

Grundvattentillgång i små magasin

Calle Hjerne, Magdalena Thorsbrink, Bo Thunholm, Mattias Gustafsson, Lars-Ove Lång, Henrik Mikko & Jonas Ising

februari 2021

SGU-rapport 2021:08



Omslagsbild: Sudret, Gotland.
Fotograf: Magdalena Thorsbrink

Författare: Calle Hjerne, Magdalena Thorsbrink, Bo Thunholm,
Mattias Gustafsson, Lars-Ove Lång, Henrik Mikko & Jonas Ising
Granskad av: Björn Holgersson & Peter Dahlgvist samt av författarna
som granskat varandras delar
Ansvarig enhetschef: Mats Wallin
Redaktör: Lina Rönnåsen
Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00

FÖRORD

Denna rapport redovisar metod och resultat av en beräkning av grundvattentillgång för enskild vattenförsörjning i Sverige med fokus på små grundvattenmagasin. Rapporten och tillhörande kartvisare har tagits fram inom ramen för SGUs särskilda grundvattensatsning 2018–2020 med syftet är att förbättra beskrivningen av grundvattenresurser i områden med begränsade tillgångar.

Den primära målgruppen för rapporten är handläggare på kommun och länsstyrelse samt konsulter som arbetar med markanvändningsplanering och vattenförsörjningsfrågor. SGU bedömer att resultaten i rapporten kan användas för översiktlig riskbedömning och planering med avseende på enskild vattenförsörjning. Beräkningen baseras på SGUs redan befintliga underlag som jordartskarta och jorddjupsmodell med mera. Inga kompletteringar av data eller lokala platsspecifika bedömningar har utförts inom ramen för projektet. Platsspecifika förhållanden kan lokalt vara mycket betydelsefulla för vattentillgången. Den presenterade grundvattentillgången kan därför inte garanteras, utan det är fullt möjligt att det på vissa platser finns en betydligt mindre eller betydligt större grundvattentillgång än vad som redovisas. SGU anser därför att resultaten generellt inte är tillräckligt precisa och detaljerade för att bedöma vattentillgång och risk för vattenbrist för en specifik fastighet utan mycket stor hänsyn taget till osäkerheter. Dock kan de ge stöd för att identifiera områden med begränsade grundvattentillgångar.

Hydrogeologiska utredningar har sedan tidigare gjorts av SGU och andra aktörer för många, framförallt större, grundvattenmagasin som till exempel används vid kommunal dricksvattenförsörjning. Dessa omfattar ofta en platsspecifik bedömning där det tagits hänsyn till specifika lokala faktorer. SGU anser att sådana utredningar är mer relevanta för dessa specifika områden, förutsatt att den är utförd på ett adekvat sätt, än den mer generella och övergripande beräkning av grundvattentillgång som nu tagits fram.

För att fullt ut kunna ta del av rapporten är det lämpligt med en viss grundläggande kunskap om grundvatten. Oavsett om läsaren har kunskap om grundvatten eller ej, är det mycket viktigt att ta del av och förstå de osäkerheter och begränsningar som finns i resultaten för att dessa inte ska användas på ett felaktigt sätt.

INNEHÅLL

Förord	3
Sammanfattning.....	5
Bakgrund.....	6
Metod	7
Underlag.....	8
Jordart	8
Jorddjup	8
Jordlagerföljd.....	8
Grundvattennivå.....	9
Vattenavgivningstal – Jord.....	10
Vattenavgivningstal – Berg	10
Avsänkning i berg.....	12
Avsänkning i jord	15
Torrperiod	16
Grundvattenbildning.....	18
Uttagkapacitet i brunnar	21
Beräkning	21
Resultat.....	22
Diskussion	27
Osäkerheter och begränsningar	27
Effekter av ett förändrat klimat.....	28
Möjliga förbättringar.....	29
Användning av resultat	29
Referenser.....	32
Bilaga A. Gruppering av jordarter.....	34
Bilaga B. Jordlagerföljdsmodell	38
Bilaga C. Beräkning av magasineringsförmåga.....	54

SAMMANFATTNING

Många fastigheter, som till exempel permanentbostäder, fritidshus och jordbruk i Sverige använder grundvatten för sin vattenförsörjning. De är med andra ord inte anslutna till ett kommunalt dricksvattensnät. Dessa fastigheter är beroende av att mängden grundvatten som kan användas är tillräckligt stor för att täcka behoven, både långsiktigt och under perioder av torka. Hur mycket grundvatten som kan användas i ett område beror på en rad faktorer. Dels beror det på hur mycket grundvatten som bildas, vilket också varierar över året och mellan olika år, dels beror det på markens förmåga att lagra vatten. I exempelvis en sand- och grusavlagring kan mycket grundvatten lagras medan lagringsförmågan i urberg är mycket mer begränsad. Den brunn man använder måste även kunna ge tillräckligt stor mängd vatten varje dag. De geologiska förhållandena blir därmed ofta avgörande för hur mycket grundvatten som finns att tillgå, vilket i sin tur kan avgöra till exempel hur tät bebyggelse som är lämplig på olika platser.

I denna rapport har Sveriges geologiska undersökning (SGU) beräknat grundvattentillgång för enskild vattenförsörjning i Sverige genom att bedöma grundvattenbildning, markens förmåga att lagra grundvatten, torrperiodens längd samt brunnarnas uttagskapacitet. Markens förmåga att lagra grundvatten kallas i denna rapport för magasineringsförmåga. Beräkningarna baseras på ett antal antaganden och ett relativt översiktligt dataunderlag och är därmed förknippade med osäkerheter.

Även om resultaten är förknippade med osäkerheter bedöms de vara relevanta och användbara som underlag för en översiktlig riskbedömning och planering för vattenförsörjning. Resultaten kan till exempel användas för att identifiera områden inom en kommun eller län där grundvattentillgången är begränsad och för att jämföra vattentillgången med de vattenbehov som befintligt fastighetsbestånd eller planerad exploatering innebär.

Däremot finns det en större osäkerhet kopplat till bedömning för en specifik fastighet eftersom de mer platsspecifika förhållandena, som lokalt kan vara betydelsefulla för vattentillgången, inte är kartlagda av SGU och inkluderade i beräkningarna. Den presenterade grundvattentillgången kan därför inte garanteras, utan det är fullt möjligt att det på vissa platser finns en betydligt mindre eller betydligt större grundvattentillgång än vad som redovisas i denna rapport och tillhörande kartvisare på SGUs webb. I de fall det finns en hydrogeologisk utredning att tillgå som inkluderar en lokal beräkning eller bedömning av grundvattenresurserna, anser SGU att den sannolikt är att föredra för bedömning av grundvattentillgången, förutsatt att den är utförd på ett adekvat sätt. Dock är det sett över hela Sveriges yta mycket begränsade delar där lokala hydrogeologiska utredningar utförts, speciellt för enskild vattenförsörjning.

Den beräkningsmetod som används inom denna studie är en vidareutveckling av den metod som tidigare använts för bedömning av grundvattentillgång i Uppsala län (SGU 2019) och det som ibland refereras till som ”SGU-metoden”. Den har tidigare använts för liknande syften för till exempel Gotland, Östhammar, Norrtälje, Värmdö och Tierp (SGU 1999a-c, 2000, 2006). SGU anser dock att de beräkningar som nu utförts är mer tillförlitliga än de föregående på grund av att fler faktorer inkluderats i beräkningarna och därför att föredra vid användning.

BAKGRUND

Vårt samhälle är beroende av att vattenförsörjningen alltid fungerar oavsett hur vädret förändras över året och mellan olika år. Förutsättningarna för vattenförsörjning med hjälp av grundvatten varierar stort i Sverige, både geografiskt och årsvis, bland annat beroende på olika geologiska, meteorologiska och topografiska faktorer. Det är därför inte relevantt att generellt säga att det finns goda förutsättningar för vattenförsörjning i Sverige utan det kan vara stor skillnad mellan olika platser inom landet.

I sammanhanget med vattenförsörjning baserat på grundvatten är begreppet *grundvattenmagasin* centralt. Grundvattenmagasin avser en hydrauliskt avgränsad del av en eller flera geologiska formationer som medger uttag eller infiltration av grundvatten. Hydrauliska avgränsningar påverkar grundvattnets flöde eller flödesriktning. De kan förekomma på grund av skillnader i hydraulisk konduktivitet, till exempel vid en gräns mellan sand och lera, eller på grund av grundvattendelare (både fasta och rörliga). Uttag avser både det som görs direkt i magasinet, till exempel genom pumpning, och indirekt genom ett grundvattenflöde till ett annat angränsande magasin där uttag görs.

SGU kategoriserar ofta grundvattenmagasin som stora eller små. Det som karakteriserar stora grundvattenmagasin är förutom storleken också en förhållandevis stor andel porer som kan fyllas eller tömmas på vatten. Detta gör att de som regel reagerar långsamt på uttag och förändringar i nederbörd och torra. Stora grundvattenmagasin förekommer till exempel i större sand- och grusavlagringar och i vissa områden med sedimentär berggrund. Dock täcker de en relativt liten andel av Sveriges yta. Små grundvattenmagasin förekommer oftast i morän eller urberg och har lägre porositet eller är mer begränsade i fysisk storlek vilket gör att de reagerar snabbt på uttag eller förändringar i nederbörd och torra.

För stora grundvattenmagasin, som till exempel används för kommunal dricksvattenförsörjning, har SGU eller andra aktörer i många fall gjort specifika utredningar. Utredningar av små grundvattenmagasin för vattenförsörjning är ovanligare. Dessutom är det ofta svårt att hydrauliskt avgränsa små magasin, dels på grund av otillräckligt geologiskt underlag, dels på grund av att grundvattendelare kan variera stort över tid i små magasin på grund av variationer i uttag och grundvattenbildning. Små grundvattenmagasin är mycket vanligt förekommande i Sverige, inte minst för enskild vattenförsörjning.

Syftet med denna rapport är att beskriva hur förutsättningarna att använda grundvatten för enskild vattenförsörjning ser ut i olika delar av Sverige. Rapporten fokuserar därför på grundvattentillgång i små magasin även om resultat också presenteras för de områden som inkluderar stora magasin. För stora magasin bör platsspecifika utredningar användas istället om de finns och är utförda på ett adekvat sätt.

Ett generellt antagande som görs för beräkningen av grundvattentillgång i denna rapport är att uttaget sker i en bergbördad brunn eftersom det oftast är fallet för enskild vattenförsörjning i Sverige. Även om uttaget görs i berg inkluderas tillrinning från eventuellt överlagrande grundvattenmagasin i jord i beräkningen. I vissa områden kan det vara möjligt att göra betydande vattenuttag från en brunn i jord även om den bedöms vara ett litet grundvattenmagasin. Det kan då betraktas som ett mer gynnsamt fall för grundvattentillgången än uttag i berg. Dessa fall, med uttag direkt i jord, redovisas inte inom ramen för denna studie för att minska risken för överskattning av grundvattentillgången.

Det finns betydande variationer i förutsättningarna, både geografiskt och över tid, för vattenförsörjning baserat på grundvatten, vilket gör att olika faktorer kan vara begränsande för olika platser. Eftersom en tillförlitlig vattenförsörjning är nödvändig året runt, oavsett väderlek, är de grundläggande kraven för tillfredställande grundvattentillgång att följande faktorer är uppfyllda:

- Grundvattenbildningen måste vara tillräckligt stor
- Grundvattenmagasinet måste kunna lagra tillräckligt med vatten som kan nyttjas under perioder under torrperioder
- Uttagkapaciteten i brunnen som används måste vara tillräckligt stor

För punkterna ovan gäller olika tidsperspektiv. För grundvattenbildning är det rimligt att använda ett årligt perspektiv. I de fall grundvattenmagasinet är stort och kan lagra mycket vatten kan det också vara rimligt med ett flerårsperspektiv för grundvattenbildningen. Grundvattenbildningen är inte jämnt fördelad över året eller geografiskt, utan varierar beroende på meteorologiska, geologiska och topografiska faktorer.

Grundvattenmagasinets förmåga att lagra grundvatten avser i detta sammanhang hur mycket vatten som kan lagras och dessutom användas, det vill säga pumpas upp, under en period utan bildning av grundvatten. Detta benämns i fortsättningen av denna rapport för magasineringsförmåga. Den kan uttryckas i olika enheter, till exempel liter vatten per hektar (l/ha) eller millimeter (mm) vilket är ofta används för nederbörd och grundvattenbildning. Tidsperspektivet för magasineringsförmågan avgörs av den torrperiod som kan förväntas. Med torrperiod avses i denna rapport den längsta perioden utan (betydande) grundvattenbildning. Den varierar både i längd och årstid över landet och även mellan år. I södra Sverige inträffar torrperioden under sommaren medan den i Sveriges nordligaste delar kan inträffa under vintern (SGU 2013).

Det kortaste tidsperspektivet av de tre faktorerna ovan gäller uttagkapaciteten i brunnen som behöver vara tillräckligt stor för att kunna ge tillräckligt med vatten varje dag.

För att grundvattentillgången ska vara tillräcklig gäller att alla tre faktorer ovan måste vara uppfyllda. Det hjälper till exempel inte att den årliga grundvattenbildningen är stor om grundvattenmagasinet inte kan lagra tillräckligt med vatten så att det räcker över torrperioderna. På samma sätt måste den brunn som används ge tillräckligt med vatten varje dag. Det blir problem om brunnen endast ger lite vatten trots att om grundvattenbildningen är stor och det kan lagras mycket grundvatten i magasinet.

En viktig faktor att ta hänsyn till för vattenförsörjning är vattenkvalitet. I beräkningarna av grundvattentillgång har det tagits hänsyn till risk för salt i bergborrade brunnar. Dock har det inte bedömts som möjligt att inkludera andra aspekter av vattenkvalitet i denna studie.

Hur mycket som är *tillräckligt* är givetvis beroende på förbrukningen inom de fastigheter som berörs vilket kan variera stort, till exempel beroende på om det rör sig om permanentboenden, fritidshus eller jordbruksfastigheter. I denna rapport redovisas därför inte något mått på lämpligt antal fastigheter per hektar (ha) utan istället redovisas grundvattentillgången i enheten l/dygn/ha.

METOD

Beräkningen av grundvattentillgång som presenteras i denna rapport och tillhörande kartvisare baseras på ett antal befintliga underlag samt antaganden och bedömningar. Grundvattentillgång definieras i detta sammanhang som den mängd grundvatten som kan tas ut per dygn även under torrperioder eller år med minimal grundvattenbildning (torrår). Generellt kan den grundvattentillgång som presenteras betraktas som konservativt beräknad men den utgör inte ett extremfall. Detta betyder att det för de flesta platser bör finnas den grundvattentillgång som presenteras men det är ingen garanti för att så är fallet. Vid till exempel borrning i berg kan man ha mer eller mindre tur och träffa vattenförande sprickor vilket blir mycket betydelsefullt för grundvattentillgången i just den brunnen. Dessutom är SGUs underlag i många fall översiktligt vilket gör att förhållandena på en viss plats kan vara sämre än vad underlagen tyder på.

Ett generellt antagande som görs för beräkningen av grundvattentillgång i denna rapport är att uttaget sker i en bergborrade brunn eftersom det bedöms resultera i ett mer konservativt resultat. Dessutom är vanligare att enskild vattenförsörjning är baserad på bergborrade brunnar i Sverige.

Stora delar av denna beräkning baseras på resonemang, individuella bedömningar och erfarenheter av medarbetare inom SGU. I många fall saknas därför referenser till andra rapporter vad det gäller samband, parameter och liknande som använts för beräkningarna. De personer som bidragit till dessa bedömningar är i huvudsak Calle Hjerne, Mattias Gustafsson, Magdalena Thorsbrink, Lars-Ove Lång, Bo Thunholm, Henrik Mikko, Jonas Ising, Peter Dahlvist och Björn Holgersson.

Underlag

SGU har vid beräkningen använt ett antal underlag. Samtliga underlag bearbetades med ArcMap för att skapa raster med pixelstorlek om 100×100 m över hela Sverige. För varje dataunderlag extraherades värdet i centrumpunkten för vardera pixel. I vissa fall inföll dock denna centrumpunkt för en pixel i ett område utan giltigt värde, exempelvis om den i jordartskartan hamnade i vatten även om någon del av pixeln omfattar land. I sådana fall ansattes värdet i punkten i enlighet med närmaste punkt med giltigt värde.

Jordart

Data för jordarter hämtades från SGUs databaser för jordarter (SGU 2020a–e). I de fall samma yta omfattade mer än en karta användes data från den mest detaljerade kartan i första hand. I och med kombinationen av jordartskartor var det möjligt att skapa ett heltäckande grundlager (kod JG2) över Sverige. För ytlager (kod JY1) och djuplager (kod JD3) fanns det endast data sporadiskt. Andra uppgifter som kan hittas i SGUs jordartsdatabaser som blockighet, former, med mera har inte använts för beräkningarna.

Totalt fanns det 149 jordartskoder med tillhörande beskrivningar av jordarter i SGUs databaser för jordarter. Vid beräkningen av grundvattentillgång användes jordarter direkt eller indirekt som underlag för flera faktorer:

- Vattenavgivningstal i jord
- Grundvattennivå
- Jordlagerföljd
- Avsänkning i jord
- Grundvattenbildning

Jordarterna (149 st.) grupperades med avseende på faktorerna ovan av SGU på olika sätt vilket redovisas fortsättningsvis i denna rapport och speciellt i bilaga A.

Jorddjup

Eftersom jord generellt kan lagra mycket mer vatten än berg är det mycket viktigt för beräkningen av grundvattentillgång hur stort jorddjupet är på olika platser. I beräkningen användes SGUs jorddjupsmodell för detta (SGU 2020f).

Jordlagerföljd

Jordlagerföljd och mäktighet av respektive jordlager är i många fall av stor betydelse för beräkningen av grundvattentillgång. Detta gäller speciellt där jordlagerföljden inkluderar jordarter med stor skillnad i porositet, till exempel om det finns sand ovanpå lera eller isälvsavlagring under lera. SGU har ingen jordlagerföljdsmodell över Sverige som är användbar för detta syfte. För beräkningen av grundvattentillgång skapades därför en generaliserad jordlagerföljdsmodell vilken redovisas i Bilaga B. Eftersom jordlagerföljd med stor kontrast i porositet kan vara viktig för

grundvattentillgång har modellen fokuserat på sådana möjliga jordlagerföljder. Modellen beskriver endast en sannolik jordlagerföljd baserad på den huvudsakliga jordarten (JG2). I vissa fall bedöms jordlagerföljden vara olika om området är över eller under högsta kustlinjen eller om det är inom eller utanför ett större grundvattenmagasin i sand och grus. Grundvattenmagasin i detta avseende avser av SGU detaljkarterade magasin och inom avgränsade grundvattenförekomster i sand och grus i vattenförvaltningen. I de flesta fall är bedömningen av den sannolika jordlagerföljden rikstäckande, men i vissa fall har en annan bedömning gjorts för specifika jordarter och utvalda områden. I jordlagerföljdsmodellen ingår även en bedömning av mäktighet av respektive lager baserad på det totala jorddjupet.

Observera att detta är en generaliserad bedömning av en sannolik jordlagerföljd för ett visst område och jordart och avvikelser från denna bedömning kan säkerligen finnas. Det är också mycket viktigt att notera att detta inte är någon allmängiltig jordlagerföljdsmodell som kan användas för andra syften, utan den är specifikt framtagen för detta sammanhang och ska endast användas för denna beräkning av grundvattentillgång.

Grundvattennivå

Representativa värden för grundvattennivå (avstånd från markytan till grundvattenytan) har ansatts för olika jordarter baserat på erfarenheter från nivåövervakningsstationer belägna inom respektive jordart i SGUs grundvattennät. Beräkningarna baseras således på geologiskt grupperade och erfarenhetsbaserade värden för grundvattennivå och inte på plats specifika nivåmätningar. De värden som visas i tabell 1 är de som anses representera medelvärdet för en låg nivå, sett över året, i opåverkade områden i respektive jordart. Opåverkade områden avser områden som inte direkt påverkas av grundvattenuttag, hårdgjorda ytor, dränerande konstruktioner, etc. Det är rimligt att utgå från de lägre nivåerna sett över året eftersom det kan antas att grundvattenytan naturligt sjunker ner till dessa nivåer och ett grundvattenuttag skulle innebära ytterligare sänkning från dessa. Däremot anpassas inte nivån i beräkningen efter andra faktorer som till exempel läget i topografin.

Tabell 1. Antagna grundvattennivåer för olika grupper av jordarter. Koppling mellan respektive grupp och specifik jordart enligt jordartskartan redovisas i Bilaga A.

Grupp avseende grundvattennivå	Antagen grundvattennivå (m under markyta)
Sankmark/kärr	0,5
Gyttja	0,5
Torv	1
Mossetorv	1,5
Lera	2
Lera-silt	2
Lerig morän	2
Svämsediment	2
Älvsediment	2
Morän	3
Fyllning	3
Postglacial sand	3
Postglacial grus	3
Silt	3
Berg	4
Sand, grus, grövre	4
Flygsand	5
Isälvsediment	5

Vattenavgivningstal – Jord

Vattenavgivningstalet, S_y , avser den volymandel av marken som dräneras vid sänkning av grundvattenytan. Det kallas också ibland för *dränerbar porositet* eller *effektiv porositet*. Samtliga grundvattenmagasin antas i denna beräkning vara öppna, vilket innebär att sänkning av grundvattenytan medför en dränering. Vattenavgivningstal som använts i beräkningen avseende jord redovisas i tabell 2 och har bedömts baserat på litteraturuppgifter, till exempel Johnson (1976), Freeze och Cherry (1979) och Terzaghi m.fl. (1996), samt SGUs egna bedömningar.

Tabell 2. Antagna vattenavgivningstal för olika grupper av jordarter. Koppling mellan respektive grupp och specifik jordart enligt jordartskartan redovisas i Bilaga A.

Grupp avseende vattenavgivningstal	Antaget vattenavgivningstal, S_y (%)
Lera	1
Gyttja	2
Lerig morän	2
Lera-silt	3
Morän	4
Fyllning	4
Silt	6
Silt-sand	10
Torv	10
Sand, grus, grövre	15

Vattenavgivningstal – Berg

För berg är publicerade uppgifter om vattenavgivningstal S_y mycket knapphändiga och uppvisar dessutom stor variation. De nu tillämpade vattenavgivningstalen för berg är därför att betrakta som en rimlighetsbedömning av författarna. Observera att antagna vattenavgivningstal ska motsvara den bergvolym som kan dräneras genom pumpning, det vill säga det mer ytliga berget och inte hela bergmassan som penetreras av uttagsbrunnar i berg.

