fysingen. Hämtad från: <https://minkarta.lantmateriet.se/>
- [20] Ejhed. H. *Grundvattenverken - Sammanställning av kvalitetsparametrar år 1990-2018 - Märsta, Hammarby, Rotsunda, Ulriksdal*. Norrvatten; 2019-03.
- [21] Norrvatten. *Nytt gränsvärde för PFAS*. Norrvatten; u.å. Hämtad från: <https://www.norrvatten.se/dricksvatten/Dricksvattenkvalitet/pfas-i-dricksvatten/>
- [22] Tunemar. L. *Grundvatten i jord Metodik för övervakning av vattenkvalitet samt undersökningsresultat från 25 kommunala grundvattentäkter*. Stockholm: Länsstyrelsen i Stockholms län; 2006. ISBN: 91-7281-237-0.
- [23] Tyréns. *Samrådsunderlag för Norrtälje reservvattenförsörjning*. Stockholm: Tyréns; 2017-05. Uppdragsnr; 269660. Hämtad från: <https://www.norrvatten.se/contentassets/41e6829dc9fd4cf3b6fb211b1b13cbbc/samradsutskick7.pdf>
- [24] Norrvatten. *Grundvatten till Norrtälje vecka 20 - 21- uppdaterad*. Norrvatten; 2020-05. <https://www.norrvatten.se/om-norrvatten/nyheter/nyhetsarkiv/nyheter-2020/grundvatten-till-norrtalje-vecka-20---21---uppdaterad/>
- [25] Lantmäteriet. Sökord: Toresta. Hämtad från: <https://minkarta.lantmateriet.se/>
- [26] Dean. M. *Advances in Transport Policy and Planning*. Upplaga 6. London: University College London; 2020. Hämtad från: <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2020.07.001>
- [27] Saarikoski. H, Barton. D. N, Mustajoki. J et al. multi-criteria decision analysis (MCDA) in ecosystem service valuation. 2015-01. Hämtad från: https://www.researchgate.net/publication/319876424_Multi-criteria_decision_analysis_MCDA_in_ecosystem_service_valuation
- [28] Rosén. L. Sjöstrand. K. Lindhe. A. et al. *WISER- ett verktyg för beslutsstöd inom dricksvattensektorn*. Svenskt Vatten AB; 2021. Hämtad från: <https://vattenbokhandeln.svenskvatten.se/produkt/wiser-ett-verktyg-for-beslutsstod-inom-dricksvattensektorn/>

- [29] S:t Cyr, R. *Underlag inriktningsbeslut Norrvattens framtida reservvattenförsörjning*. Norrvatten; 2019-03.
- [30] Norrvatten. *Förslag till beslut. Strategi för reservvattenförsörjning*. Stockholm: Norrvatten; 2019. Diarienummer; NV2017-060.
- [31] Hammar. F. *Norrvattens reservvattentäkt i Märsta - grundvattenmodellering av försök med konstgjord grundvattenbildning*. Uppsala: Uppsala universitet; 2014-05. Hämtad från: http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Frida_Hammar.pdf
- [32] Andersson. E. *Reservvattenförsörjning i Stockholms län. en hållbarhetsanalys*. Uppsala: Uppsala universitet; 2014-08. Hämtad från: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:737899/FULLTEXT02>
- [33] Hellström. D. Norrvatten. Mailkontakt gällande SVOA:s reningsprocess. Våren 2022.
- [34] Naturvårdsverket. *Territoriella utsläpp och upptag av växthusgaser*. Naturvårdsverket; u.å. Hämtad från: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-territoriella-utslapp-och-upptag/>
- [35] Hellström. D. Norrvatten. Mailkontakt gällande data för energianvändning. Våren 2022-02.
- [36] Lantmäteriet. Höjder över havsnivån. Hämtad från <https://www.lantmateriet.se/sv/kartor-och-geografisk-information/kartor/>
- [37] Norrvatten. *Strategisk plan. Norrvatten 2026*. Stockholm: Norrvatten; 2017. Hämtad från: https://www.norrvatten.se/globalassets/documents/strategisk-plan_webb_tillg.pdf
- [38] Vattenfall. *EPD ger förutsättning för klimatneutralitet*. Vattenfall; 2021-06. Hämtad från: <https://energyplaza.vattenfall.se/blogg/epd-ger-forutsattning-for-klimatneutralitet>
- [39] Vattenfall. Vindkraft. Vattenfall; u.å. Hämtad från: <https://www.vattenfall.se/elavtal/energikallor/vindkraft/>
- [40] Karlsson. P. *Miljöeffektbedömning vid introduktion av nanofilter till dricksvattenproduktion- En jämförelse i koldioxidavtryck med livscyelperspektiv*. Stockholm: Kungliga tekniska högskolan; 2020. Hämtad från: <https://www.norrvatten.se/contentassets/39ef7aefe9cc4e1ba0c526e609b3c910/2020-08-miljoeffektsbedomning-nanofilter.pdf>
- [41] Jutterström. S. *Klimatpåverkan från dricksvatten – Beräkningsmodell för Norrvattens koldioxidavtryck*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan; 2015. Hämtad från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:844852/FULLTEXT01.pdf>
- [42] RISE. *Miljöbelastning från produktion av kemikalier 1*. RISE; 2020.
- [43] RISE. *Miljöbelastning från produktion av kemikalier 2*. RISE; 2020.