Vattenavgivningstal för berg har beräknats med stöd av hydraulisk konduktivitet, K (m/s), för berg. Denna har i ett tidigare skede beräknats av SGU baserat på uppgifter i brunnsarkivet (SGU, 2020g och Hjerne m.fl. 2021). I figur 1 visas fördelningen av K för urberg respektive sedimentär berggrund i Sverige grundad på denna rapport. Som synes är den hydrauliska konduktiviteten överlag mycket högre i områden med sedimentär berggrund än med urberg.

Antaganden som använts för beräkning av vattenavgivningstal, S_y , i berg:

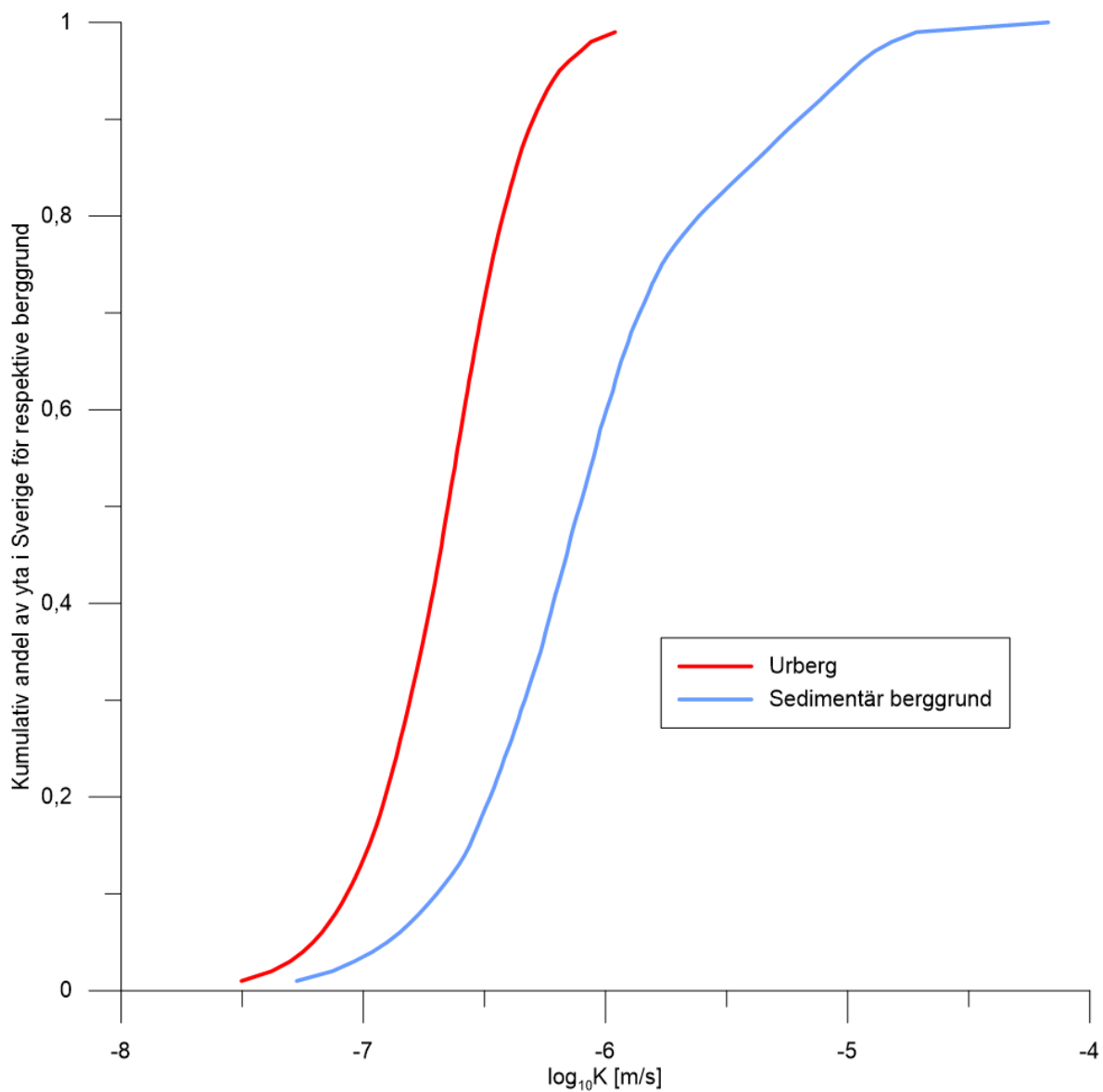
- För lågkonduktivt *normalt* urberg ($\log K = -7,5$) en tunn spricka (1 mm dränerbar öppning) per 10 m (det vill säga sprickfrekvens = $0,1 \text{ m}^{-1}$). Detta ger $S_y = 0,01 \%$. Normalt berg inkluderar i detta sammanhang inte de fem översta meterna i berget.
- Vattenavgivningstalet antas vara högre i ytligare berg. Ytberget antas utgöra de fem översta meterna av berget och det antas ha två gånger högre vattenavgivningstal är *normalt* berg.
- En ökning i K med tio gånger medför en ökning av sprickfrekvensen med tre gånger.
- Den dränerbara öppningen per spricka följer den så kallade kubiska lagen, vilket innebär att en fördubbling av öppningen medför en 8 gånger så hög genomsläpplighet.

- Vattenavgivningstalet är två gånger så stort i sedimentärt berg jämfört med i urberg med samma hydrauliska konduktivitet.
- För att undvika ovidkommande extremvärden har S_y begränsats för normalberget till intervallet 0,01–2,5 %.

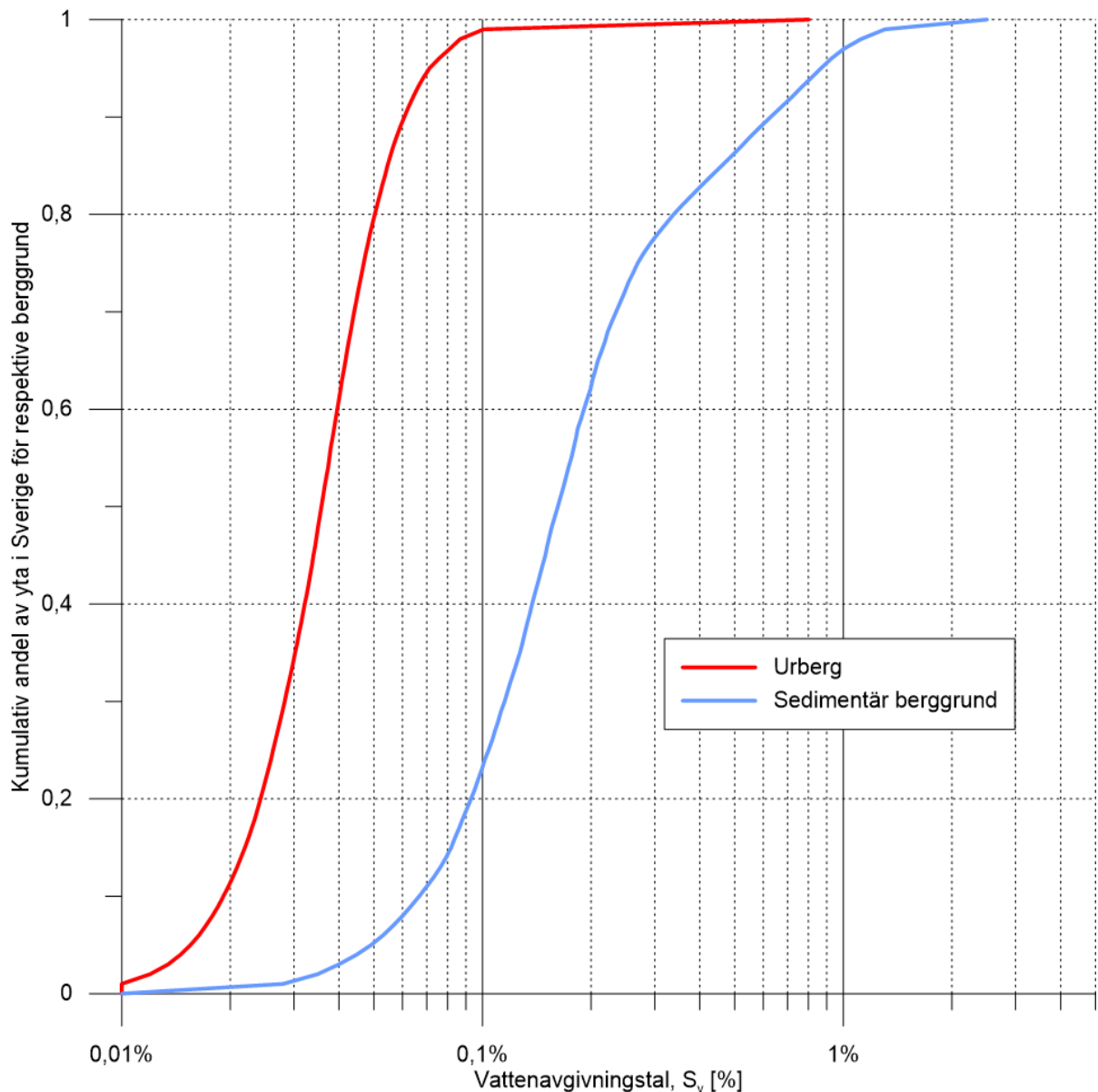
Med utgångspunkt från ovan beskrivna antaganden blir sambandet mellan S_y i normalt urberg och $\log K$:

$$S_y = 7.684 \cdot e^{1.5 \log K}$$

Fördelningen av S_y för *normalt* urberg respektive sedimentär berggrund enligt dessa antaganden redovisas i Figur 2. Medianvärdet för urberg är 0,036 % och sedimentärt berg 0,16 %. Observera att ytberg (0–5 m) antas ha två gånger så högt vattenavgivningstal vid beräkningen.



Figur 1. Fördelning (0,01–0,99) av hydraulisk konduktivitet, K (m/s) i Sverige baserad på SGU (2020g)



Figur 2. Fördelning (0–1) av vattenavgivningstal, S_y , som använts vid beräkning.

Avsänkning i berg

Avsänkningen av grundvattennivån som kan göras i en uttagsbrunn i berg är som regel stor och begränsas i första hand av tekniska aspekter som brunnsutformning och pumpens kapacitet. Dock måste man i beräkningen utgå från en genomsnittlig avsänkning inom den del av magasinet som brunnen använder. Därmed blir den resulterande genomsnittliga avsänkningen i den aktuella delen av magasinet som helhet mindre än vad den potentiellt kan vara precis i den enskilda brunnen eftersom det är ett visst avstånd mellan olika brunnar i samma magasin. I beräkningen har det därför antagits att avsänkningen i berg maximalt kan bli 15 m.

I praktiken är det på många platser i Sverige direkt olämpligt att göra stora avsänkningar eftersom det ökar sannolikheten att få saltare grundvatten till uttagsbrunnen. Det finns både naturliga orsaker, som relict havsvatten, och antropogena effekter (som till exempel vägsalt), till saltare

grundvatten. SGU bedömer att en större avsänkning i en brunn medför en ökad sannolikhet för att få en högre halt av naturligt förekommande salt. Men det inte lika uppenbart att en ökad avsänkning medför en ökad halt av till exempel vägsalt.

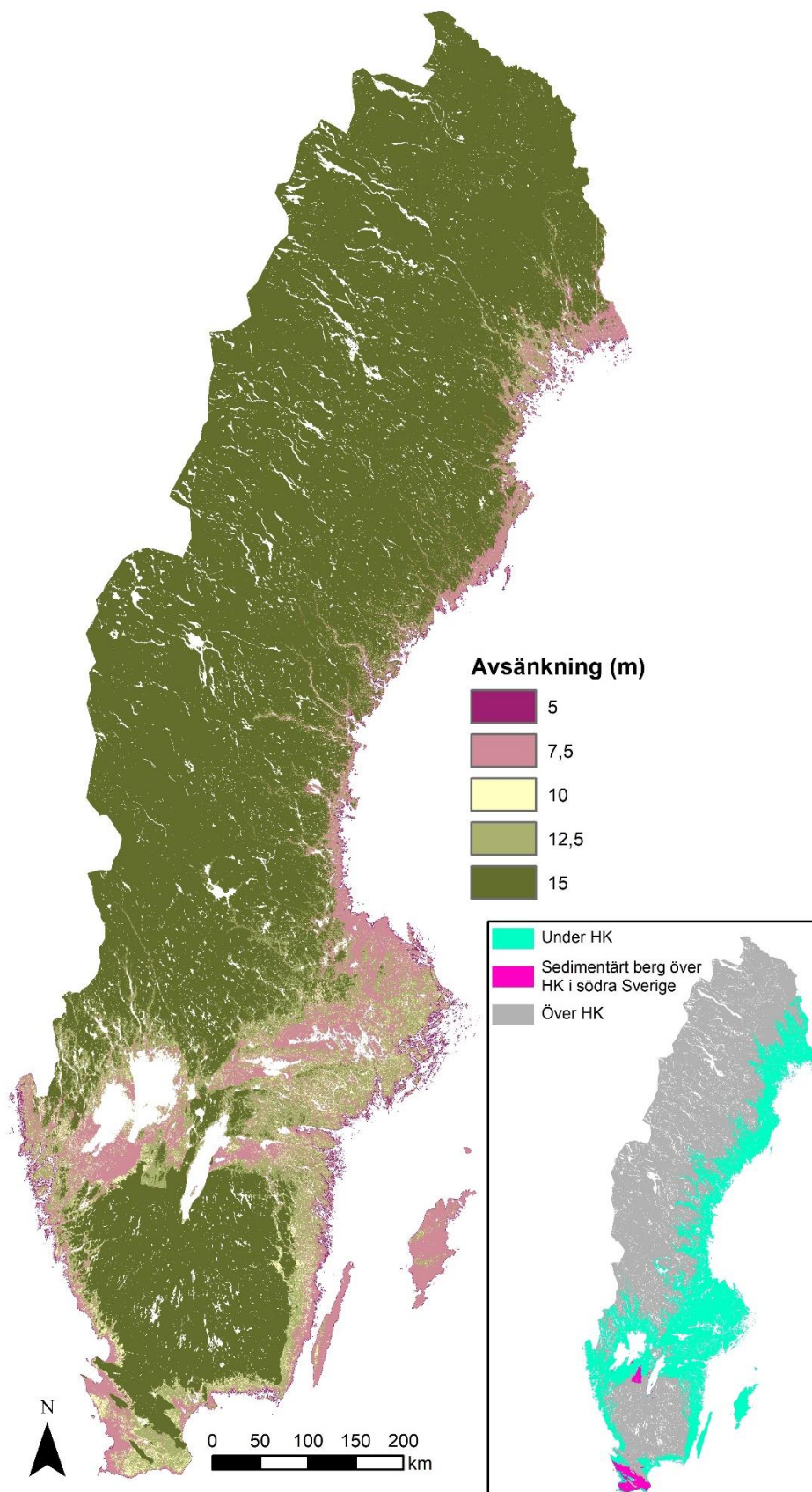
SGU bedömer att det är högst sannolikhet för naturligt saltare grundvatten vid pumpning i bergbrunnar närmast kusten på grund av närhet till havsvatten och att det är lägst sannolikhet ovanför högsta kustlinjen (HK). Ett undantag är dock havsvattenavsatt sedimentär berggrund som kan medföra en hög sannolikhet för salt grundvatten även om den är över högsta kustlinjen. I området mellan nuvarande kustrensa och högsta kustlinjen bör det dock kunna vara högst varierande sannolikhet för att få in saltare grundvatten i bergborrade brunnar.

SGU har ett pågående arbete med att ta fram en karta som visar sannolikhet för salt i brunnar. Denna tas fram med hjälp av AI-teknik och baseras på att analysdata från vattenprover korreleras mot en mängd olika faktorer. Kartan var inte klar vid tidpunkten för beräkningen av grundvattentillgång för denna rapport, men det fanns en arbetsversion tillgänglig. Sannolikheten för saltare grundvatten delades in i fyra klasser (1–4) i resultatet från arbetsversionen där klass 1 innebär lägst sannolikhet och klass 4 högst. Dock var det relativt få vattenprover i stora delar av Sverige, speciellt ovan högsta kustlinjen i Norrland.

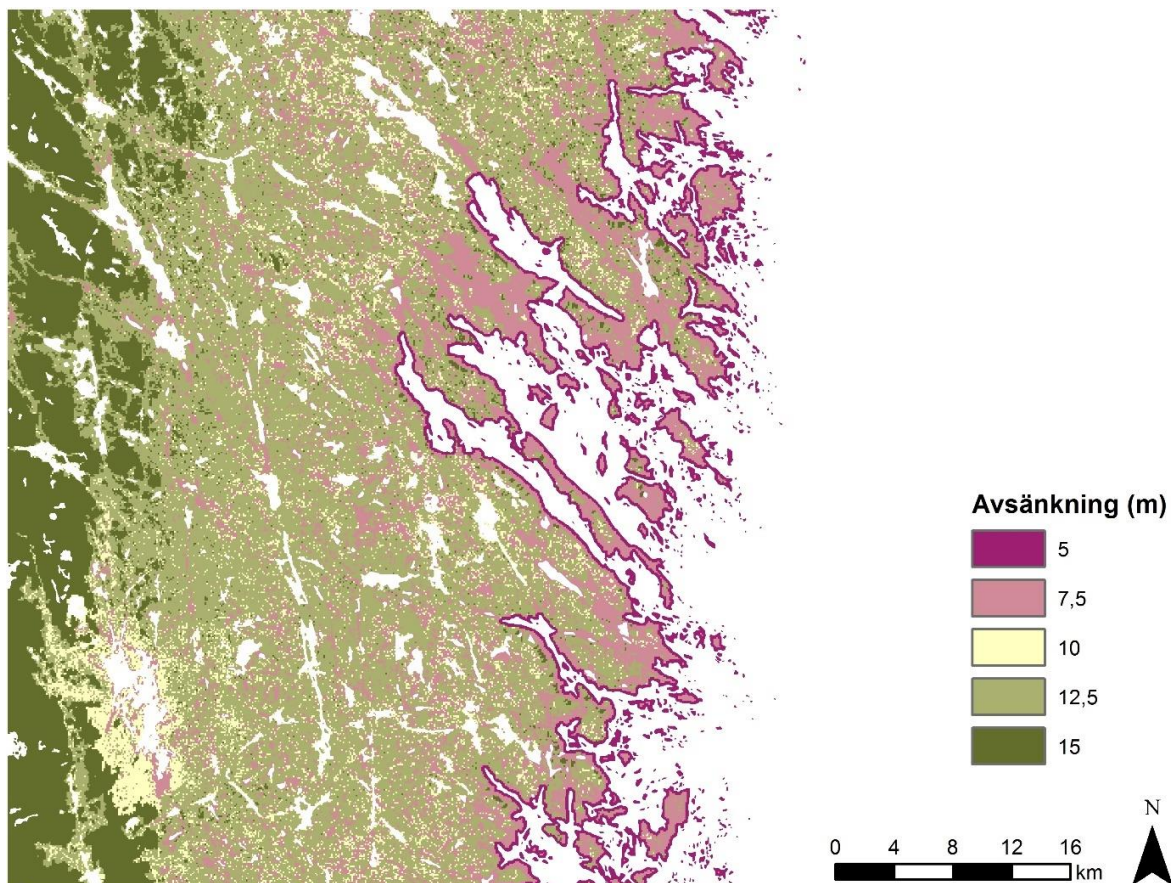
Med stöd av detta har avsänkningarna i berg begränsats ytterligare i beräkningarna enligt följande:

- Inom 200 m från dagens kustlinje: $dh_{berg} = 5$ m
- Under HK samt inom sedimentärt berg från Örebro län och söderut, varierande avsänkning baserat klasser från saltriskmodell (AI): $dh_{berg} = 7,5$ m (klass 4), 10 m (klass 3), 12,5 m (klass 2) eller 15 m (klass 1)
- Över HK (med undantag för sedimentärt berg enligt punkt ovan): $dh_{berg} = 15$ m

Avsänkning i berg enligt denna indelning redovisas i figur 3. Det är relativt svårt att se detaljer i denna karta varför också trakterna kring Västervik visas som ett exempel i figur 4. Där syns tydligt att det finns ett smalt band närmast kusten med minst avsänkning och ett område mellan kusten och högsta kustlinjen med varierande avsänkning samt ett område längst i väster över högsta kustlinjen med störst avsänkning.



Figur 3. Antagen maximal avsänkning i berg för beräkning av grundvattentillgång. Infälld karta visar områden under högsta kustlinjen samt sedimentärt berg över högsta kustlinjen söder om Örebro län.



Figur 4. Antagen maximal avsänkning i berg för beräkning av grundvattentillgång i trakten kring Västervik.

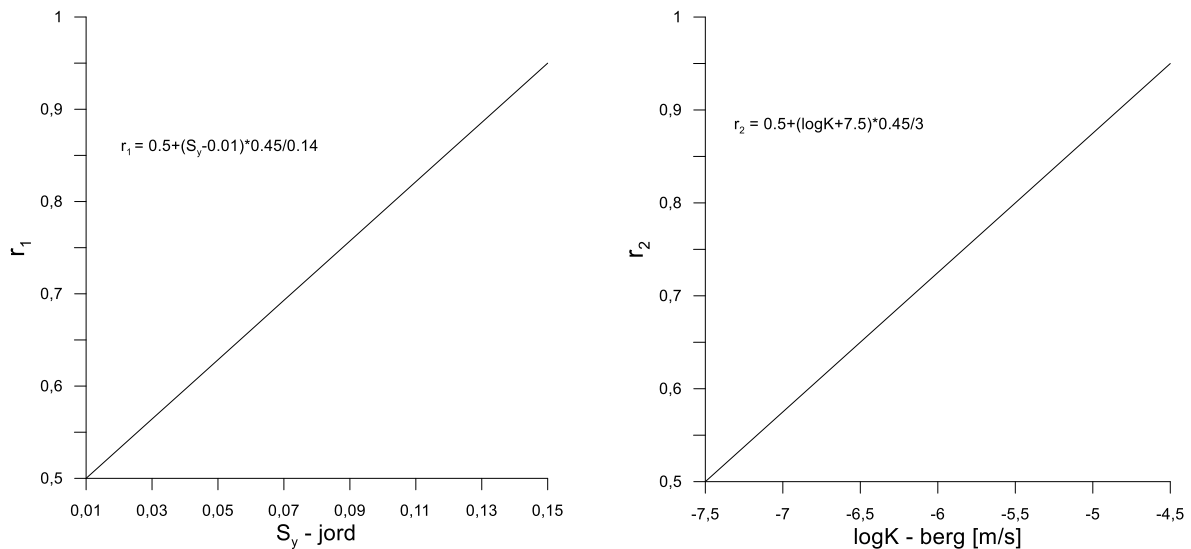
Avsänkning i jord

Metoden som används i denna rapport förutsätter att uttaget görs i en bergborrad brunn men att avsänkning också kan ske i ovanliggande jord. Däremot är det rimligt att avsänkningen i jord inte blir lika stor som i berg eftersom magasinet fylls på och töms periodvis och det finns en viss tröghet i systemet. Hur stor avsänkning i jord som är rimlig att kunna tillgodoräkna sig är svårbedömt, men två faktorer som bör vara av betydelse är kontakt mellan grundvattnet i berg och jord samt förmågan i jord att transportera vatten inom jordlagret.

Beträffande den första faktorn är det rimligt att en större del av jorden kan sänkas av om det underliggande berget har en hög hydrauliska konduktivitet, eftersom det kan indikera att kontakten mellan jordgrundvatten och berggrundvatten är god. För den andra faktorn bör det vara jordens hydrauliska konduktivitet som har betydelse. Inom denna studie har den hydrauliska konduktiviteten i jord inte bedömts, men det har tidigare visats av till exempel Beretta & Stevenazzi (2018) att det generellt finns ett positivt samband mellan hydraulisk konduktivitet och vattenavgivningstal. I denna beräkning har därför de värden som antagits för vattenavgivningstal i jord istället använts som stöd för bedömning avsänkning i jordlagren.

Om uttaget sker i berg kan avsänkningen i jord av naturliga skäl inte blir större än den i berg och inte heller större än den vattenmättade delen i jord.

Avsänkningen i jord har inom denna studie reducerats med produkten av faktorerna r_1 och r_2 som avser begränsningar med avseende på av S_y -jord respektive K i berg och varierar mellan 0,5 och 0,95 enligt figur 5. Med denna modell reduceras avsänkningen i jord med 25–90 % jämfört med avsänkningen i berg. Ett ytterligare villkor är att avsänkningen i ett jordlager inte kan bli större än i ett underliggande jordlager.



Figur 5. Antagna samband mellan reducerande faktor r_1 och S_y i jord (till vänster) samt r_2 och K i berg (till höger).

Torrperiod

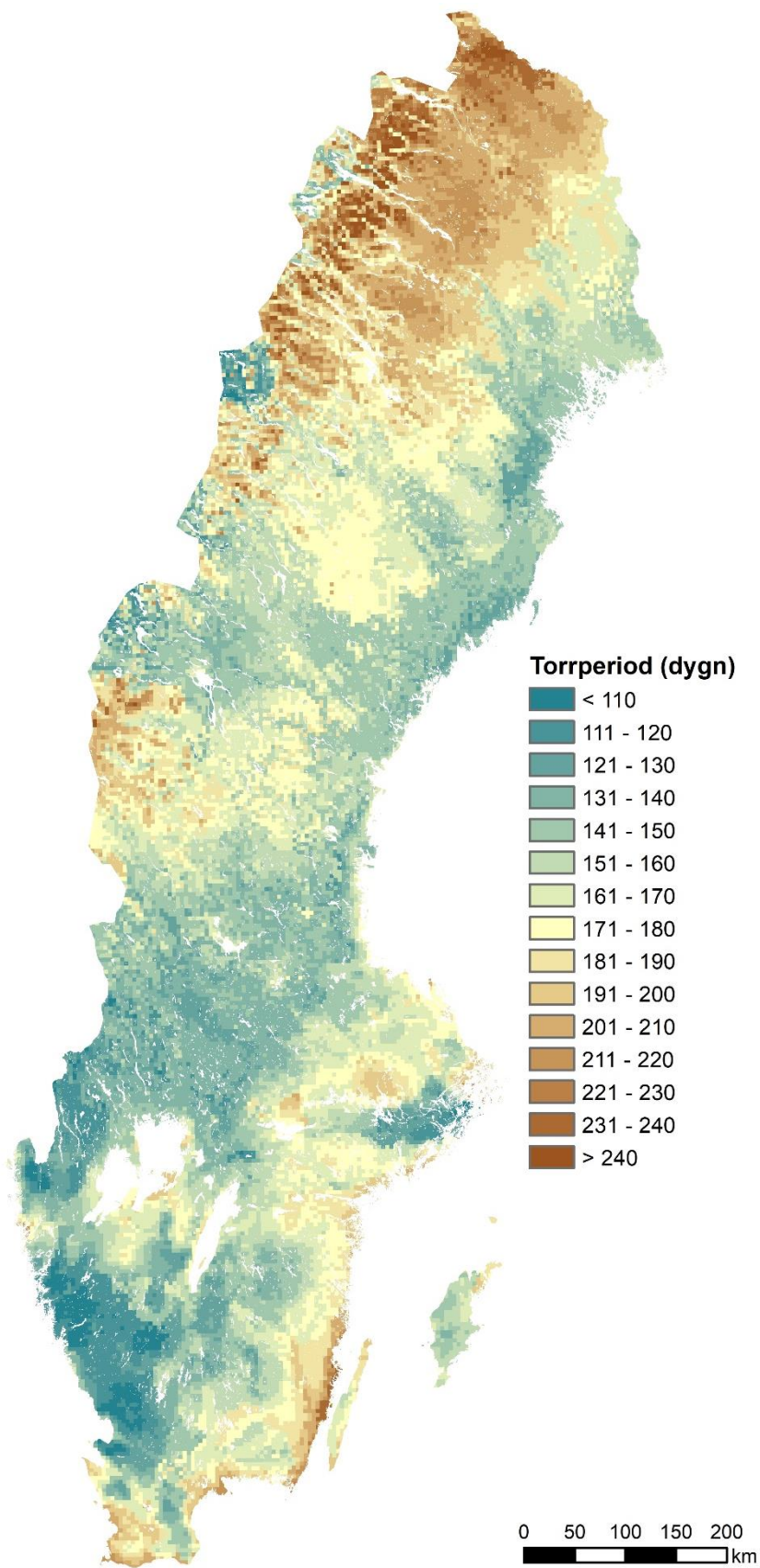
Torrperiod avser i detta sammanhang en tidsperiod med mycket begränsad eller ingen grundvattenbildning där man för vattenförsörjning är tvungen att förlita sig på mängden grundvatten i magasinet som fanns vid periodens början. För beräkning av grundvattentillgång blir det den längsta torrperioden för respektive område som blir begränsande eftersom grundvattnet måste räcka även för året med den längsta torrperioden.

För beräkningen av torrperiod har SGUs modellerade värden för fyllnadsgrad i små magasin från 1961 till och med 2019 använts. Data för denna beräknade fyllnadsgrad finns heltäckande över Sverige i områden som är 4×4 km.

I princip innebär en stabil eller sjunkande fyllnadsgrad (grundvattennivå) att det inte sker någon betydande grundvattenbildning. Beräkning av torrperiod utförs genom att undersöka hur lång den längsta perioden är för respektive område med kontinuerligt stabil eller minskande fyllnadsgrad. Undantag är vid hög fyllnadsgrad då grundvattennivån kan sjunka även vid en betydande grundvattenbildning eftersom avrinningen kan antas vara stor vid hög grundvattennivå och en betydande grundvattenbildning därmed kanske inte syns i grundvattennivån. Därför har det vid beräkningen införts en övre gräns för fyllnadsgrad, det vill säga om fyllnadsgraden är över denna gräns räknas det inte som en torrperiod även om fyllnadsgraden är stabil eller minskande. Vidare kan mycket begränsad grundvattenbildning medföra en mycket liten och kortvarig ökning av fyllnadsgraden. För att undvika sådana ovidkommande avbrott i den beräknade torrperioden gjordes en rullande medelvärdesbildning över ett visst antal dygn av fyllnadsgraden vid beräkningen.

Olika fall av övre gräns för fyllnadsgrad respektive rullande medelvärdesbildning testades. I slutändan användes fyllnadsgrad med en övre gräns av 75 % och 10 dygns rullande medelvärde för beräkningen. Detta resulterade i beräknade torrperioder som överlag stämmer väl överens med SGUs tidigare observationer av grundvattennivåer på olika platser i Sverige.

Beräknad torrperiod som använts vid beräkningen visas i figur 6. Det är noterbart att det är ganska stora skillnader över landet avseende torrperioder. I södra delen av Sverige är den kopplad till sommartorka medan den är kopplad till vintertorka i norra Sverige.



Figur 6. Beräknad (maximal) torrperiod baserad på SGUs modellerade värden för fyllnadsgrad i små magasin 1961–2019.

Grundvattenbildning

För de områden där den magasinierande förmågan och uttagskapaciteten i berg är stor kan den årliga grundvattenbildningen bli begränsande för grundvattentillgången. Rodhe m.fl. (2006) presenterar beräknad grundvattenbildning för *grov jord*, *fin jord* och *morän*. Av de resultat som presenteras i rapporten har SGU digital tillgång till uppdaterade flerårsmedelvärden över Sverige inklusive större delen av fjällområdet (Rodhe m.fl. 2008). Denna grundvattenbildning betraktar dock SGU som den *totala* grundvattenbildningen i ett område vilket inte nödvändigtvis behöver motsvara den grundvattenbildning som går att pumpa upp och nyttja för vattenförsörjning, speciellt inte från en bergborrad brunn.

Eftersom grundvattenbildning varierar mellan år är det mycket viktigt att ta hänsyn till torrår för beräkning av grundvattentillgång då vattenförsörjning måste vara tillförlitlig under alla år. Sanner och Grahn (1995) gjort en beräkning av effektiv nederbörd (P_{eff}) för perioden 1961–1990, med bl.a. 30-årsmedelvärde, minimi-värde och 10-percentil som har funnits tillgänglig för SGU. Vid beräkningen har de värden som presenteras för topografiska kartblad av Sanner och Grahn använts.

För beräkningen av grundvattenbildning av torrår har SGU antagit att grundvattenbildningen reduceras lika mycket under torrår som den effektiva nederbörden. För vissa magasin där den årliga grundvattenbildningen ligger mycket nära magasinieringsförmågan är det mest relevant att använda minimi-värdet av grundvattenbildningen. I större magasin som kan lagra mer än ett års grundvattenbildning kan det däremot vara mer relevant att jämföra magasinieringsförmågan med en större grundvattenbildning eftersom det inte är troligt att två efterföljande år hamnar på minimivärdet.

Den totala grundvattenbildningen för torrår beräknas därför för både minimivärdet respektive 10-percentilen enligt:

$$Gvb_{min} = Gvb_{Rodhe} \cdot \frac{P_{eff,min}}{P_{eff,med}}$$

$$Gvb_{10perc} = Gvb_{Rodhe} \cdot \frac{P_{eff,10perc}}{P_{eff,med}}$$

Hur stor del av den totala grundvattenbildningen som kan tillgodoräknas vid uttag i berg är dock oklart och relativt få studier är gjorda för svenska förhållanden vilket redogörs för i bland annat SGU (2017). I studier av Mossmark m.fl. (2008) vid Gårdsjön i Bohuslän och Trafikverket (2010) vid Hallandsås rapporteras att grundvattenbildningen till berg var 30–35 % av den effektiva nederbörden vid avsänkta förhållanden inom avrinningsområdet respektive influensområdet. SGU bedömer att det vid båda dessa exempel fanns goda förutsättningar för grundvattenbildning till berg och dessutom var avsänkningarna som gjordes förhållandevis stora.

Det är inte klarlagt vilka förhållanden som är avgörande för grundvattenbildning till berg under avsänkning. En faktor som kan spela roll är att en del av grundvattnet som bildas vid nederbördstillfällena kan ha kort uppehållstid i mark och avlämnas snabbt i jord eller ytligt berg mot närliggande vattendrag eller dike. Det är därmed så, att även vid avsänkta förhållanden, som vid pumpning, kommer en del av grundvattenbildningen inte nå ner till djup varifrån det är möjligt att pumpa upp. Ett annat skäl kan vara att berg generellt är lågkonduktivt jämfört med jord varför transporten av grundvatten från jord till berg kan vara långsam och ytterligare förstärka denna effekt.

Baserat på resonemanget ovan bör det vara gynnsamt för grundvattenbildning till berg om den hydrauliska konduktiviteten i berg är hög och att det finns ett visst jordtäckte som kan verka kvarhållande vid nederbördstillfällena. Men de fåtal studier som finns tillgängliga indikerar ändå

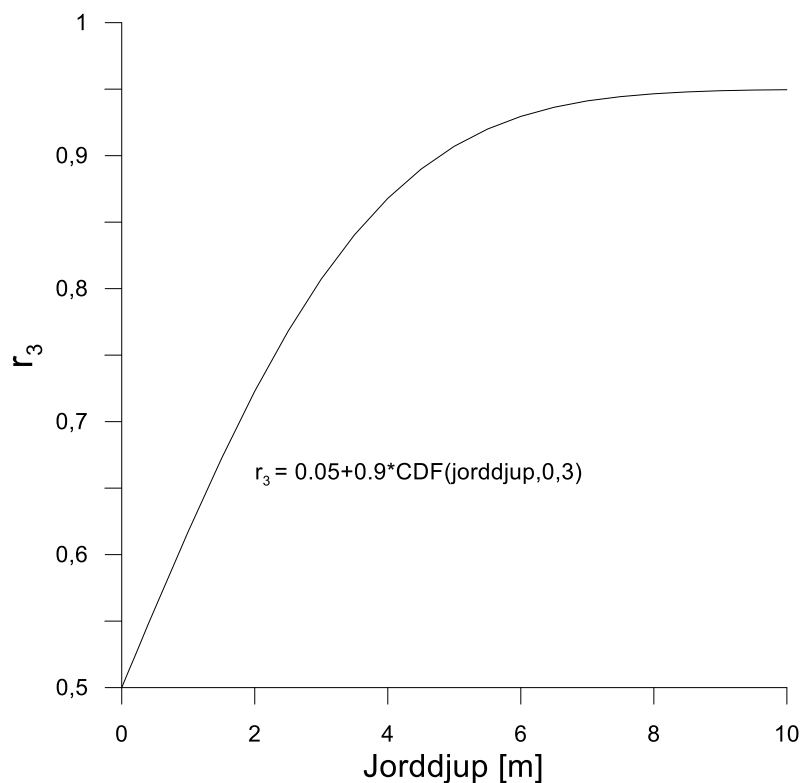
grundvattenbildningen till berg är mindre än den totala grundvattenbildningen även vid gynnsamma förhållanden. Därför antas det inom ramen för denna studie att grundvattenbildningen till berg maximalt är 50 % av den totala grundvattenbildningen men att den troligen är den mycket lägre i många fall.

Grundvattenbildningen till berg, Gvb_{berg} , beräknas inom ramen för denna studie enligt:

$$Gvb_{berg,min} = 0.5 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot Gvb_{Rodhe} \cdot \frac{P_{eff,min}}{P_{eff,med}}$$

$$Gvb_{berg,10perc} = 0.5 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot Gvb_{Rodhe} \cdot \frac{P_{eff,10perc}}{P_{eff,med}}$$

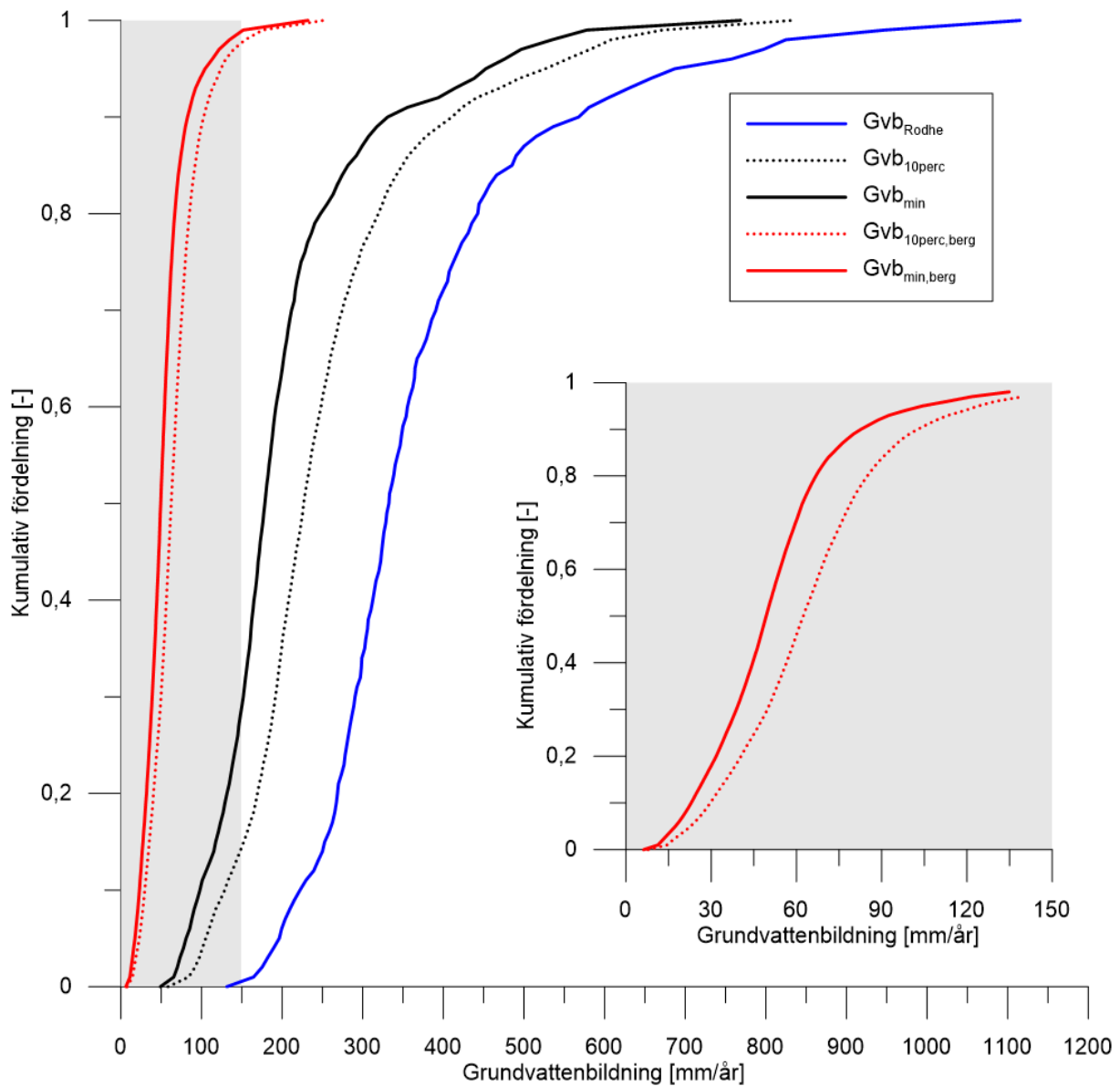
där r_2 är samma reducerande faktor beroende av hydraulisk konduktivitet i berg som används för avsänkning i jord och r_3 reducerar grundvattenbildningen med avseende på jorddjup. Det antas att en ökning av jorddjupet vid redan stora jorddjup inte får samma positiva effekt som vid små jorddjup. Därför används en kumulativ normalfördelning (CDF) som funktion av jorddjup med medelvärde 0 m och standardavvikelse 3 m (se figur 7) för r_3 .



Figur 7. Antaget samband mellan reducerande faktor r_3 och jorddjup.

Fördelningen av grundvattenbildningen till berg enligt beräkningarna ovan visas i figur 8.

Enligt detta sätt att räkna blir grundvattenbildningen till berg under avsänkta förhållanden ett torrår, $Gvb_{\text{berg,min}}$, i snitt (median) 49 mm/år vilket kan anses rimligt med tanke på uppgifter som finns sammanställda av SGU (2017) sedan tidigare.



Figur 8. Fördelning av grundvattenbildning för Sverige som använts för beräkningar, inklusive inzoomad del (gråfärgat område i figuren) för grundvattenbildning till berg.

Uttagkapacitet i brunnar

En faktor som kan begränsa grundvattentillgången är hur stort uttag, Q_{brunn} , som är möjligt i en bergborrad brunn. Direkt avgörande för denna är transmissiviteten, T , i brunnen samt vilken avsänkning, s , som kan göras. Ofta approximeras Q med $T \cdot s$ och T med produkten av den hydrauliska konduktiviteten och den vattenmättade delen av brunnen, b . Q blir då:

$$Q_{brunn} = K_{brunn} \cdot b_{brunn} \cdot s_{brunn}$$

I områden med högre sannolikhet för salt grundvatten är brunnarna ofta inte lika djupa som i andra områden och den vattenmättade delen är därmed kortare. Vid denna beräkning antas att den vattenmättade delen, b , är 5 gånger dh_{berg} som presenterats ovan.

Det skikt som avser den hydrauliska konduktiviteten i berg är en interpolation baserad på brunnsdata vilket medför att det avspeglar medelvärdet för berget ($\log K_{berg}$) för ett visst område. Det finns dock alltid en viss spridning för brunnar kring detta medelvärde och för att inte riskera en överskattning av grundvattentillgången antas ett mer konservativt värde för en godtycklig brunn $\log K_{brunn}$ i ett område är 0,5 lägre än det som visas i det interpolerade skiktet för $\log K_{berg}$.

Den momentana avsänkning och uttaget under pumpning i en bergborrad brunn kan vara stor. Dock sker uttag från brunnar för enskild vattenförsörjning ofta under en begränsad tid av dygnet vilket medför att den genomsnittliga avsänkning och uttaget är avsevärt lägre än den momentana. Vid beräkningen antas att den genomsnittliga avsänkning under dygnet, s , är lika stor som dh_{berg} som presenterats ovan.