[44] Hansson Reuter. M, Silfwerbrand. G, Rosenberg. C. *Miljöledning som verktyg för hållbar plastanvändning*. Naturvårdsverket; 2021. ISBN 978-91-620-6964-3

[45] SCB. *Prisomräknaren*. Hämtad från: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/prisomraknaren/>

[46] Sweco. *Norrvatten Råvattenintag Kostnader*. Sweco; 2020-03.

Bilaga A

I följande tabell beskrivs av bedömningsgrunder av poängindelningen för respektive kriterium.

Kriterier	Poäng och bedömningsgrunder
Tekniska kriterier	
Kapacitet en månad	<p>Poäng 4– 6: Uppnår så gott som målproduktionen eller hela målproduktionen hela månaden.</p> <p>Poäng 1– 3: Uppnår så gott som målproduktionen eller hela målproduktionen en del av månaden.</p> <p>Poäng 0: Uppnår inte målproduktionen någon del av månaden, men har en hög kapacitet halva månaden.</p> <p>Poäng (-1) – (-3): Uppnår inte målproduktionen någon del av månaden, och har en låg kapacitet hela månaden.</p> <p>Poäng (-4) – (-6): Uppnår inte målproduktionen någon tid av månaden och har en kapacitet som inte räcker under en hel månad.</p>
Kapacitet en vecka	<p>Poäng 4– 6: Uppnår så gott som målproduktionen eller hela målproduktionen hela veckan.</p> <p>Poäng 1– 3: Uppnår så gott som målproduktionen eller hela målproduktionen en del av veckan.</p> <p>Poäng 0: Uppnår inte målproduktionen någon del av månaden, men har en hög kapacitet halva veckan.</p> <p>Poäng (-1) – (-3): Uppnår inte målproduktionen någon del av veckan, och har en låg kapacitet hela veckan.</p> <p>Poäng (-4) – (-6): Uppnår inte målproduktionen någon del av veckan och har en kapacitet som inte räcker under en vecka.</p>
Tillförlitlighet	<p>Poäng 4 – 6: Medför en avsevärd högre tillförlitlighet.</p> <p>Poäng 1– 3: Medför en måttlig högre tillförlitlighet.</p> <p>Poäng 0: Beroende av östra Mälaren men annat vattenverk.</p> <p>Poäng (-1) – (-3): Medför en måttlig sämre tillförlitlighet.</p> <p>Poäng (-4) – (-6): Medför en avsevärd sämre tillförlitlighet.</p>
Reningsbehov	<p>Poäng 4 – 6: Innefattar ingen reningsprocess alls.</p> <p>Poäng 1 – 3: Innefattar ingen komplex reningsprocess.</p> <p>Poäng 0: Innefattar ingen rening av Norrvatten eller inducerad infiltration.</p> <p>Poäng (-1) – (-3): Innefattar en måttlig komplex reningsprocess.</p> <p>Poäng (-4) – (-6): Innefattar en mycket komplex reningsprocess.</p>
Genomförbarhet	<p>Poäng 4 – 6: Medför en avsevärd kortare projekttid än uppsatt mål-år.</p> <p>Poäng 1 – 3: Medför en måttlig kortare projekttid än uppsatt mål-år.</p> <p>Poäng 0: Är redan färdigställd, dvs projekttiden är 0 år.</p> <p>Poäng (-1) – (-3): Medför en måttligt längre projekttid än uppsatt mål-år.</p> <p>Poäng (-4) – (-6): Medför en avsevärt längre projekttid än uppsatt mål-år.</p>
Rådighet	<p>Poäng 4– 6: Oberoende andra aktörer vid nyttjande och förfogande. En mindre yta mark kan behöva införskaffas.</p> <p>Poäng 1– 3: Oberoende andra aktörer vid nyttjande och förfogande. Mark behöver införskaffas.</p> <p>Poäng 0: Är till stor del beroende av annan aktör.</p> <p>Poäng (-1) – (-3): Är till stor del beroende av flera andra aktörer.</p> <p>Poäng (-4) – (-6): Helt beroende av flera andra aktörer.</p>