Sammantaget kan beräkning av uttagkapacitet i en brunn med dessa antaganden beskrivas:

$$Q_{brunn} = \frac{K_{berg} \cdot 5 \cdot dh_{berg}^2}{10^{0.5}}$$

Observera att detta inte är någon allmängiltig formel utan endast ett resultat av de antaganden som gjorts ovan.

Beräkning

Vid beräkning av grundvattentillgång har underlagen som beskrivits ovan använts. Beräkningarna har utförts för pixlar om 100×100 m där någon del av pixeln omfattats av land enligt Lantmäteriets översiktskarta. I de fall en pixel endast inkluderar vatten (hav, sjö eller vattendrag) har inget värde beräknats.

För pixlarna har det värde för respektive ingående parameter som funnits i centrum av varje pixel använts. I en del fall där ett värde saknats har närmaste giltigt värde använts. Det kan till exempel röra sig om de fall då centrum punkten för en pixel hamnat i vatten enligt jordartskartan. Då har närmaste värde som inte är vatten använts. Det samma gäller till exempel pixlar som hamnat utanför ytor för grundvattenbildning (Rodhe m.fl. 2008 samt Sanner och Grahn 1995).

Beräkningarna för magasineringsförmågan har baserats på de underlag, bedömningar, antaganden och förhållanden som presenterats ovan. Mycket kortfattat beräknas magasineringsförmågan genom att multiplicera vattenavgivningstalet för respektive jordlager och berg med integralen från markytan och neråt av sannolikheten att grundvatten i lagret kan dräneras. Beräkningen är dock relativt komplicerad men förklaras stegvis på ett förenklat sätt i bilaga B.

Det som i slutändan avgör grundvattentillgången för en yta (pixel) är den faktor som mest begränsar det möjliga uttaget utav följande:

- Magasineringsförmågan (l/ha) dividerad med Torrperiod (dygn), Maf/Tp
- Grundvattenbildning till berg (l/dygn/ha), Gvb_{berg}
- Uttagskapacitet i bergborrad brunn (l/dygn), Q_{brunn}

Uttagskapaciteten har alltså inte samma enhet som de andra men det antas vid beräkningen att det finns en brunn per ha. På vissa platser kan det givetvis finnas mer än en brunn per ha, men det bedöms SGU vara mer undantag än regel för svenska förhållanden.

Som diskuterats ovan kan det, för de områden där magasineringsförmågan/torrperioden (Maf/Tp) är mycket större än minimivärdet av grundvattenbildningen ($Gvb_{berg,min}$), vara relevant att använda 10-percentilen för grundvattenbildningen ($Gvb_{berg,10perc}$). Detta eftersom området i fråga bör kunna lagra mer än ett års grundvattenbildning samtidigt som det inte är troligt att två efterföljande år hamnar på minimivärdet av grundvattenbildningen. Valet av grundvattenbildning till berg, Gvb_{berg} , har därför gjorts enligt följande:

- Om $Maf/Tp < Gvb_{berg,min}$ sätts $Gvb_{berg} = Gvb_{berg,min}$
- Annars om medelvärdet av Maf/Tp och $Gvb_{berg,min} < Gvb_{berg,10perc}$ sätts $Gvb_{berg} =$ medel av Maf/Tp och $Gvb_{berg,min}$
- Annars sätts $Gvb_{berg} = Gvb_{berg,10perc}$

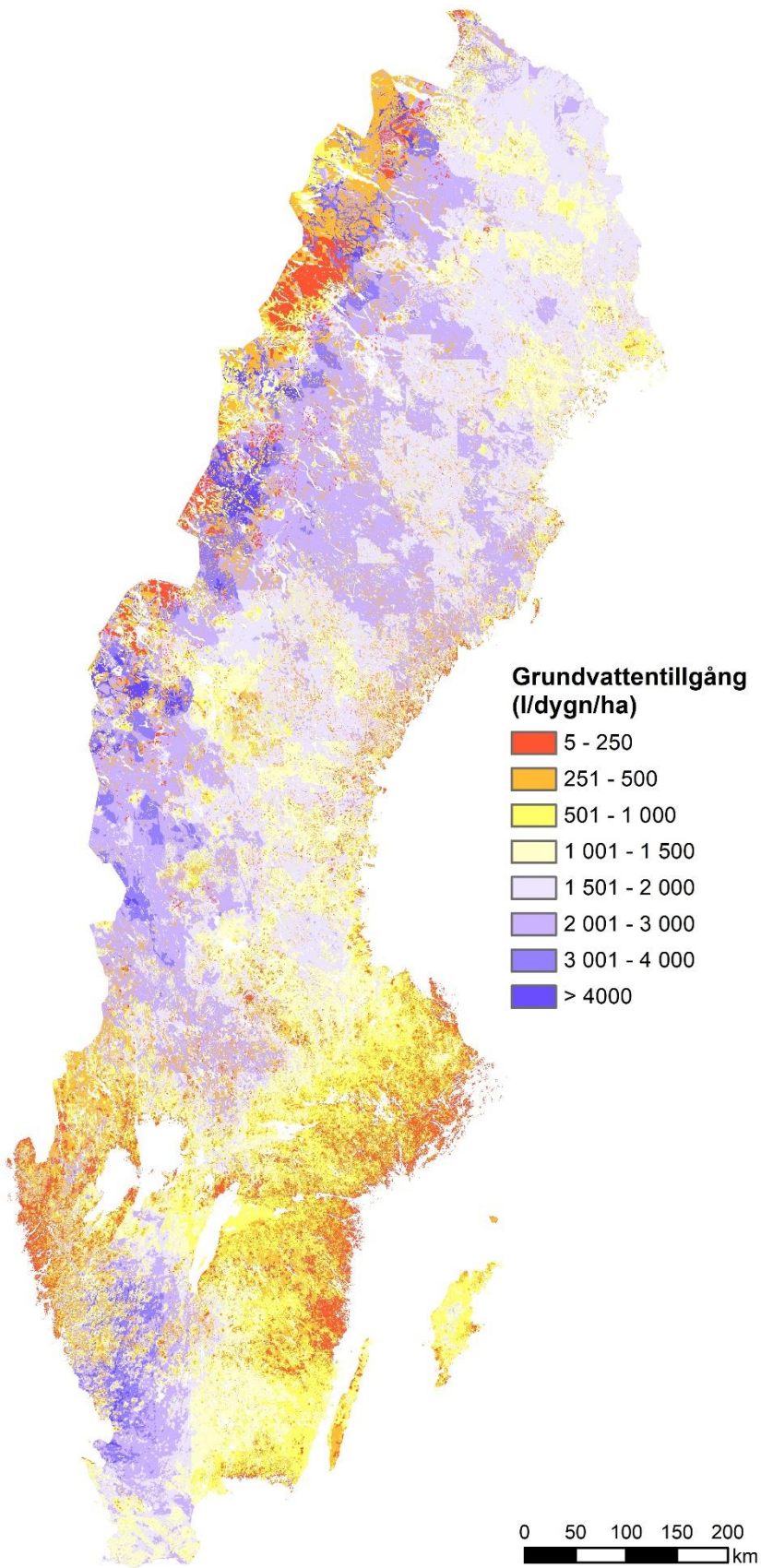
I praktiken innebär det att halva magasineringsförmågan som överstiger minimivärdet av grundvattenbildningen får tillgodoräknas upp till 10-percentilen av grundvattenbildningen.

RESULTAT

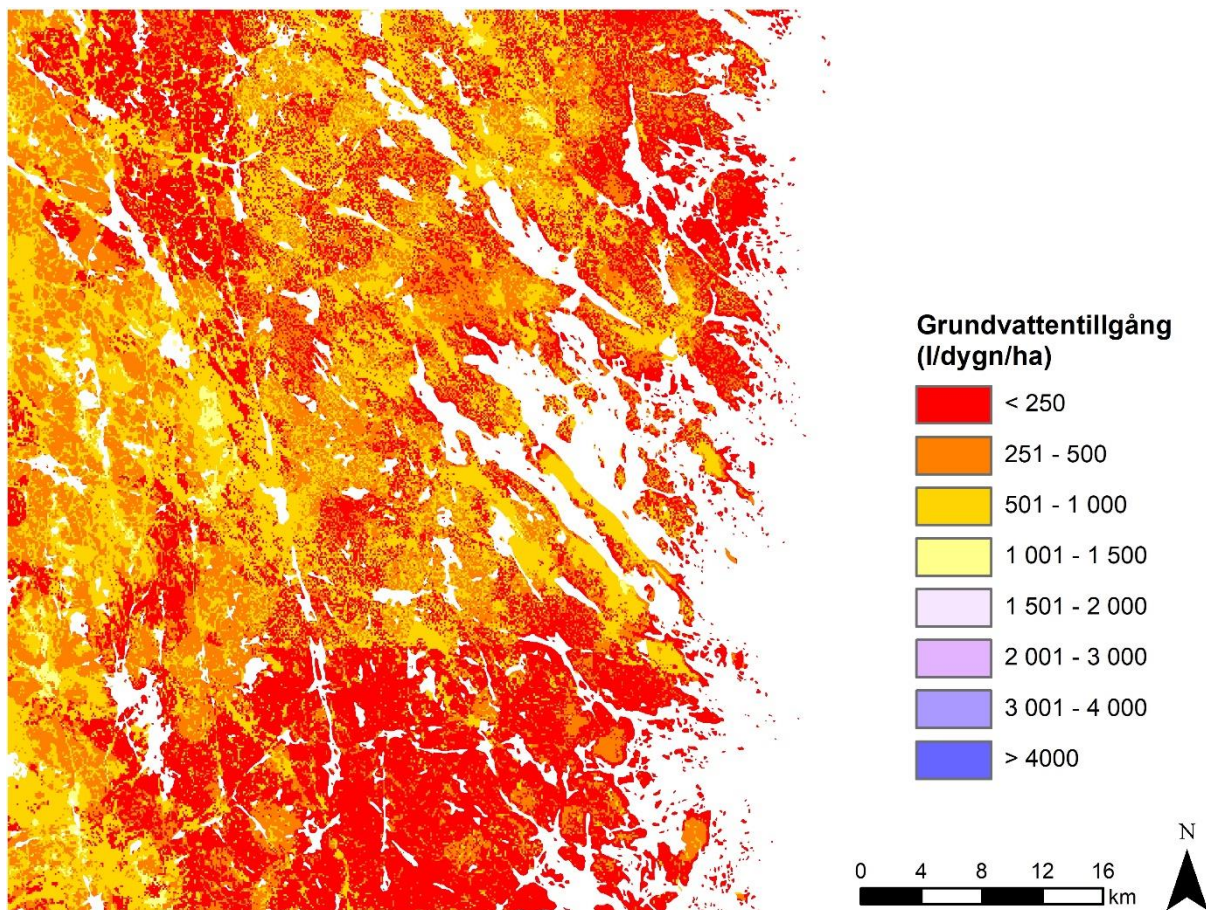
Beräknad grundvattentillgång enligt metod som beskrivits i denna rapport presenteras i figur 9 för hela Sverige. På grund av skalan är det svårt att se detaljer men det är tydligt att grundvattentillgången varierar stort över landet. Det är relativt vanligt förekommande att grundvattentillgången är begränsad men det är framförallt tydligt i delar av Bohuslän, Dalsland, Västergötland, Blekinge, Öland, Gotland, Småland, Östergötland, Södermanland och Uppland samt fjällkedjan. Observera att behovet av grundvatten inte vägts in i denna bedömning vilket givetvis skiftar mellan dessa områden.

Vid praktisk användning av den beräknade grundvattentillgången kommer ofta en mer lokal skala att användas. I figur 10 visas därför ett exempel hur det kan se ut i trakterna kring Västervik. I figuren syns tydligt att grundvattentillgången kan vara högst varierande även inom begränsade områden.

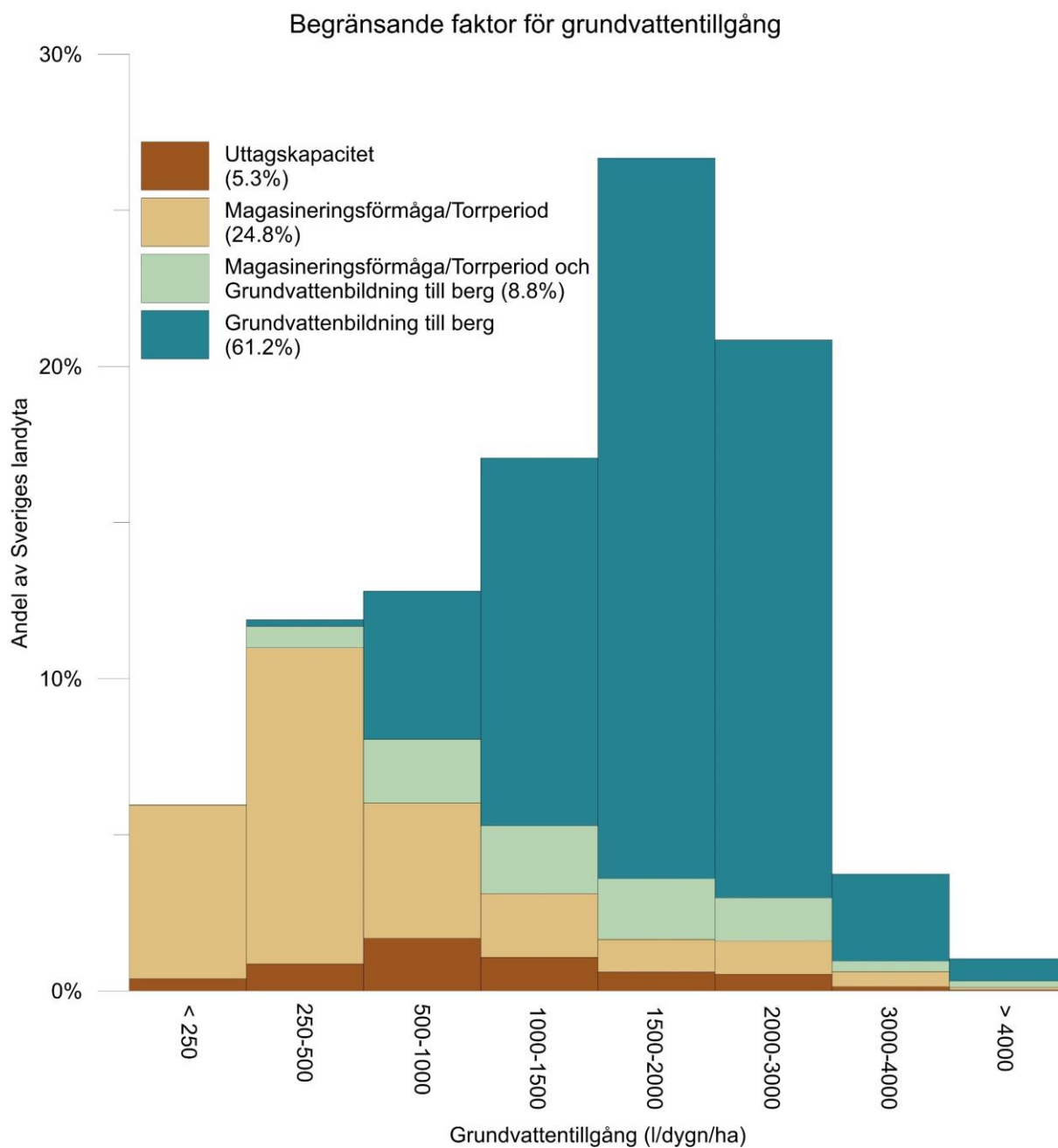
Vid beräkningen analyserades också vilken faktor som var begränsande för grundvattentillgången vilket presenteras i figur 11 och 12. Enligt denna analys begränsas grundvattentillgången i den största delen av Sverige av grundvattenbildningen till berg. Men för de områden där grundvattentillgången är som minst dominerar magasineringsförmåga/torrperiod som begränsande faktor. Uttagskapaciteten i brunnar kan också vara en begränsande faktor men i mindre utsträckning än de två andra faktorerna. I figur 13 visas hur de begränsande faktorerna fördelas inom samma område runt Västervik som visas i figur 10.



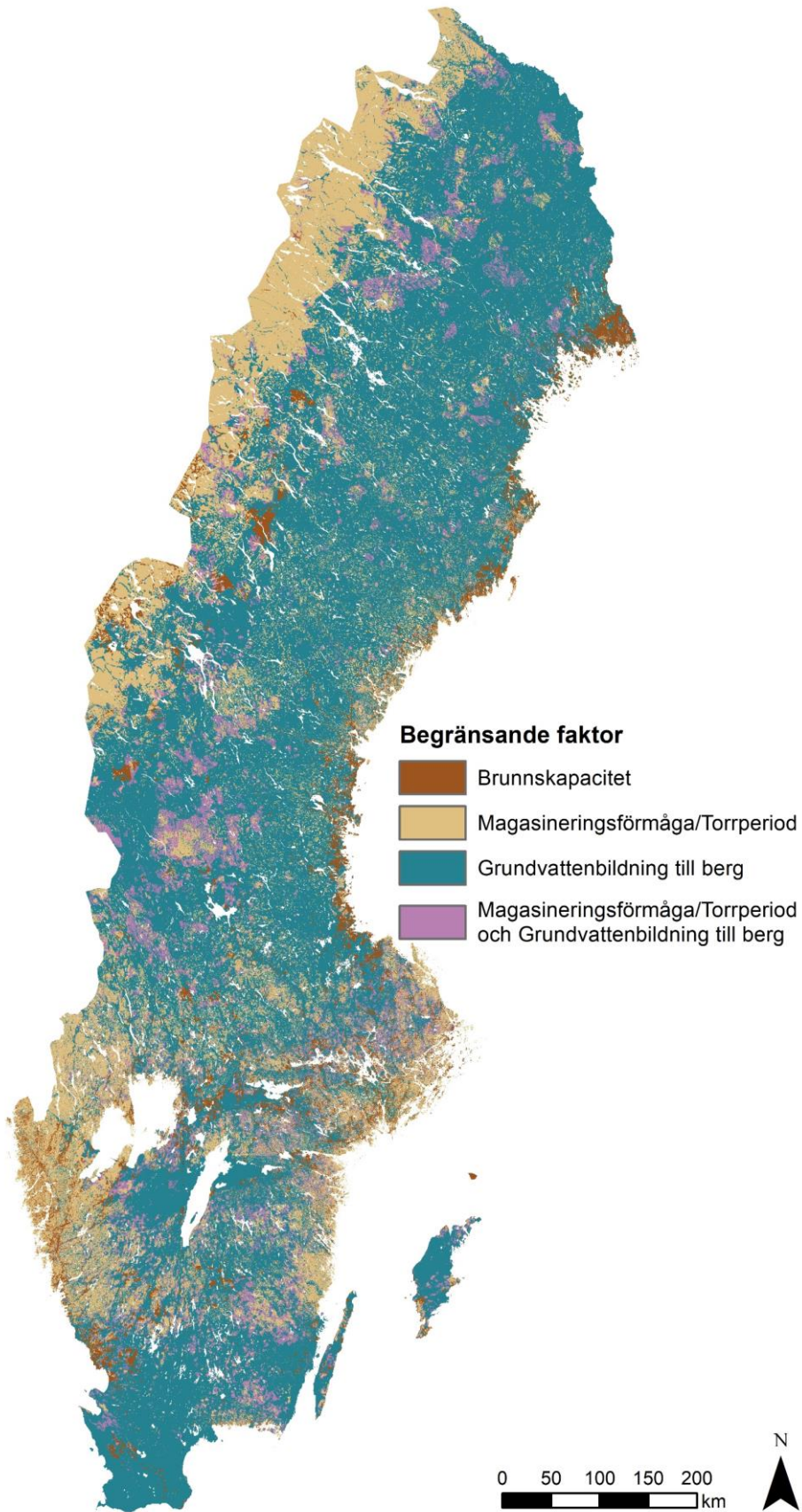
Figur 9. Beräknad grundvattentillgång för små magasin i Sverige.



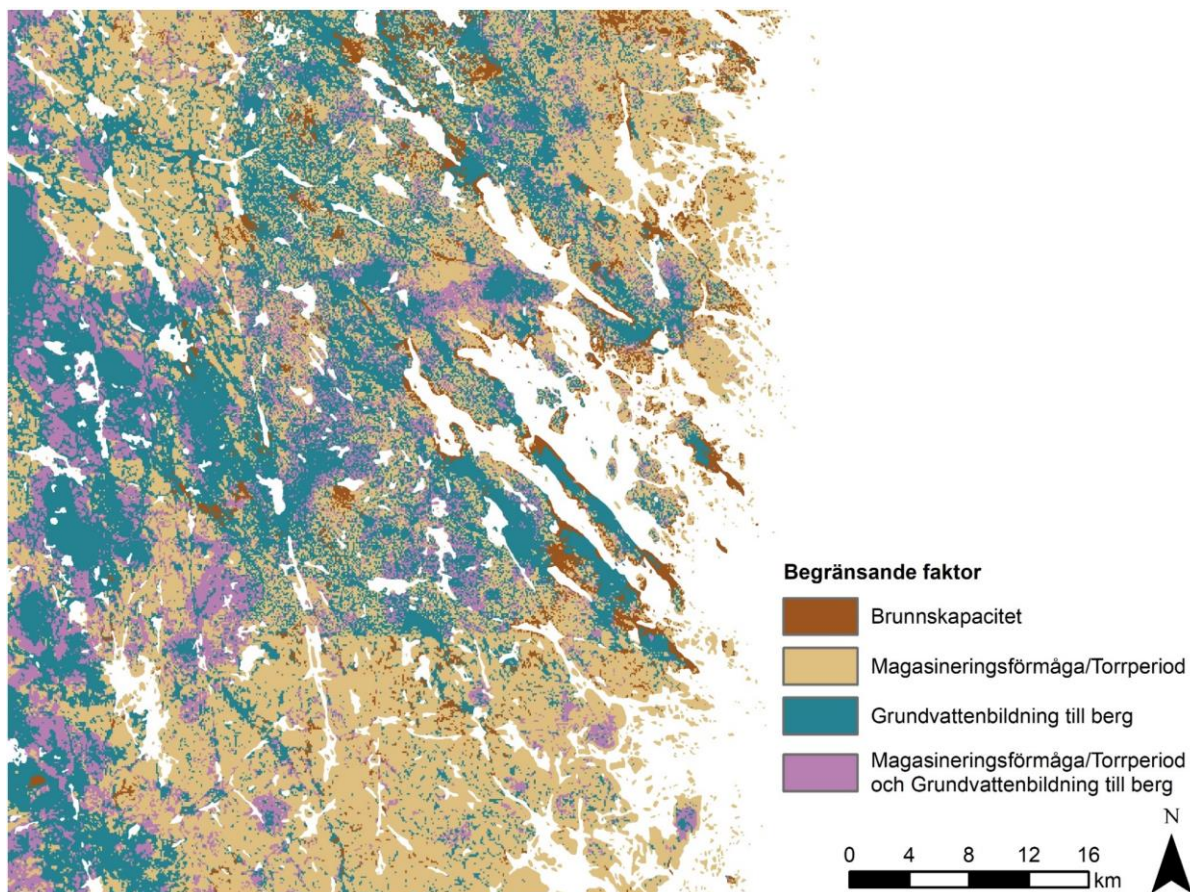
Figur 10. Beräknad grundvattentillgång för små magasin i trakterna kring Västervik.



Figur 11. Begränsande faktor fördelat på olika grupper av grundvattentillgång.



Figur 12. Begränsande faktor för grundvattentillgång i små magasin i Sverige.



Figur 13. Begränsande faktor för grundvattentillgång i små magasin i trakterna kring Västervik.

DISKUSSION

Osäkerheter och begränsningar

Det är ofrånkomligt att beräkningar som inkluderar antaganden och bedömningar innefattar osäkerheter. Utöver detta tillkommer även osäkerheter i de underlag som använts, såsom i jorddjupsmodellen och jordartskartan. För att minska risken för att överskatta grundvattentillgången i denna beräkning har SGU generellt försökt göra konservativa antaganden, det vill säga att vid osäkerheter, har värden föredragits som resulterar i en lägre grundvattentillgång snarare än en högre. Vid användning av den grundvattentillgång som presenteras är det dock mycket viktigt att komma ihåg, att resultatet inte på något sätt utgör en garanterad vattentillgång eller miniminivå. Det kan mycket väl finnas områden där grundvattentillgången är mindre än vad som presenterats.

Oavsett osäkerheter i antaganden och underlag bedömer SGU att grundvattentillgången som beräknats, generellt är rimlig och i linje med de erfarenheter rörande vattentillgång i små grundvattenmagasin som finns inom SGU. Det har dock inte gjorts någon genomgång av befintliga fall av bristande grundvattentillgång för att verifiera resultaten eller några specifika studier för validering.

Vid användning av resultaten är det viktigt att beakta att beräkningarna fokuserat på förhållanden i små magasin då grundvattenuttag görs i berg. Detta medför att det finns ett antal områden, som

dock sammantaget omfattar en mindre del av Sveriges yta, där man kan förvänta sig att grundvattentillgången kan skilja sig betydligt jämfört med de presenterade resultaten. Detta gäller i huvudsak:

- **Stora grundvattenmagasin:** För många av dessa områden har SGU eller andra aktörer gjort specifika utredningar som är att föredra, förutsatt att de är utförda på ett adekvat sätt, eftersom de inkluderar lokala bedömningar. Stora grundvattenmagasin omfattar i detta sammanhang i första hand större sand- och grusavlagringar, som isälvsavlagringar, men även vissa områden med sedimentär berggrund i södra Sverige kan betraktas som stora magasin. Mer i detalj bedömer SGU att detta i huvudsak gäller Kristianstadsslätten, Listerlandet, Vombsänkan, kalkstenen i sydvästra Skåne samt sandstenarna vid Helsingborg, Ängelholm, Hörby och Höör.
- **Tätorter:** I tätorter kan grundvattenbildningen och grundvattenyta påverkas betydligt på grund av dräneringar, markbearbetning och hårdgjorda ytor vilket bör påverka grundvattentillgången. Å andra sidan är det ofta mindre intressant med grundvattentillgång i små magasin i tätorter eftersom det ofta finns kommunal dricksvattenförsörjning där.
- **Små grundvattenmagasin med uttag direkt i jord:** I befintlig beräkning av grundvattentillgång förutsätts att vattenuttaget görs från bergborrad brunn. I vissa områden är det möjligt att göra betydande vattenuttag från brunn i jord även om det inte betraktas som ett stort grundvattenmagasin. Där uttag kan göras direkt i jord kan det vara rimligt att grundvattentillgången är större än den som presenteras här eftersom beräkningen inkluderar en reduktion vid grundvattenbildning till berg och avsänkning i jord vid uttag i berg.

En annan viktig faktor att ta hänsyn till vid användning av resultaten är vattenkvalitetsaspekter. I beräkningarna av grundvattentillgång har endast hänsyn tagits till risk för saltpåverkan i bergborrade brunnar eftersom det generellt bedöms vara den viktigaste begränsande aspekten sett nationellt och att det finns underlag för att bedöma sannolikheten för detta i denna skala. Det är dock viktigt att i det enskilda fallet även ta hänsyn till andra vattenkvalitetsfrågor som kan vara mycket viktiga lokalt. Som stöd för att identifiera områden där vattenkvaliteten kan vara en begränsande faktor kan man till exempel ta stöd av SGUs rapport bedömningsgrunder för grundvatten (SGU 2013) samt den miljöövervakningsdata som finns tillgänglig via SGUs kartvisare Miljöövervakning grundvatten. I det fall det finns en regional vattenförsörjningsplan för länet kan den, i vissa fall, lyfta fram om det inom länet finns specifika kvalitetsproblem kopplat till vattenförsörjning.

Effekter av ett förändrat klimat

Klimatförändringar kommer att påverka grundvattentillgången i Sverige (SGU 2015, Rodhe m.fl. 2009). Eftersom de begränsande faktorerna för grundvattentillgången som presenterats i denna studie varierar mellan olika områden, är det rimligt att påverkan av klimatförändringar kommer slå olika i olika delar av landet. Någon närmare analys kring klimatförändringarnas påverkan på nu beräknad grundvattentillgång har inte kunnat inrymmas i denna studie utan istället lyfts endast några exempel på hur de framtida klimatförändringarna kan komma att påverka vattentillgången.

I de områden där grundvattentillgången begränsas av magasineringsförmågan och torrperiodens längd kommer det bli en direkt effekt på vattentillgången till följd av en förändring i torrperiod. I de delar av Sverige där grundvattentillgången påverkas av sommartorka är det rimligt att en längre växtsäsong kan medföra längre torrperioder. I norra Sverige är det å andra sidan mycket möjligt med en kortare vintertorka på grund av höjda temperaturer.

För områden som begränsas av grundvattenbildningen kommer också klimatförändringar mycket troligt påverka grundvattentillgången. Men det är till exempel inte säkert att en ökad grundvattenbildning medför en ökad grundvattentillgång eftersom någon av de andra två faktorerna istället kan verka begränsande.

Med tanke på komplexiteten i denna fråga och de samband som finns mellan de begränsande faktorerna för grundvattentillgång krävs en särskild studie för att klarlägga hur grundvattentillgången kommer att se ut för små magasin i ett framtida klimat.

Möjliga förbättringar

Som diskuterats ovan baseras beräkningen av grundvattentillgång på många underlag, antaganden och bedömningar. Det finns därmed en stor potential för förbättringar. Vissa av de underlag som används, till exempel databaser för jorddjupsmodellen och jordarter uppdateras regelbundet och uppdaterade beräkningar kommer då ge ett något ändrat resultat. Det är också tänkbart att den nya databasen gällande hydraulisk konduktivitet i berg kommer att uppdateras när fler brunnar registrerats i brunnarkivet. Om den nya kartan för saltrisk som tas fram med AI blir klar kan det också medföra en viss ändring i slutresultatet.

I de områden i Sverige som har lägst grundvattentillgång, är magasineringsförmågan oftast begränsande vilket gör att denna faktor bör vara i fokus för eventuella förbättringar av underlag och beräkningar. Eftersom skillnaden är stor mellan vattenavgivningstal i jord och berg är det mycket viktigt för magasineringsförmågan hur grundvattennivån är i förhållande till jorddjupet. SGU bedömning är därför att den enskilt viktigaste förbättringen skulle vara ett utförligare underlag för grundvattennivå. Det kan vara en framkomlig väg att ta fram en karta över grundvattennivån i detaljerad skala över Sverige, det vill säga meter under markyta, med hjälp av maskininlärning/AI eller statistisk analys och data från SGUs grundvattennät samt andra nivåmätningar. I detta sammanhang blir det troligtvis mycket viktigt att inkludera den lokala topografin i underlaget vilket hittills inte gjorts vid beräkningen av grundvattentillgång. En produkt som visar den naturliga grundvattennivån i meter under markyta över Sverige skulle också vara mycket användbar för många andra delar av samhället, till exempel infrastrukturprojekt, exploatering och naturvårdsinsatser.

De områden som har lägst grundvattentillgång sammanfaller ofta med en hög användning av grundvatten för enskild vattenförsörjning, till exempel vid kustområden i Bohuslän, Blekinge och stora delar av ostkusten samt Öland och Gotland. I dessa områden är det vanligt med tunna jordlager vilket medför att bergets vattenavgivningstal samt möjlig avsänkning i berget är av särskilt stor betydelse för grundvattentillgången. SGUs bedömning är att den bästa vägen för att minska osäkerheterna gällande detta är att genomföra riktade fältundersökningar, till exempel genom att mäta grundvattennivåer och uttag i områden med många brunnar och relatera det till geologiska förhållanden. Sådana studier skulle också fungera som validering, eller grund för förändring, av de beräkning av grundvattentillgång som nu presenteras.

Användning av resultat

Oavsett vad den beräknade grundvattentillgången används till är det mycket viktigt att förstå och ta hänsyn till de osäkerheter och begränsningar som diskuterats ovan. Den viktigaste aspekten är att resultaten inte är någon garanterad tillgång, utan det kan mycket väl finnas områden där grundvattentillgången är mindre, eller större, än vad som presenteras.

En annan mycket viktig aspekt för användningen är i vilken skala som resultaten betraktas. De underlag som SGU använt vid beräkningen är lämpliga för olika skalor. Ett exempel är databasen

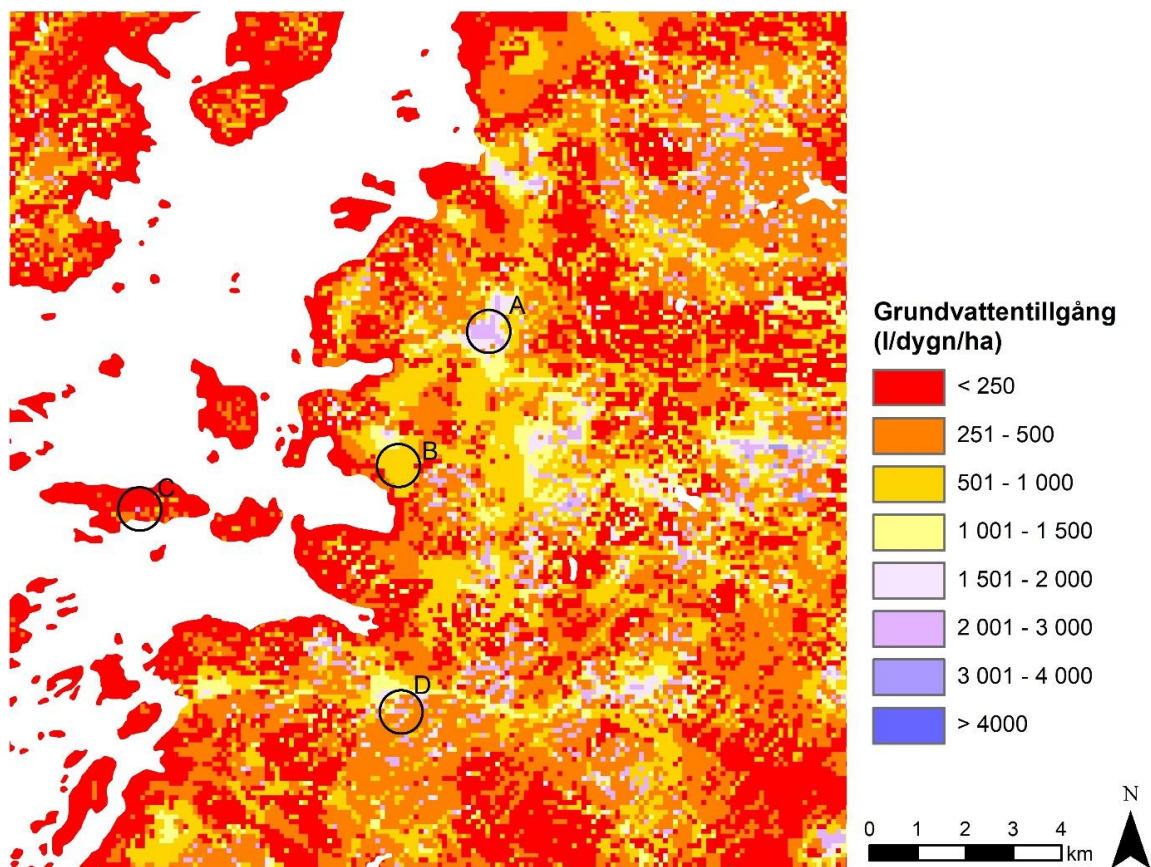
för jordarter där det i vissa områden är karterat i skalan 1:25 000 medan det i andra områden är karterat i en betydligt mer översiktlig skala, till exempel 1:250 000. Ett annat exempel är hydraulisk konduktivitet i berg där osäkerheten är betydligt mycket större i områden med få brunnar än med många brunnar. I det fallet är det svårt att specificera någon tydlig gräns för vilken skala som är lämplig. Eftersom underlagen som använts för den karta som nu presenteras för grundvattentillgång är högst varierande i skala är det svårt att specificera vilken skala som är lämplig. SGU anser att den beräknade grundvattentillgången i alla fall inte ska användas i en skala som överstiger (det vill säga inte mer förstorat än) 1:100 000.

Grundvattentillgången presenteras i enheten l/dygn/ha. En fråga som då dyker upp är hur många hektar som kan tillgodoräknas för en brunn i berg? Ett grundläggande antagande för beräkningen av både den grundvattenbildning och magasineringsförmåga som ligger till grund för den presenterade grundvattentillgången är att det är en hydraulisk påverkan av uttag. Berg och mycket av den jord som utgör små grundvattenmagasin har ofta en förhållandevis låg hydraulisk konduktivitet. Det medför att en avsänkning i en brunn i ett litet magasin har ett begränsat influensområde med mycket marginell eller ingen inverkan på grundvattennivån eller flödet på ett visst avstånd även om det är inom samma magasin. Hur stort detta influensområde är kan vara högst variabelt bland annat beroende på uttagsflöde samt bergets och jordens hydrauliska egenskaper. Som utgångspunkt anser SGU att det är lämpligt att tillgodoräkna grundvattentillgången för en hektar per brunn i berg eftersom det är rimligt att anta påverkan på grundvattennivån inom denna yta kan vara tydlig till följd av uttaget. Det kan finnas skäl att ibland tillgodoräkna sig en större yta än en hektar per brunn. Det gäller framförallt i områden med hög hydraulisk konduktivitet, vilket i Sverige i första hand är kopplat till sedimentär berggrund och områden med vattenmättade lager av sand och grus.

Det förekommer ibland en uppfattning om att det topografiska tillrinningsområdet för en brunn (det vill säga det område inom vilken markytan lutar mot brunnen) är viktigt för grundvattentillgången. Det kan vara så att en del av grundvattenbildningen inom detta område kan komma till brunnen. Men SGU bedömer att grundvattenbildningen till berg i det område som inte påverkas av pumpning generellt är avsevärt mycket mindre än den grundvattenbildning som ligger till grund för beräkningen av grundvattentillgång i denna rapport. Det kan också vara så att grundvattenbildningen på större avstånd inte hinner komma brunnen tillgodo innan det blir en större av större påfyllning av magasinet igen. Det topografiska tillrinningsområdet bör därmed ha underordnande eller ingen betydelse.

Om det finns en samling närliggande brunnar kan det vara lämpligt att betrakta det sammanlagda uttaget från dessa, eftersom de kan konkurrera om samma grundvatten, och jämföra med grundvattentillgången i det område brunnarna kan tänkas påverka. Observera dock att det inte relevant att beräkna en vattenbalans baserat på den redovisade grundvattentillgången summerat för ett helt delavrinningsområde eftersom det är osannolikt med en hydraulisk påverkan av uttag över ett större område. Med andra ord är det helt ovidkommande att grundvattentillgången är god i en del av ett delavrinningsområde om brunnarna är koncentrerade till en annan del av samma delavrinningsområde.

SGU bedömer att den nu beräknade grundvattentillgången kan vara relevant och användbar för översiktlig riskbedömning och planering avseende vattenuttag från små grundvattenmagasin. Resultaten kan till exempel användas för att se vilka delar av en kommun där grundvattentillgången är mer begränsad och jämföra det med befintligt fastighetsbestånd eller planerad utbyggnad. Med en stor hänsyn tagit till osäkerheterna och att den presenterade grundvattentillgången inte kan garanteras kan resultaten också användas för att bedöma tillgång för en specifik fastighet. För att illustrera hur data kan användas i praktiken har några områden (A–D) norr om Kungälv valts ut, se figur 14 (skala 1:150 000). Vid A finns ett större område där



Figur 14. Beräknad grundvattentillgång för några exempel (A–D) norr om Kungälv.

grundvattentillgången är beräknad till 1 500–3 000 l/dygn/ha. För en eller ett antal fastigheter mitt i detta område är det rimligt att anta att grundvattentillgången kan vara inom just i detta intervall. Även vid B är den beräknade grundvattentillgången relativt jämn men i ett lägre intervall (500–1 000 l/dygn/ha) än vid A. Där bör det också vara rimligt att utgå från den beräknade grundvattentillgången vid en riskbedömning eller planering. Vid område C och D är den beräknade grundvattentillgången däremot mycket mer varierade. Mitt i område C finns en pixel (100 × 100 m) där grundvattentillgången enligt beräkningen skulle vara 2 000–3 000 l/dygn/ha men i övrigt är den mindre än 250 eller 500 l/dygn/ha i närheten. Även om en fastighet eller brunn skulle befinna sig inne i denna pixel är det högst olämpligt att räkna med den höga grundvattentillgången eftersom området i övrigt domineras av en mycket lägre grundvattentillgång och SGUs underlagsdata stöder inte den skalan att pixlar kan betraktas enskilt. I detta fall kan det därför vara mycket svårt att använda underlaget för en specifik fastighet om man inte använder det lägre intervallet i området. Det samma gäller vid D där den beräknade grundvattentillgången är högst varierande. I detta område kan man inte förutsätta att det är en god grundvattentillgång eftersom det finns områden där den är mindre än 500 l/dygn/ha.

Eftersom den beräknade grundvattentillgången inte på något sätt är garanterad kan det krävas ytterligare hydrogeologiska utredningar för att vara tillräckligt säkra på att vattnet täcker behoven. SGU kan inte ge några tydliga, generella kriterier för när ytterligare utredningar krävs för till exempel en riskbedömning eller planerad utbyggnad. Men det går att lyfta fram några aspekter som kan vägas in i beslut om ytterligare utredning:

- Är den beräknade grundvattentillgången på gränsen eller finns den marginal i jämförelse med behovet?

- Hur välunderbyggt är underlaget för beräkningen?
- Vad blir konsekvensen, och hur många berör det, om den faktiska grundvattentillgången inte är lika stor som den beräknade?

Det är inte enkelt att svara på hur väl underbyggt underlaget är för beräkningarna. Men några av de underlag som spelar stor roll för slutresultatet är jordart, jorddjup och hydraulisk konduktivitet i berg. Via SGUs kartvisare för dessa underlag kan man till exempel se i vilken skala jordartskartan är framtagen och hur många observationspunkter det finns i närområdet för jorddjupsmodellen och hydrauliska konduktivitet i berg. Är jordartskartan framtagen i 1:25 000–1:100 000 och det finns många jorddjupobservationer och brunnar i området? Eller är jordartskartan i skala 1:750 000 eller till och med 1:1 000 000? Eller saknas det brunnar i närområdet? Även jordlagerföljd och grundvattennivå kan spela stor roll för slutresultatet men för dessa har SGU inga kartvisare.

SGU ger i denna rapport inte heller någon handledning för hur en hydrogeologisk utredning ska göras eller vad den ska innehålla. I slutändan handlar det även här om hur många som berörs av resultatet, vad konsekvenserna kan bli av ett missvisande resultat samt vad som är syftet med utredningen. Berör frågeställningen till exempel om en enskild fastighet som ligger långt från andra berörda, en stor mängd fastigheter eller en översiktsplanering för en kommun eller region? Nödvändiga kompletterande undersökningar kan, beroende behov, därför handla om allt från ett platsbesök, provpumpning till storskalig vattenbalansmodellering.

REFERENSER

- Beretta, G. P. & Stevenazzi, S., 2018: Specific yield of aquifer evaluation by mean of a new experimental algorithm and its applications. *Italian Journal of Groundwater*, AS24 – 317, 39–46.
- Freeze, R.A. & Cherry, J.A., 1979: *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, NJ. 604 p.
- Hjerne, C., Öhman, J., Thunholm, B., Jirner, E. & Nisell, J., 2019. Bedömning av grundvattentillgång för enskild vattenförsörjning i Uppsala län. *SGU-rapport 2019:09*, Sveriges geologiska undersökning.
- Hjerne, C., Thorsbrink, M., Thunholm, B., Andersson, J. & Dahlqvist, P., 2021: Hydraulisk konduktivitet i Sveriges berggrund. *SGU-rapport 2021:09*, Sveriges geologiska undersökning.
- Johnson, A.I., 1967: Specific yield — compilation of specific yields for various materials. *U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1662-D*, 74 p
- Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J. & Pers, C., 2006: Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. Rapport serie A, nr 66, Institutionen för geovetenskaper, luft- och vattenlära, Uppsala universitet.
- Rodhe, A., Lindström, G. & Dahné, J., 2008: Grundvattenbildning i svenska typjordar – metodutveckling av en vattenbalansmodell. Rapport till SGU, SGUs diarienummer 60-1461/2006. Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- Rodhe, A., Lindström, G. & Dahné, J., 2009: Grundvattennivåer i ett förändrat klimat. Slutrapport från SGU-projektet ”Grundvattenbildning i ett förändrat klimat”, SGUs diarienummer 60-1642/2007. Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- SGU, 1999a. Gotlands kommun. Förenklad modell för kvantifiering av grundvattentillgångar. SGU Dnr 08-1104/1999 (publicerat material).