Sociala kriterier

Dricksvattenkvalitet	Poäng 4– 6: Klarar garanterat gällande och framtida krav som gäller för tjänligt dricksvatten Poäng 1-3: Klarar sannolikt gällande och framtida krav som gäller för tjänligt dricksvatten Poäng 0: Klarar garanterat gällande krav som gäller för tjänligt dricksvatten, men sannolikt inte förväntade framtida krav (framförallt gällande PFAS). Poäng (-1) – (-3): Mikrobiellt säkert vatten, men krav på samtliga kemiska parametrar klaras ej. Dock ingen hälsorisk vid korttidsexponering. Poäng (-4) – (-6): Osäkert om vattenkvaliteten kan garanteras, kan eventuellt behöva kombineras med kokningsrekommendation.
Rekreativvärden	Poäng 4 – 6: Mark/yta som tas i anspråk har stor positiv påverkan på friluftsliv Poäng 1 – 3: Mark/yta som tas i anspråk har något positiv påverkan på friluftsliv Poäng 0: Mark/yta som tas i anspråk påverkar inte friluftsliv Poäng (-1) – (-3): Mark/yta som tas i anspråk antas ha mindre negativ påverkan på friluftsliv Poäng (-4) – (-6): Mark/yta som tas i anspråk har stor negativ påverkan på friluftsliv

Miljömässiga kriterier

Påverkan på ytvattentäcker och akvatiska ekosystem	Poäng 4 – 6: Medför en förhöjning på ytvattennivån. Poäng 1 – 3: Medför ingen avsänkning på ytvattennivån. Poäng 0: Medför ingen betydande avsänkning på ytvattennivån. Poäng (-1) – (-3): Medför en måttlig större avsänkning på ytvattennivån. Poäng (-4) – (-6): Medför en avsevärd större avsänkning på ytvattennivån.
Växthusgasutsläpp vid drift	Poäng 4 – 6: $1 - 3,05E-02$ CO ₂ -ekv/m ³ dricksvatten Poäng 1 – 3: $3,06E-02 - 6,10E-02$ CO ₂ -ekv/m ³ dricksvatten Poäng 0: Medför ingen skillnad av växthusgasutsläpp mot referensalternativet. Poäng (-1) – (-3): $6,12E-02 - 9,17E-02$ CO ₂ -ekv/m ³ dricksvatten Poäng (-4) – (-6): $9,18E-02 - 1,22E-01$ CO ₂ -ekv/m ³ dricksvatten
Växthusgasutsläpp vid konstruktion	Poäng 4 – 6: Inkluderar mycket lite ledningmaterial Poäng 1 – 3: Inkluderar lite ledningmaterial Poäng 0: Medför ingen skillnad av växthusgasutsläpp mot referensalternativet. Poäng (-1) – (-3): $1 - 17,99E+06$ CO ₂ -ekv Poäng (-4) – (-6): $8,00E+06 - 1,60E+07$ CO ₂ -ekv

Ekonomiska kriterier

Investeringskostnader	Poäng 4 – 6: Medför enbart stora intäkter. Poäng 1 – 3: Medför enbart måttliga intäkter. Poäng 0: Medför inga investeringskostnader. Alternativet är redan etablerat. Poäng (-1) – (-3): 0,5 Mkr – 400 Mkr Poäng (-4) – (-6): 401 Mkr – 800 Mkr
Drift- och underhållskostnader	Poäng 4 – 6: Medför avsevärt lägre drift- och underhållskostnader. Poäng 1 – 3: Medför måttligt lägre drift- och underhållskostnader. Poäng 0: Medför samma drift- och underhållskostnader som i Görvälverket. Poäng (-1) – (-3): Medför måttligt högre drift- och underhållskostnader. Poäng (-4) – (-6): Medför avsevärt högre drift- och underhållskostnader.

Bilaga B

I tabellen nedan redovisas de uppskattade min- och max poängen tillsammans med de tilldelade mest troliga poängen.