- SGU, 1999b. Översiktlig bedömning av grundvattentillgångar inom Östhammars kommun. SGU Dnr 08-279/1999 (opublicerat material).
- SGU, 1999c. Översiktlig bedömning av grundvattentillgångar inom Norrtälje kommun. SGU Dnr 08-1420/1999 (opublicerat material).
- SGU, 2000. Värmdö kommun. Bedömning av grundvattentillgångar. SGU Dnr 08-1040/2000 (opublicerat material).
- SGU, 2006. Grundvattentillgångar i Tierps kommun. SGU Dnr 08-132/2006 (opublicerat material).
- SGU, 2013. Bedömningsgrunder för grundvatten. *SGU-rapport 2013:01*, Sveriges geologiska undersökning.
- SGU, 2015. Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier. *SGU-rapport 2015:19*, Sveriges geologiska undersökning.
- SGU, 2017: Rapportering av regeringsuppdrag: Grundvattenbildning och grundvattentillgång i Sverige. *RR 2017:09*, Sveriges geologiska undersökning, SGU Dnr 21-2925/2016.
- SGU, 2020a: Jordarter 1:25 000–1:100 000 – databas, Sverige, 2020-10-06.
- SGU, 2020b: Jordarter 1:200 000 – databas, Sverige, 2020-10-06.
- SGU, 2020c: Jordarter 1:250 000 – databas, Sverige, 2020-10-04.
- SGU, 2020d: Jordarter 1:750 000 – databas, Sverige, 2020-10-04.
- SGU, 2020e: Jordarter 1:1 000 000 – databas, Sverige, 2020-10-16.
- SGU, 2020f: Jorrdjupsmodell – databas, Sverige, 2020-10-06.
- SGU, 2020g: Hydraulisk konduktivitet i berg – databas, Sverige, 2020-10-08.
- Terzaghi, K., Peck, R. & Mestri, G., 1996: *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Wiley, New York.

BILAGA A. GRUPPERING AV JORDARTER

Tabell A-1. Gruppering av jordartsbeskrivningar enligt SGUs jordartskartor för vattenavgivningstal, grundvattennivå, grundvattenbildning och underliggande djuplager.

Jordartskarta		Gruppering			
Kod	Beskrivning	Vattenavgivningstal	Grundvattennivå	Grundvattenbildning	Djuplager
2	Torv; blandmyr	Torv	Sankmark/kärr	Morän	Torv
3	Torv; fattigkärr	Torv	Sankmark/kärr	Morän	Torv
5	Torv; kärr	Torv	Sankmark/kärr	Morän	Torv
8175	Torv; tidvis under vatten	Torv	Sankmark/kärr	Morän	Torv
75	Torv	Torv	Torv	Morän	Torv
1	Torv; mosse	Torv	Mossetorv	Morän	Mossetorv
6	Gyttja	Gyttja	Gyttja	Fin	Gyttja
2306	Bleke och kalkgyttja	Gyttja	Gyttja	Fin	Gyttja
1950	Kalktuff	Gyttja	Gyttja	Fin	Gyttja
85	Lera	Lera	Lera	Fin	Lera/silt ospec.
43	Glacial finlera	Lera	Lera	Fin	Glacial lera/silt
44	Glacial grovlera	Lera	Lera	Fin	Glacial lera/silt
40	Glacial lera	Lera	Lera	Fin	Glacial lera/silt
9040	Glacial mellanlera	Lera	Lera	Fin	Glacial lera/silt
9206	Glacial styv lera	Lera	Lera	Fin	Glacial lera/silt
46	Glacial varvig silt med lerskikt	Lera	Lera	Fin	Glacial lera/silt
16	Lergyttja—gyttjelera	Lera	Lera	Fin	Postglacial lera/silt
19	Postglacial finlera	Lera	Lera	Fin	Postglacial lera/silt
22	Postglacial grovlera	Lera	Lera	Fin	Postglacial lera/silt
17	Postglacial lera, ospecificerad	Lera	Lera	Fin	Postglacial lera/silt
8186	Lera—silt; tidvis under vatten	Lera-silt	Sankmark/kärr	Fin	Lera/silt ospec.
8119	Postglacial finlera; tidvis under vatten	Lera-silt	Sankmark/kärr	Fin	Postglacial lera/silt
86	Lera—silt	Lera-silt	Lera-silt	Fin	Lera/silt ospec.
2372	Gravitationsjord, ospecificerad	Lera-silt	Lera-silt	Fin	Postglacial lera/silt
8919	Vitringsjord, ler—silt	Lera-silt	Lera-silt	Fin	Vitringsjord
9	Svåmsediment, ler—silt (postglacialt, yngre)	Lera-silt	Svåmsediment	Fin	Svåmsediment
8806	Älvsediment, ler—silt	Lera-silt	Älvsediment	Fin	Älvsediment
8933	Älvsediment, ler—silt (postglacialt, äldre)	Lera-silt	Älvsediment	Fin	Älvsediment
39	Silt	Silt	Silt	Fin	Lera/silt ospec.
47	Glacial finsilt—mellansilt	Silt	Silt	Fin	Glacial lera/silt
49	Glacial grovsilt	Silt	Silt	Fin	Glacial lera/silt
48	Glacial silt	Silt	Silt	Fin	Glacial lera/silt
9039	Grovsilt	Silt	Silt	Fin	Lera/silt ospec.
23	Postglacial finsilt—mellansilt	Silt	Silt	Fin	Postglacial lera/silt
25	Postglacial grovsilt	Silt	Silt	Fin	Postglacial lera/silt
8301	Postglacial grovsilt med skikt av organiskt material	Silt	Silt	Fin	Postglacial lera/silt
20	Postglacial lerig grovsilt	Silt	Silt	Fin	Postglacial lera/silt
24	Postglacial silt	Silt	Silt	Fin	Postglacial lera/silt
2368	Slamströmssediment, ler—block	Silt	Silt	Fin	Svåmsediment
9007	Svåmsediment, silt (postglacialt, yngre)	Silt	Svåmsediment	Fin	Svåmsediment
8804	Älvsediment, ler—block	Silt	Älvsediment	Fin	Älvsediment
8805	Älvsediment, ler—grus	Silt	Älvsediment	Fin	Älvsediment
8810	Älvsediment, silt	Silt	Älvsediment	Fin	Älvsediment
9008	Älvsediment, silt (postglacialt, äldre)	Silt	Älvsediment	Fin	Älvsediment
12	Älvsediment, silt—block	Silt	Älvsediment	Fin	Älvsediment
9060	Glacial grovsilt—finsand	Silt-sand	Isälvssediment	Fin	Isälvssediment

Jordartskarta		Gruppering			
Kod	Beskrivning	Vattenavgivningstal	Grundvattennivå	Grundvattenbildning	Djuplager
8970	Glacialt sediment, silt—sand	Silt-sand	Isälvssediment	Fin	Isälvssediment
9049	Isälvssediment, grovsilt—finsand	Silt-sand	Isälvssediment	Fin	Isälvssediment
78	Grovsilt—finsand	Silt-sand	Postglacial sand	Fin	Postglacial sand
9203	Lerig grovsilt—finsand	Silt-sand	Postglacial sand	Fin	Postglacial sand
79	Postglacial Grovsilt—finsand	Silt-sand	Postglacial sand	Fin	Postglacial sand
9010	Svämsediment, grovsilt—finsand (postglacialt, yngre)	Silt-sand	Svämsediment	Fin	Svämsediment
8817	Svämsediment, silt—sand (postglacialt, yngre)	Silt-sand	Svämsediment	Fin	Svämsediment
9130	Flygfinsand	Sand, grus, grövre	Flygsand	Grov	Flygsand
9013	Flyggrovsilt—finsand	Sand, grus, grövre	Flygsand	Grov	Flygsand
13	Flygsand	Sand, grus, grövre	Flygsand	Grov	Flygsand
9001	Flygsilt—sand	Sand, grus, grövre	Flygsand	Grov	Flygsand
42	Glacial finsand	Sand, grus, grövre	Isälvssediment	Grov	Isälvssediment
9074	Glacial sand	Sand, grus, grövre	Isälvssediment	Grov	Isälvssediment
54	Isälvssediment, finsand	Sand, grus, grövre	Isälvssediment	Grov	Isälvssediment
50	Isälvssediment, grovsilt—block	Sand, grus, grövre	Isälvssediment	Grov	Isälvssediment
57	Isälvssediment, grus	Sand, grus, grövre	Isälvssediment	Grov	Isälvssediment
8956	Isälvssediment, lerig mellansand—grovsand	Sand, grus, grövre	Isälvssediment	Grov	Isälvssediment
8957	Isälvssediment, lerigt grus	Sand, grus, grövre	Isälvssediment	Grov	Isälvssediment
56	Isälvssediment, mellansand—grovsand	Sand, grus, grövre	Isälvssediment	Grov	Isälvssediment
55	Isälvssediment, sand	Sand, grus, grövre	Isälvssediment	Grov	Isälvssediment
51	Isälvssediment, sten—block	Sand, grus, grövre	Isälvssediment	Grov	Isälvssediment
8800	Älvsediment, finsand	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
8802	Älvsediment, grovsilt—finsand	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
9011	Älvsediment, grovsilt—finsand (postglacialt, äldre)	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
8803	Älvsediment, grus	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
11	Älvsediment, grus (postglacialt, äldre)	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
8808	Älvsediment, mellansand—grovsand	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
9009	Älvsediment, mellansand—grovsand (postglacialt, äldre)	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
8809	Älvsediment, sand	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
88	Älvsediment, sand (postglacialt, äldre)	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
8823	Älvsediment, sand—block	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
8814	Älvsediment, sten—block	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
8	Älvsediment, sten—block (postglacialt, äldre)	Sand, grus, grövre	Älvsediment	Grov	Älvsediment
9012	Svämsediment, finsand (postglacialt, yngre)	Sand, grus, grövre	Svämsediment	Grov	Svämsediment
62	Svämsediment, grus (postglacialt, yngre)	Sand, grus, grövre	Svämsediment	Grov	Svämsediment
8937	Svämsediment, ler—block (postglacialt, yngre)	Sand, grus, grövre	Svämsediment	Grov	Svämsediment
7	Svämsediment, ler—grus (postglacialt, yngre)	Sand, grus, grövre	Svämsediment	Grov	Svämsediment
8816	Svämsediment, mellansand—grovsand (postglacialt, yngre)	Sand, grus, grövre	Svämsediment	Grov	Svämsediment
10	Svämsediment, sand (postglacialt, yngre)	Sand, grus, grövre	Svämsediment	Grov	Svämsediment
8824	Svämsediment, sand—block (postglacialt, yngre)	Sand, grus, grövre	Svämsediment	Grov	Svämsediment

Jordartskarta		Gruppering			
Kod	Beskrivning	Vattenavgivningstal	Grundvattennivå	Grundvattenbildning	Djuplager
8822	Svåmsediment, sten (postglacialt, yngre)	Sand, grus, grövre	Svåmsediment	Grov	Svåmsediment
26	Finsand	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
8903	Lerig mellansand—grovsand	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
8902	Mellansand—grovsand	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
28	Postglacial finsand	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
8300	Postglacial finsand med skikt av organiskt material	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
29	Postglacial mellansand—grovsand	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
31	Postglacial sand	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
21	Sand	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
87	Sand—grus	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
9028	Svallsediment, finsand	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
9029	Svallsediment, mellansand—grovsand	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
30	Svallsediment, sand	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
35	Svallsediment, sand—block	Sand, grus, grövre	Postglacial sand	Grov	Postglacial sand
84	Postglacial sand—grus	Sand, grus, grövre	Postglacial grus	Grov	Postglacial grus
32	Postglacialt grus	Sand, grus, grövre	Postglacial grus	Grov	Postglacial grus
33	Svallsediment, grus	Sand, grus, grövre	Postglacial grus	Grov	Postglacial grus
34	Svallsediment, sten—block (klapper)	Sand, grus, grövre	Postglacial grus	Grov	Postglacial grus
36	Skaljord	Sand, grus, grövre	Postglacial grus	Grov	Postglacial grus
8922	Vittringsjord, grus	Sand, grus, grövre	Sand, grus, grövre	Grov	Vittringsjord
8920	Vittringsjord, sand	Sand, grus, grövre	Sand, grus, grövre	Grov	Vittringsjord
8950	Vittringsjord, sand—grus	Sand, grus, grövre	Sand, grus, grövre	Grov	Vittringsjord
9960	Skålla, sandsten	Sand, grus, grövre	Sand, grus, grövre	Grov	Morän
9950	Skålla, sedimentär berggrund	Sand, grus, grövre	Sand, grus, grövre	Grov	Morän
66	Blockjord	Sand, grus, grövre	Sand, grus, grövre	Grov	Sten-block
92	Sten—block	Sand, grus, grövre	Sand, grus, grövre	Grov	Sten-block
81	Talus	Sand, grus, grövre	Sand, grus, grövre	Grov	Sten-block
9794	Lerig morän	Lerig morän	Lerig morän	Fin	Morän
9093	Morän, lerig grusig	Lerig morän	Lerig morän	Fin	Morän
94	Morän, lerig sandig	Lerig morän	Lerig morän	Fin	Morän
96	Morän, lerig sandig-siltig	Lerig morän	Lerig morän	Fin	Morän
99	Moränfinlera	Lerig morän	Lerig morän	Fin	Morän
98	Morängrovlera	Lerig morän	Lerig morän	Fin	Morän
101	Moränlera	Lerig morän	Lerig morän	Fin	Morän
9792	Moränlera och/eller morän, lerig	Lerig morän	Lerig morän	Fin	Morän
9795	Moränlera och/eller morän, lerig sandig	Lerig morän	Lerig morän	Fin	Morän
9798	Moränlera, styv	Lerig morän	Lerig morän	Fin	Morän
9797	Moränmellanlera	Lerig morän	Lerig morän	Fin	Morän
8114	Jord (oklassad) tidvis under vatten	Morän	Sankmark/kärr	Morän	Torv
100	Morän	Morän	Morän	Morän	Morän
93	Morän, grusig	Morän	Morän	Morän	Morän
9299	Morän, sand	Morän	Morän	Morän	Morän
95	Morän, sandig	Morän	Morän	Morän	Morän
97	Morän, sandig-siltig	Morän	Morän	Morän	Morän
9336	Morän, sten—block	Morän	Morän	Morän	Morän
9147	Omväxlande morän med glacialt sorterat sediment, silt—block	Morän	Morän	Morän	Morän
90	Okänt	Morän	Morän	Morän	Morän
9800	Morän och/eller vittringsjord, ler—block	Morän	Morän	Morän	Morän
82	Vittringsjord, ler—block	Morän	Morän	Morän	Vittringsjord

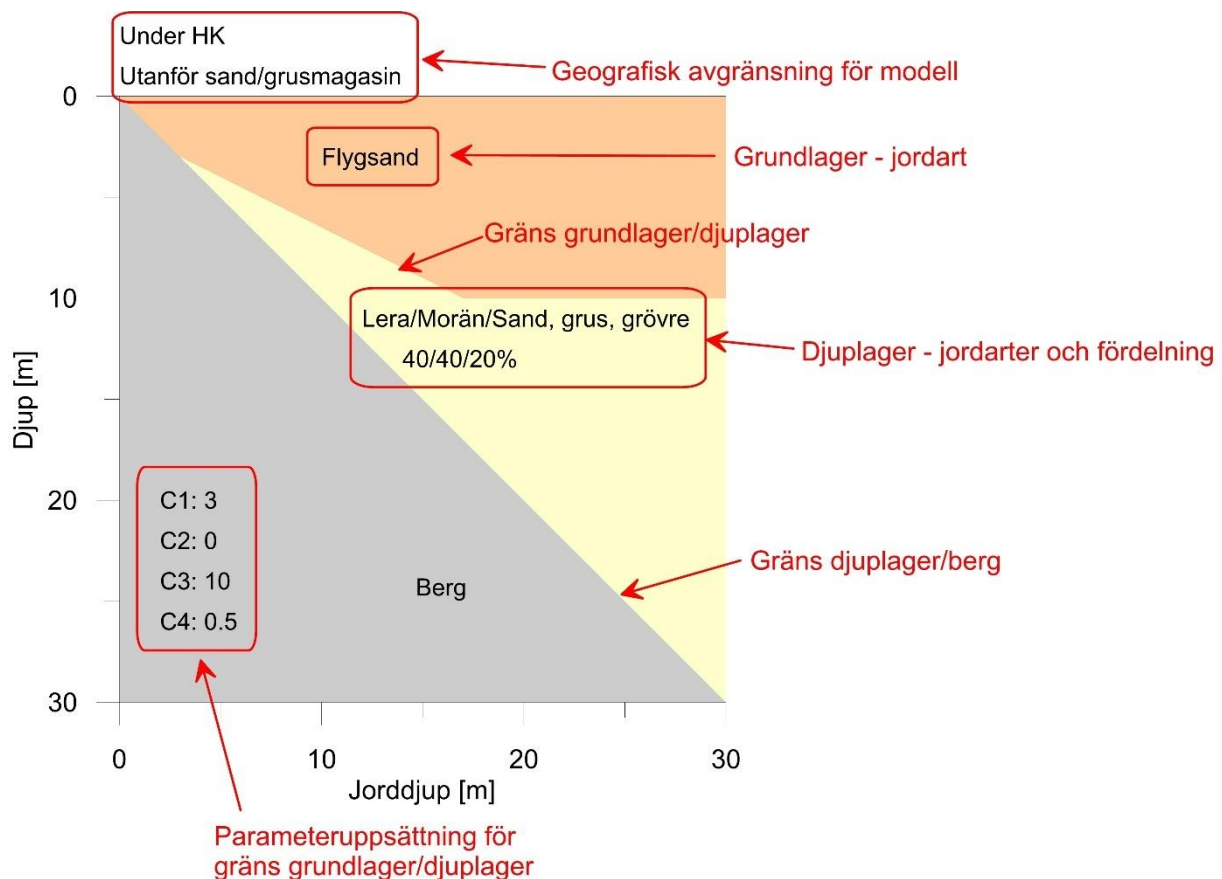
Jordartskarta		Gruppering			
Kod	Beskrivning	Vattenavgivningstal	Grundvattennivå	Grundvattenbildning	Djuplager
200	Fyllning	Fyllning	Fyllning	Morän	Fyllning
322	Fyllning, rödfyr	Fyllning	Fyllning	Morän	Fyllning
888	Berg	Berg	Berg	Berg	Berg
890	Urberg	Berg	Berg	Berg	Berg
849	Rösberg	Berg	Berg	Berg	Berg
823	Diabas	Berg	Berg	Berg	Berg
867	Kalksten	Berg	Berg	Berg	Berg
860	Sandsten	Berg	Berg	Berg	Berg
863	Sandsten, kambrium-silur	Berg	Berg	Berg	Berg
861	Sandsten, Visingsö	Berg	Berg	Berg	Berg
850	Sedimentär berggrund	Berg	Berg	Berg	Berg
865	Skiffer	Berg	Berg	Berg	Berg
9191	Is	-	-	-	-
91	Vatten	-	-	-	-

BILAGA B. JORDLAGERFÖLJDSMODELL

I följande figurer visas den jordlagerföljdsmodell som använts för beräkning av grundvattentillgång. Figurerna är grupperade baserat på grundlagret (se även tabell i bilaga A). I figur B-1 framgår hur informationen kopplat till varje modell visas i följande figurer. Gränsen mellan grundlagret och djuplagret avgörs av fyra villkor C1-C4:

- C1: Minsta mäktighet för grundlagret
- C2: Minsta mäktighet för djuplagret
- C3: Maximal mäktighet för grundlagret
- C4: kvot för grundlagret/djuplagret vid övergång (mellan C1 eller C2 och C4)

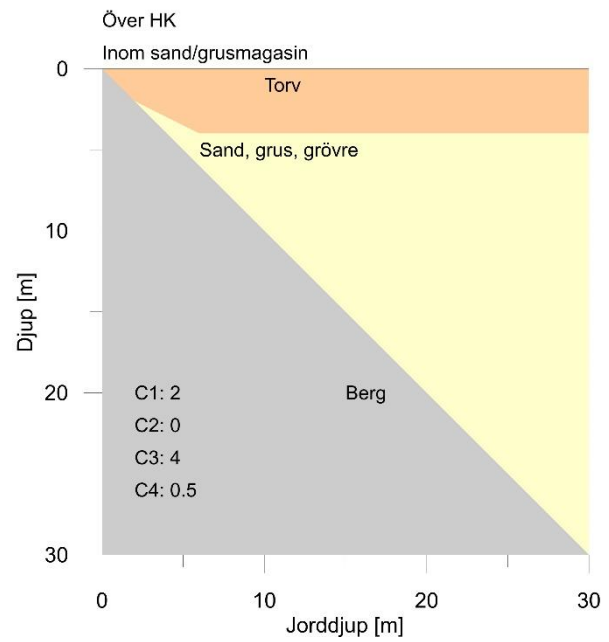
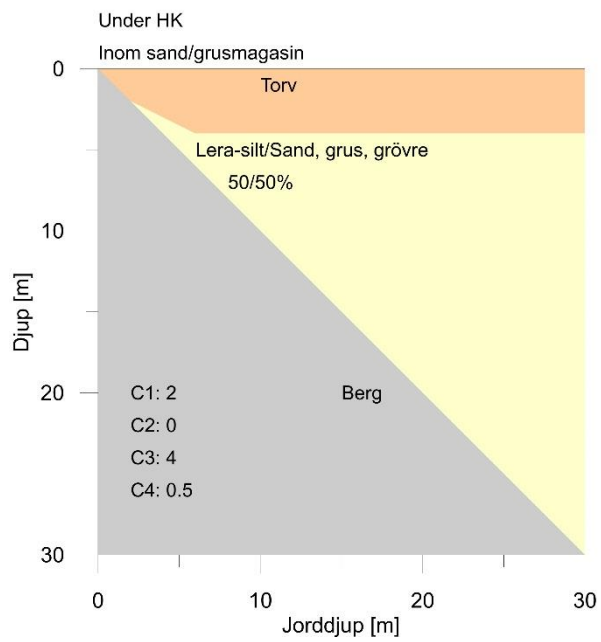
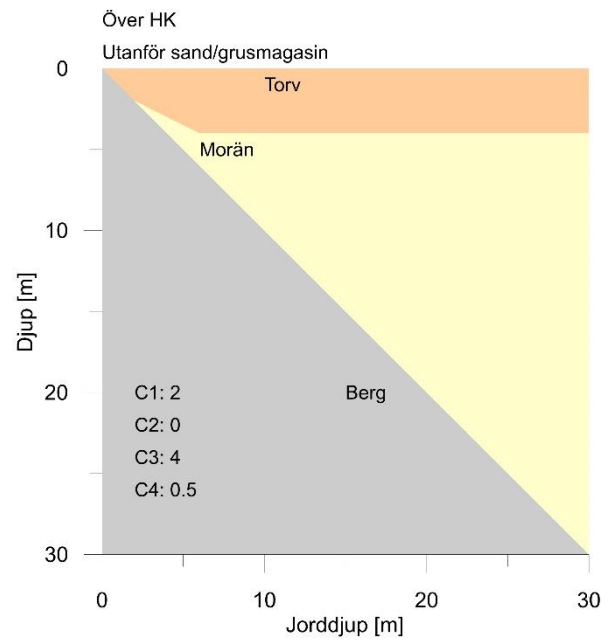
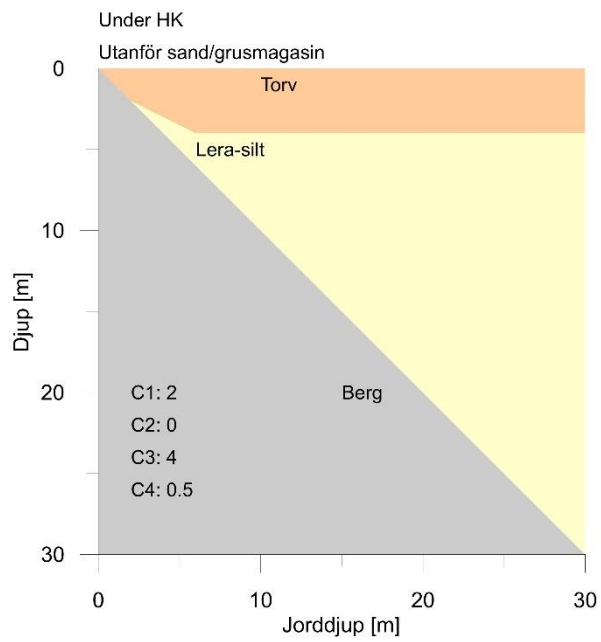
Modellen är gjord så att villkoret måste vara uppfyllda i ordning, det vill säga C1 måste vara uppfyllt före C, och så vidare. I figuren kan man läsa av gränsen för grundlager/djuplager genom att gå in på aktuellt jorddjup (x-axeln) och läsa av mot djup (y-axeln). I exemplet i figur B-1 är gränsen på 6,5 m för ett jorddjup på 10 m, det vill säga 6,5 m flygsand underlagrat av 3,5 m med en blandning av lera, morän och annan sand eller grus.