Sammanställning av min- och maxpoäng samt de mest troliga poängen

<i>Kapacitet en månad</i>								<i>Rekreativsvärden</i>							
Alternativ	1	2	3	4	5	6	7	Alternativ	1	2	3	4	5	6	7
Min	2	2	3	3	2	2	6	Min	-4	-5	-3	-4	-2	-2	-2
Troligt	2	2	3	3	2	2	6	Troligt	-3	-4	-2	-3	-1	-1	-1
Max	2	2	3	3	2	2	6	Max	-2	-3	-1	-2	-1	-1	-1
<i>Kapacitet en vecka</i>								<i>Påverkan på vattenresurser och akvatiska ekosystem</i>							
Alternativ	1	2	3	4	5	6	7	Alternativ	1	2	3	4	5	6	7
Min	2	2	4	4	2	2	6	Min	0	-2	0	-2	1	0	0
Troligt	2	2	4	4	2	2	6	Troligt	0	-2	0	-2	1	0	0
Max	2	2	4	4	2	2	6	Max	0	0	0	0	1	0	0
<i>Tillförlitlighet</i>								<i>Växthusgasutsläpp vid drift</i>							
Alternativ	1	2	3	4	5	6	7	Alternativ	1	2	3	4	5	6	7
Min	2	4	2	4	6	2	1	Min	4	4	4	4	4	4	0
Troligt	3	5	3	5	6	3	2	Troligt	5	5	5	5	5	5	0
Max	4	6	4	6	6	3	3	Max	5	5	5	5	5	5	0
<i>Reningsbehov</i>								<i>Växthusgasutsläpp vid konstruktion</i>							
Alternativ	1	2	3	4	5	6	7	Alternativ	1	2	3	4	5	6	7
Min	-1	-1	-1	-1	-4	0	-2	Min	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-6
Troligt	-1	-1	-1	-1	-3	0	-1	Troligt	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-5
Max	-1	-1	-1	-1	-2	0	-1	Max	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-5
<i>Genomförbarhet</i>								<i>Investeringskostnader</i>							
Alternativ	1	2	3	4	5	6	7	Alternativ	1	2	3	4	5	6	7
Min	-6	-5	-6	-5	-3	-6	-5	Min	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-6
Troligt	-3	-2	-3	-2	-1	-3	-2	Troligt	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
Max	-2	-1	-2	-1	-1	-3	-2	Max	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6
<i>Rådighet</i>								<i>Drift- och underhållskostnader</i>							
Alternativ	1	2	3	4	5	6	7	Alternativ	1	2	3	4	5	6	7
Min	1	1	1	1	6	1	2	Min	1	2	1	2	-5	3	-3
Troligt	2	2	2	2	6	2	4	Troligt	3	4	3	4	-3	5	-1
Max	3	3	3	3	6	3	4	Max	3	4	3	4	-3	5	-1
<i>Dricksvattenkvalitet</i>															
Alternativ	1	2	3	4	5	6	7								
Min	-1	-2	-3	-4	4	-1	1								
Troligt	0	-1	-2	-3	5	1	1								
Max	0	-1	-2	-3	5	1	1								

Bilaga C

Nedan redovisas använd data för beräkningar av referensalternativets kapacitet i en vecka och i en månad. Hämtad data är angiven i m³/d vilket har räknats om till l/s.

Använd data för bedömning av referensalternativets kapacitet

Vattenkälla	Kapacitet [m³/d]	Kapacitet [l/s]	Varaktighet [dygn]	Referens
SVOA	80 000	926	14	[30]
Norrtälje	9 000	104	35	[30]
Ulriksdal	13 000	150	28	[30]
Märsta	26 000	300	4	[30]

Bilaga D

Nedan presenteras använd data och resultat för kriteriet växthusgasutsläpp vid drift

Energiförbrukning

Data för energianvändning i respektive alternativ

Alternativ	Energi [kWh/m ³ producerat dricksvatten]	Referens
1-4		
Energi för att lyfta vatten 1 meter	0,005	[35]
5		
Nanofiltrering	0,5	[35]
7		
Pumpning av vatten till och i Görvälnverket	0,1	[35]

Data för höjden vattnet behöver lyftas i alternativ 1 till 4

Vattentäkt	Höjd över havsnivå [m.ö.h]	Referens
Mälaren-Skarven	1	[36]
Fysingen	3	[36]
Märsta infiltrationsyta	20	[36]
Hammarby infiltrationsyta	8	[36]

Total energianvändning för respektive alternativ

Alternativ	Total energianvändning [kWh/ m ³ producerat dricksvatten]
1	0,095
2	0,085
3	0,035
4	0,025
5	0,5
7	0,1

Norrvattens elanvändning består av 30 % från eget vindkraftverk i Ockelbo [37]. Resterande 70 % har antagits vara svensk elmix.

Utsläppsfaktorer energikällor

Energikälla	Utsläppsfaktor [kg CO ₂ -ekv/kWh]	Referens
Svensk elmix	13E-3	[38]
Vindkraft	7E-3	[39]

Resultat av växthusgasutsläpp från energianvändning

Alternativ	Elmix	Vind	Totalt	Enhet
1	0,9E-3	0,2E-3	1,1E-3	kg CO ₂ -ekv/m ³ producerat dricksvatten
2	0,8E-3	0,2E-3	1,0E-3	kg CO ₂ -ekv /m ³ producerat dricksvatten
3	0,3E-3	0,07E-3	0,37E-3	kg CO ₂ -ekv /m ³ producerat dricksvatten
4	0,2E-3	0,05E-3	0,25E-3	kg CO ₂ -ekv /m ³ producerat dricksvatten
5	4,5E-3	1,05E-3	5,55E-3	kg CO ₂ -ekv /m ³ producerat dricksvatten
7	0,9E-3	0,21E-3	1,12E-3	kg CO ₂ -ekv /m ³ producerat dricksvatten

Kemikalieförbrukning

Inventering av förbrukade kemikalier och förbrukad mängd i Görvälnverket

Kemikalie	Förbrukad mängd [kg]	Referens
Aluminiumsulfat	2503115	[40]
Natriumsilikat	195764	[40]
Aktivt granulerat kol	2700	[41]
Pulveriserat aktivt kol	7590	[41]
Monokloramin*	32791	[40]
Släckt kalk	1053991	[40]
Polymer	14126	[40]

*Tillredas från hypoklorit och en mindre del ammoniumsulfat [41]. Monokloramin antas enbart bestå av hypoklorit vid beräkningar.

Utsläppsekvivalenter

Kemikalie	Utsläpps ekvivalenter [kg CO₂-ekv/kg]	Referens
Aluminiumsulfat	0,597	[42]
Natriumsilikat	0,849	[41]
Aktivt granulerat kol	10	[41]
Pulveriserat aktivt kol	8,3	[41]
Monokloramin*	2,25	[42]
Släckt kalk	0,918	[43]
Polymer	4,2	[40]

*Hypoklorit

Resultat av växthusgasutsläpp från kemikalieförbrukning

Kemikalie	Utsläpps ekvivalenter [kg CO₂ -ekv/m³ producerat dricksvatten]
Aluminiumsulfat	3,16E-02
Natriumsilikat	0,35E-02
Aktivt granulerat kol	0,06E-02
Pulveriserat aktivt kol	0,13E-02
<i>Monokloramin*</i>	0,16E-02
Släckt kalk	2,00E-02
Polymer	0,10E-02
Tot	6,0E-02

Bilaga E

Nedan presenteras använd data och resultat för kriteriet växthusgasutsläpp vid konstruktion. Ledningar antas vara PE-ledningar med utsläppsfaktorn 2,7 kg CO₂ -ekv/producerat kg [45]. Dimensionen på förbrukat ledningmaterial i alternativ 1 till 4 och 6 antas vara Ø 600. Dimensionen på förbrukat ledningmaterial i alternativ 7 antas vara Ø 1200.

Ledningslängd för respektive alternativ

Alternativ	Längd ledning [m]	Referens
1	7500	[4]
2	2500	[4]
3	8700	[4]
4	1200	[4]
6	7000	[4]
7	17000	antas

Vikt per meter ledning

Dimension PE-ledning	Vikt [kg/m ledning]	Referens
700	87,2	[32]
1200	350	[17]

Resultat totalvikt och växthusgasutsläpp vid konstruktion

Alternativ	Total vikt [kg]	Totala kg CO₂-ekv
1	654000	17E+05
2	218000	59E+04
3	758640	20E+05
4	104640	28E+04
6	610400	16E+05
7	5950000	16E+06

Bilaga F

Nedan redovisas använd data för bedömning av investeringskostnaderna i alternativ 1 till 7. Hämtad data för alternativ 1 till 4 och 6 är från 2008. Hämtad data för alternativ 5 är från 2019. Hämtad data för alternativ 7 är från 2020. Dessa har omräknats till dagens penningvärde med SCB:s egna prisomräknare [45].

Indata och resultat investeringskostnader

Alternativ	Kostnad [Mkr]	Referens	Kostnad enligt dagens penningvärde [Mkr]
1	75	[4]	90
2	32	[4]	38
3	60	[4]	72
4	23	[4]	28
5	96	[14]	103
6	65	[4]	78
7	740	[46]	797