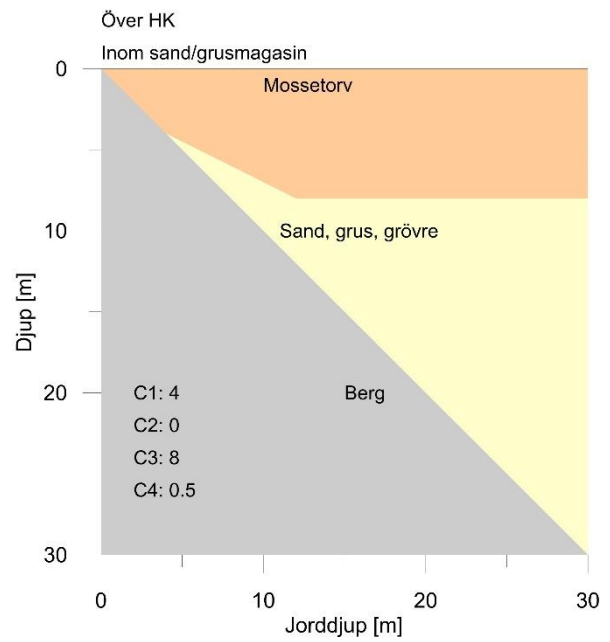
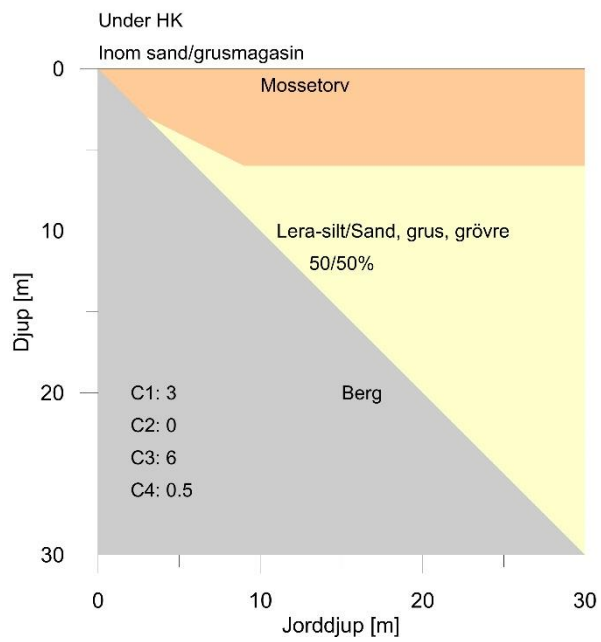
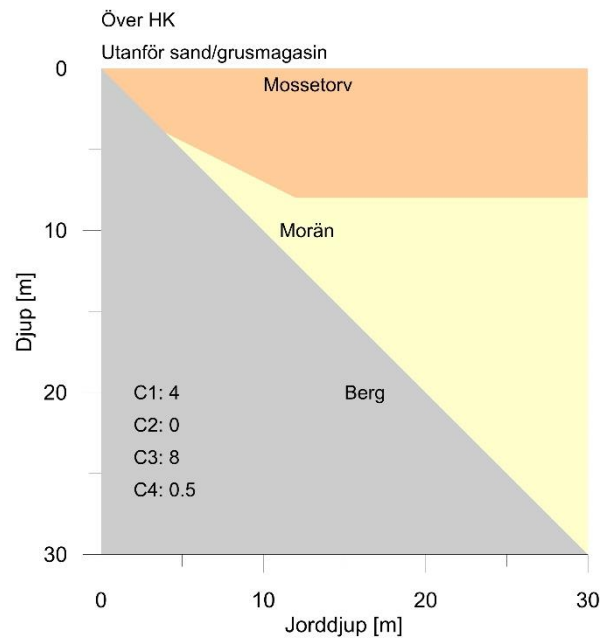
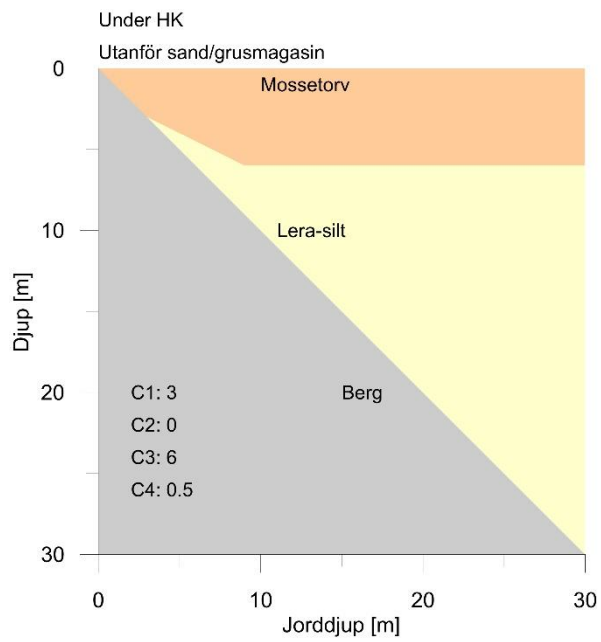
Figur B-1. Exempel på jordlagerföljdsmodell med förklaring av information.

För vittringsjord antas att det inte finns något djuplager mellan grundlager och berg. Antaget djuplager för övriga grupper redovisas i figurer nedan uppdelat på grundlager.

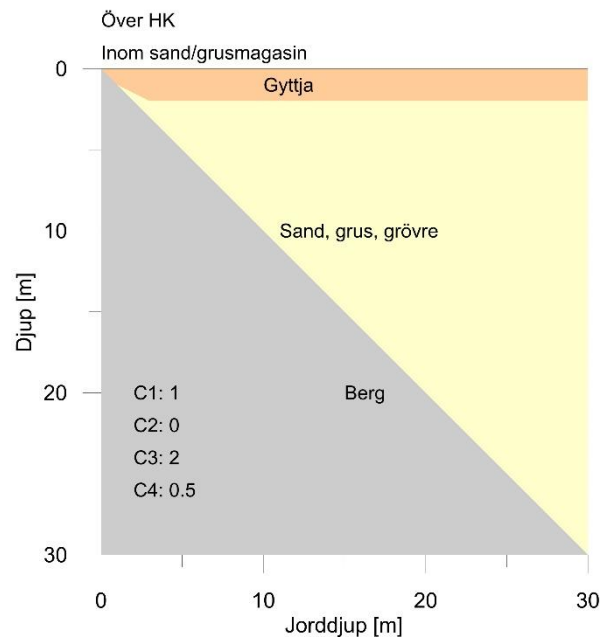
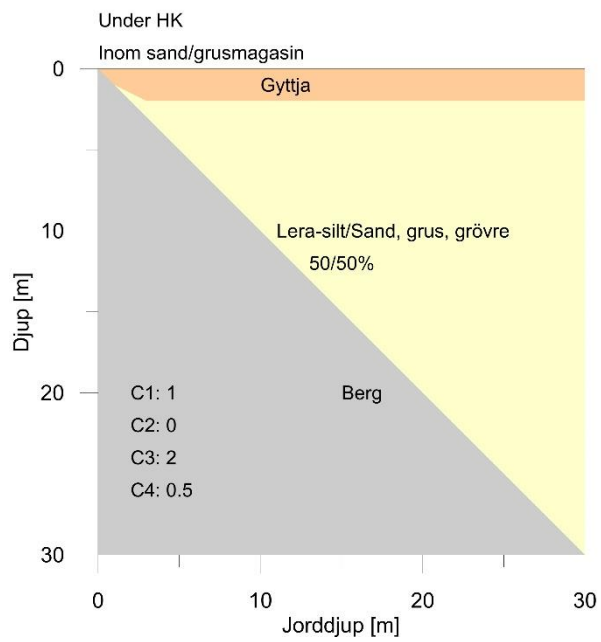
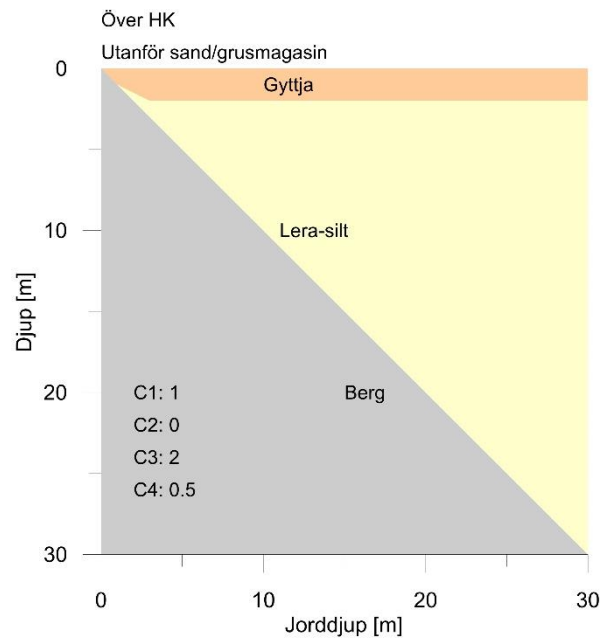
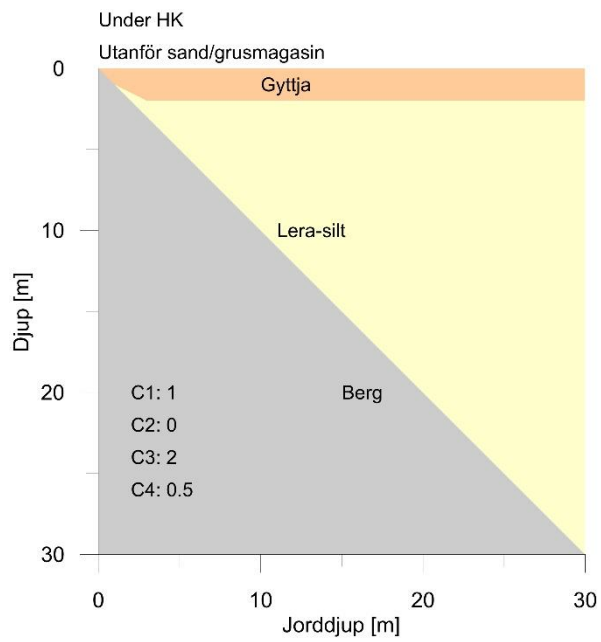
Grundlager: Torv



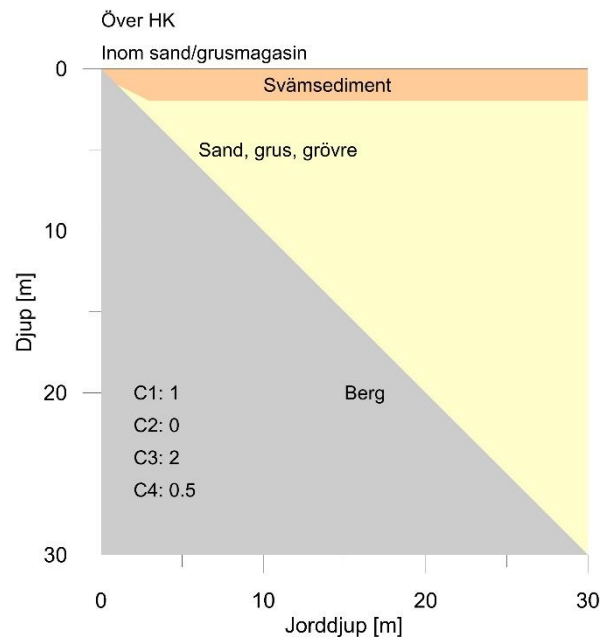
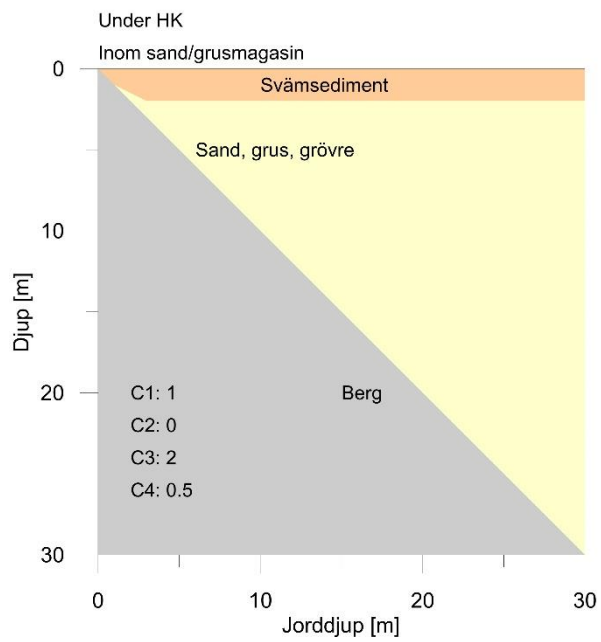
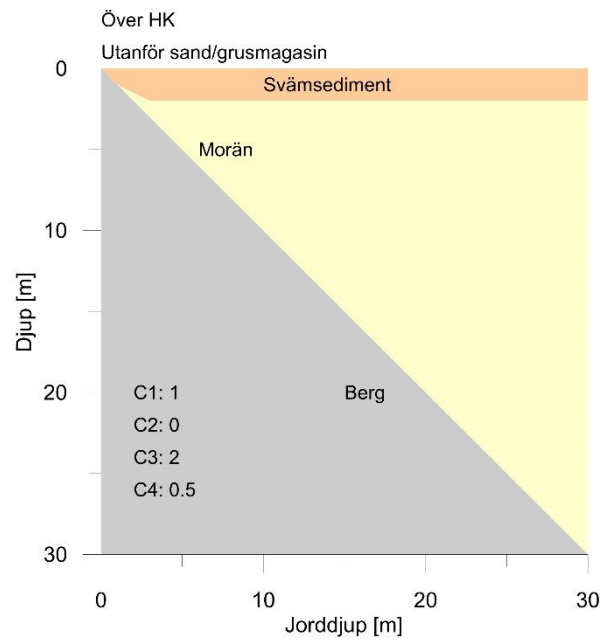
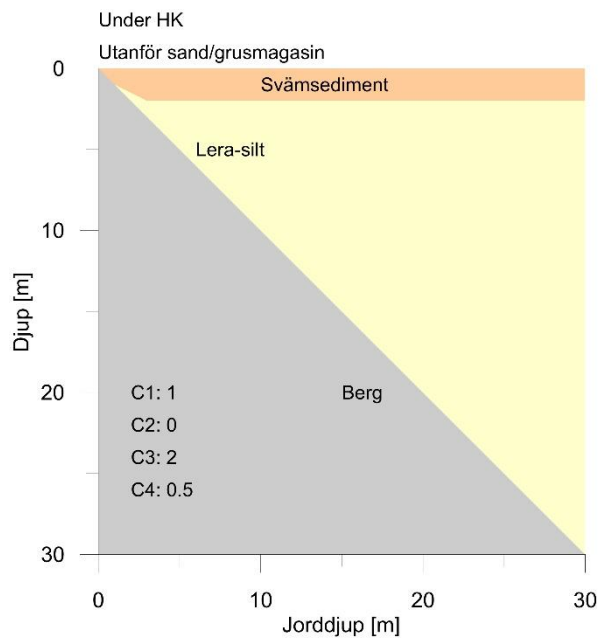
Grundlager: Mossetorv



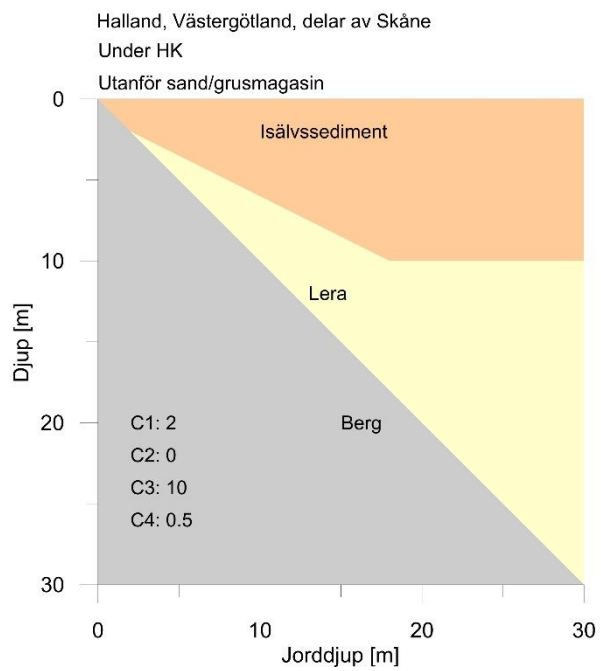
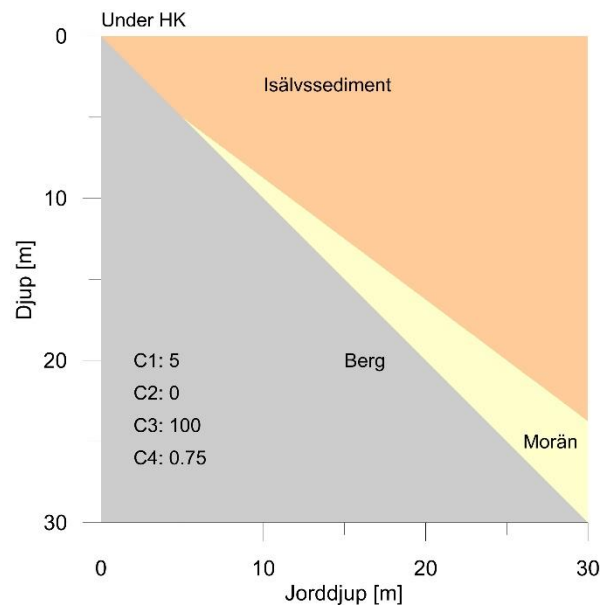
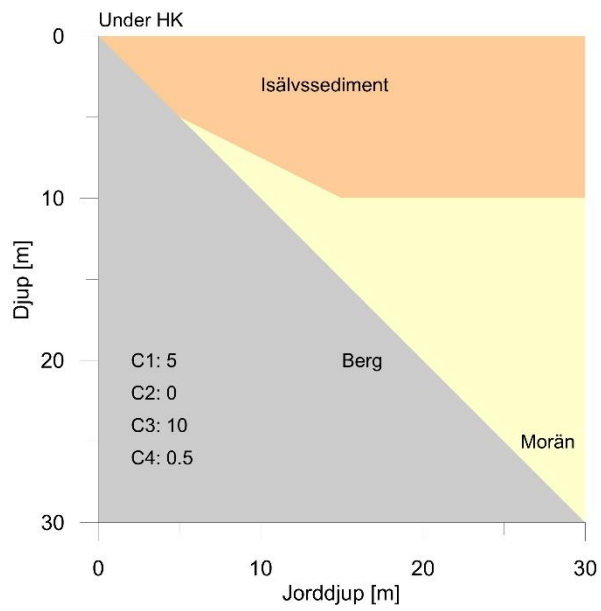
Grundlager: Gyttja



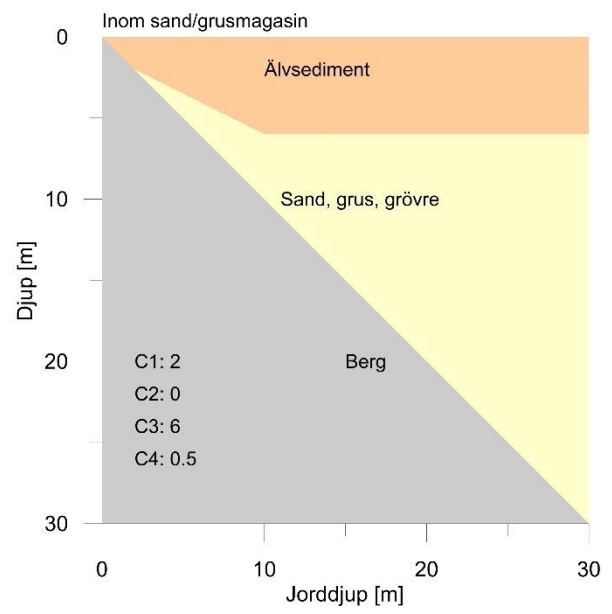
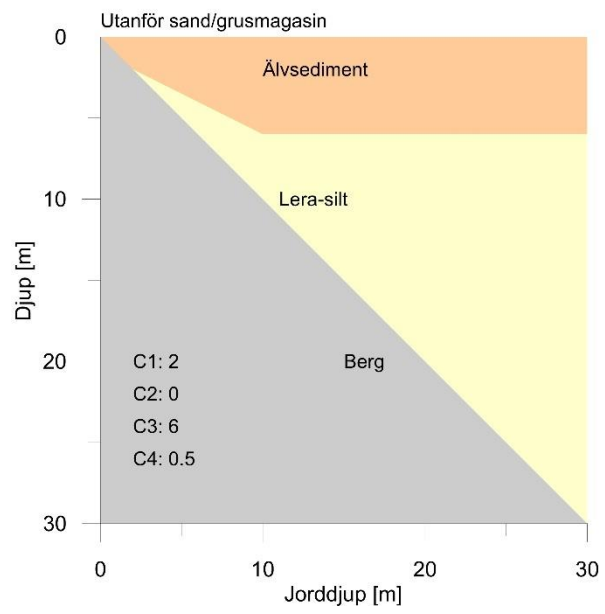
Grundlager: Svämsediment



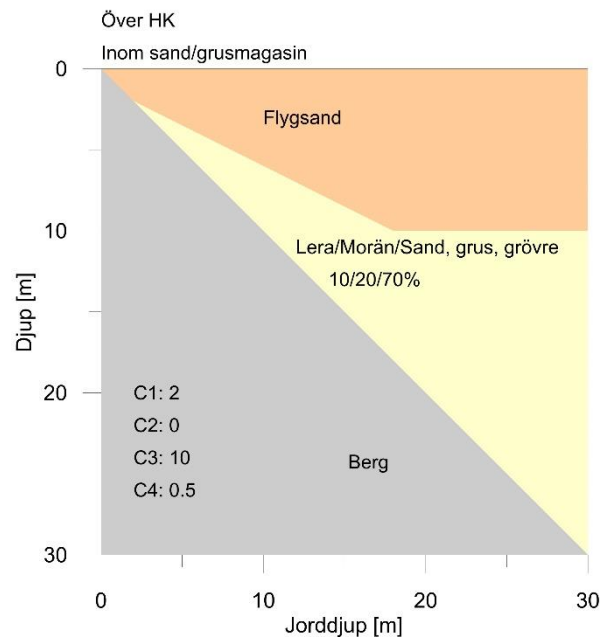
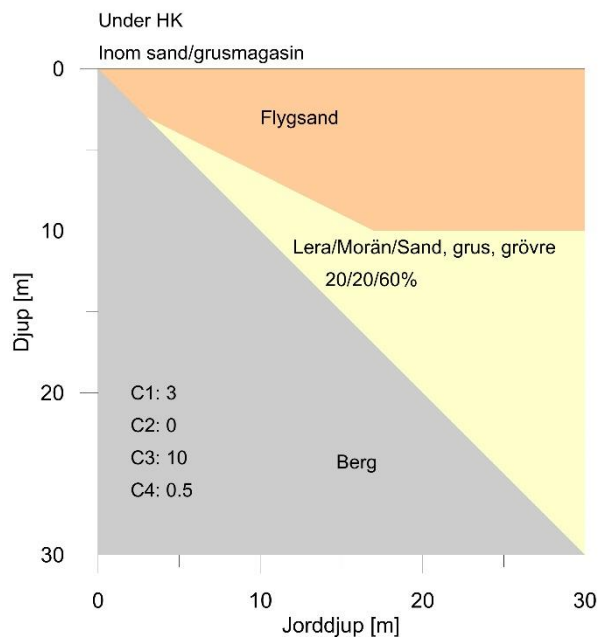
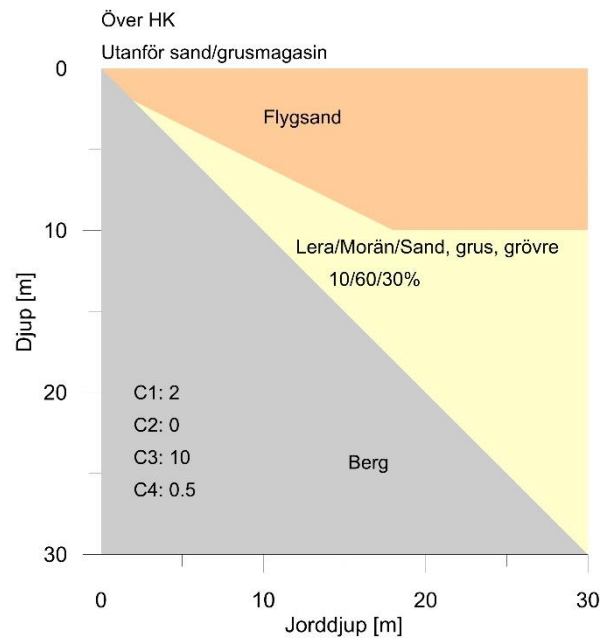
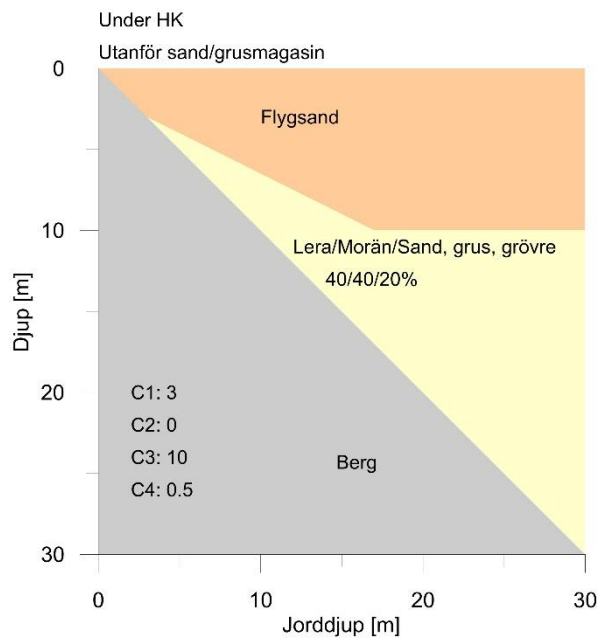
Grundlager: Isälvssediment



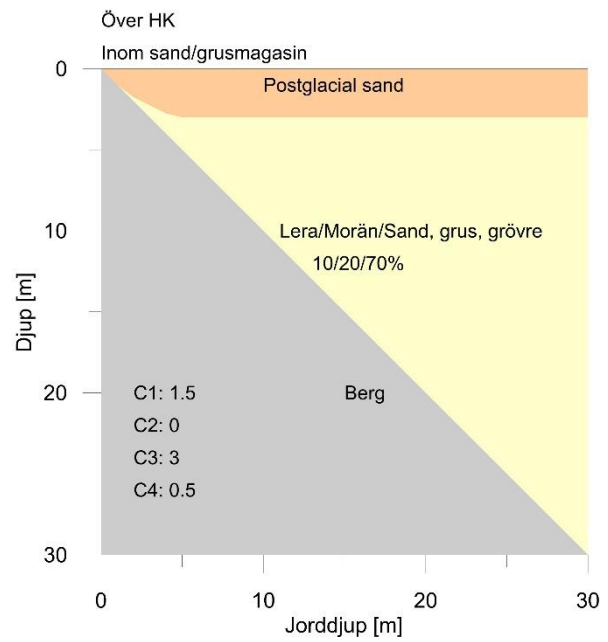
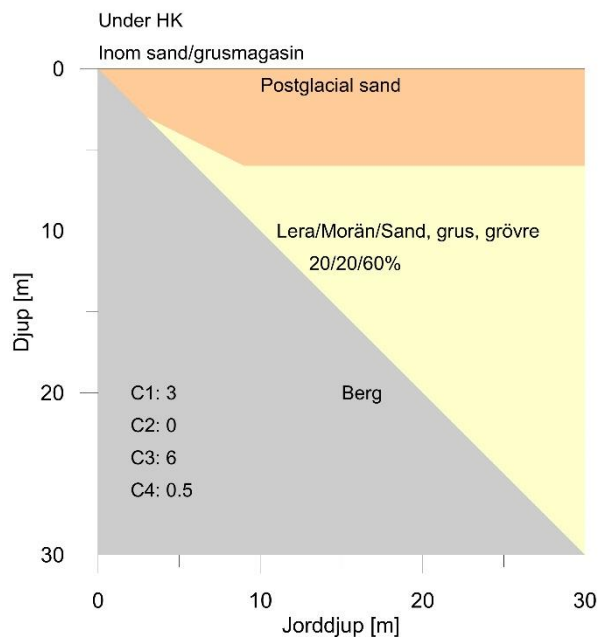
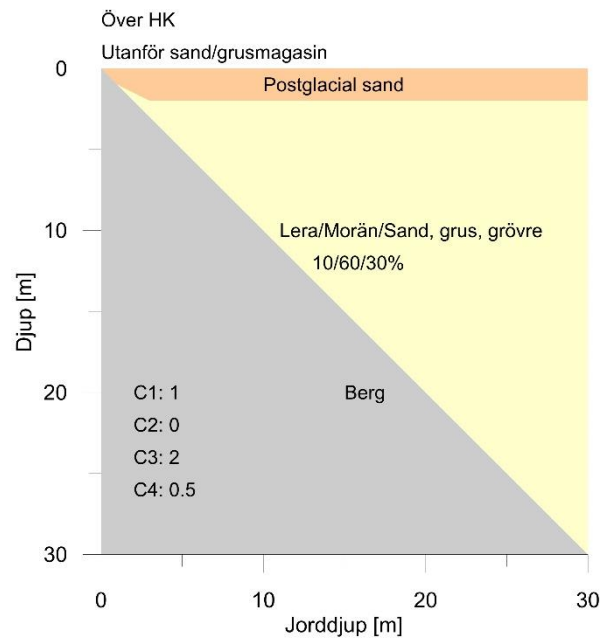
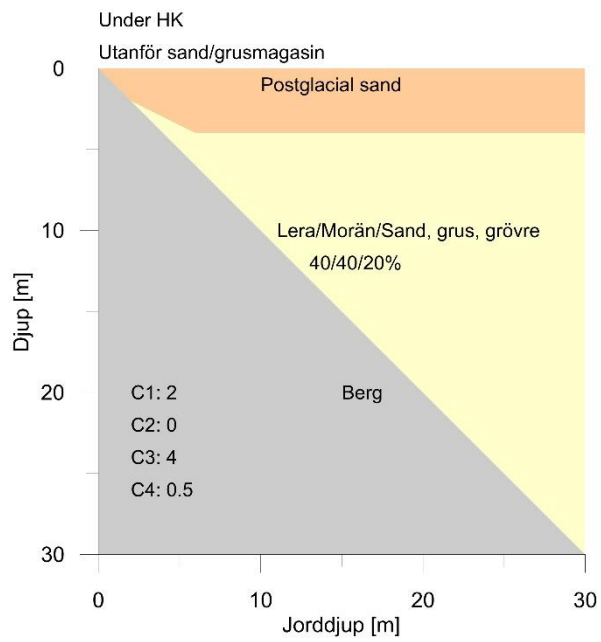
Grundlager: Älvsediment

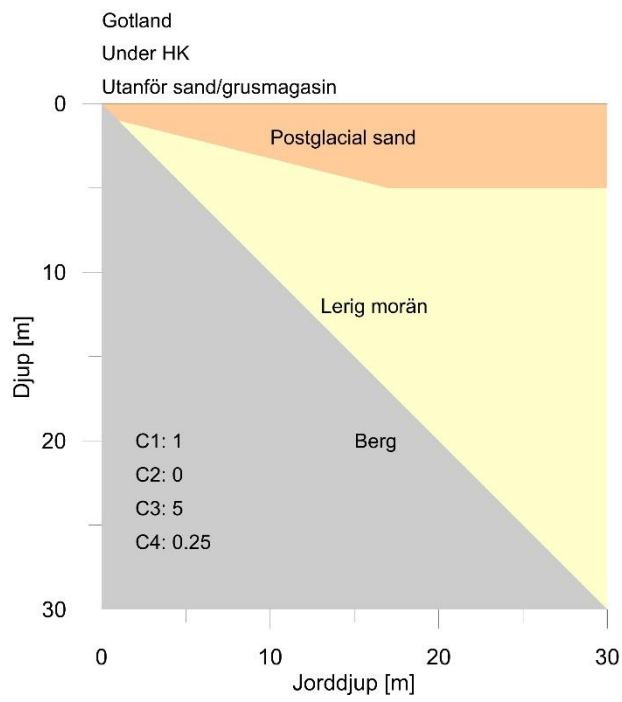


Grundlager: Flygsand

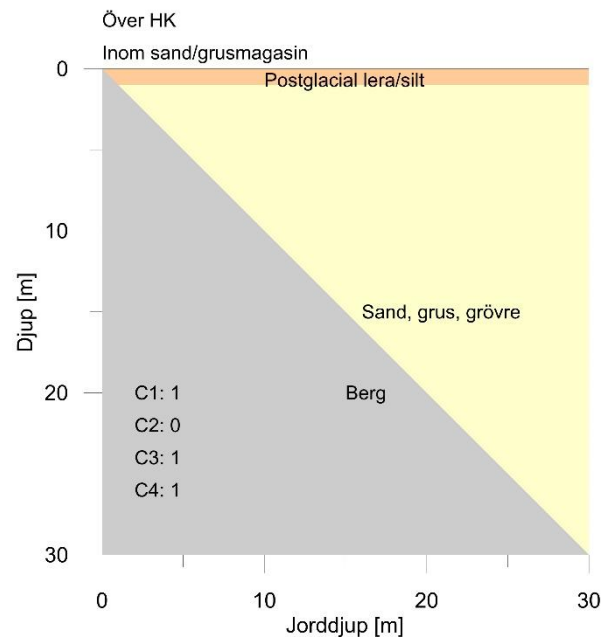
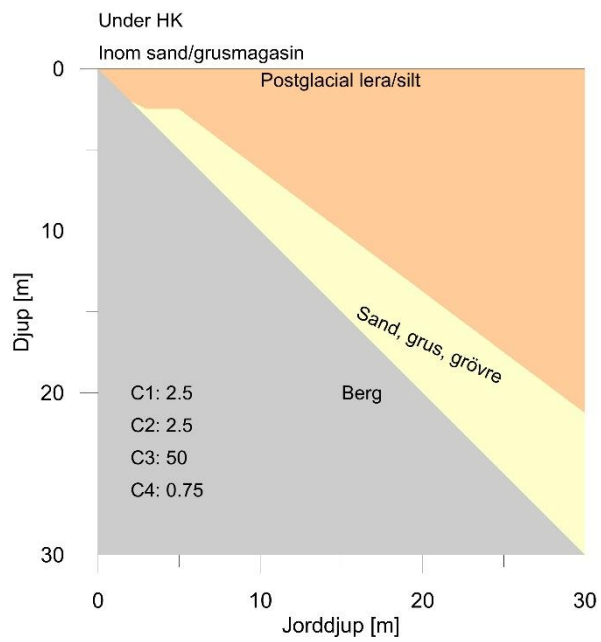
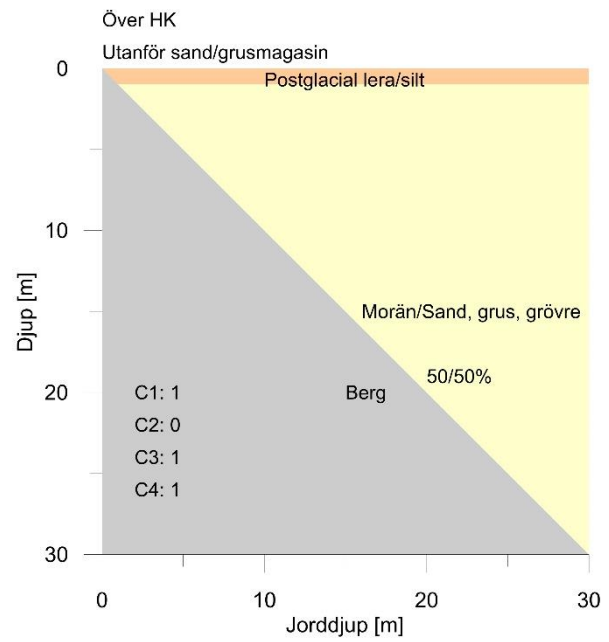
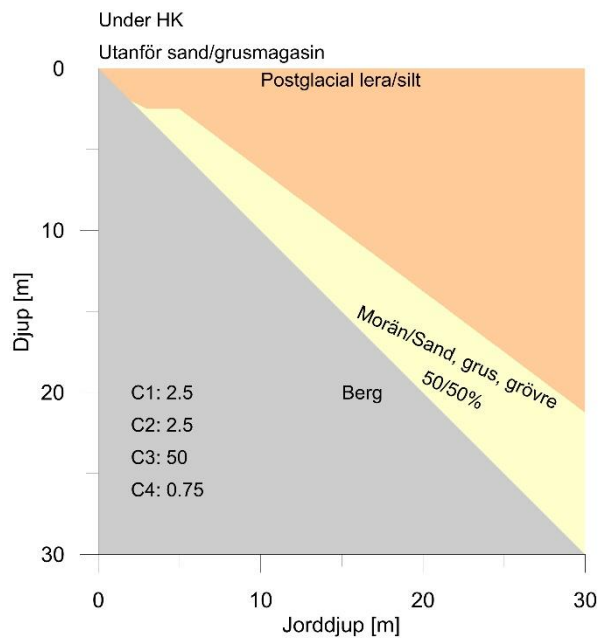


Grundlager: Postglacial sand

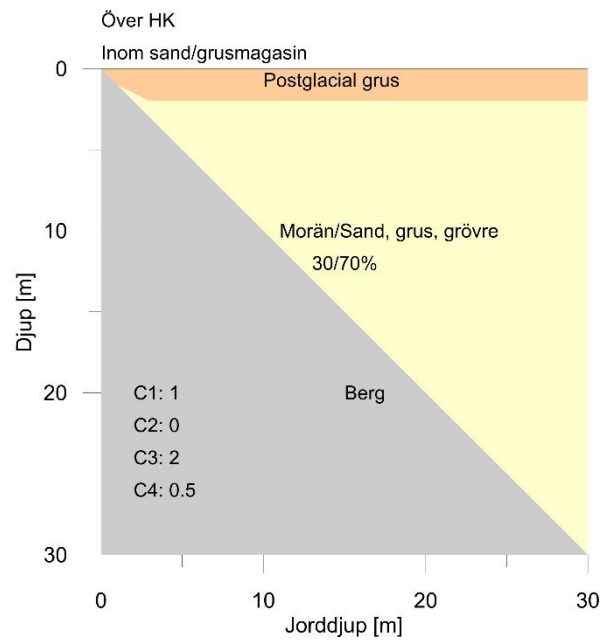
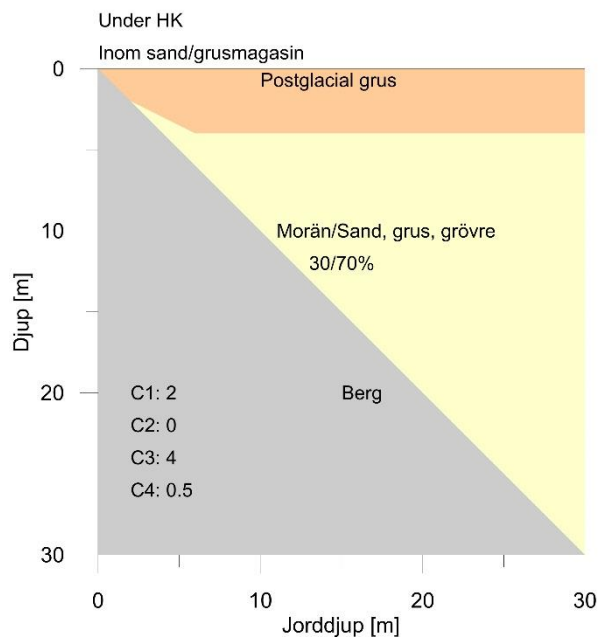
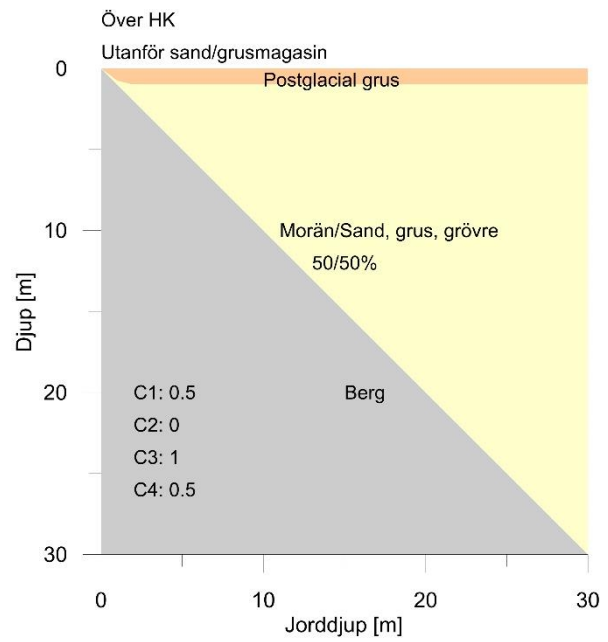
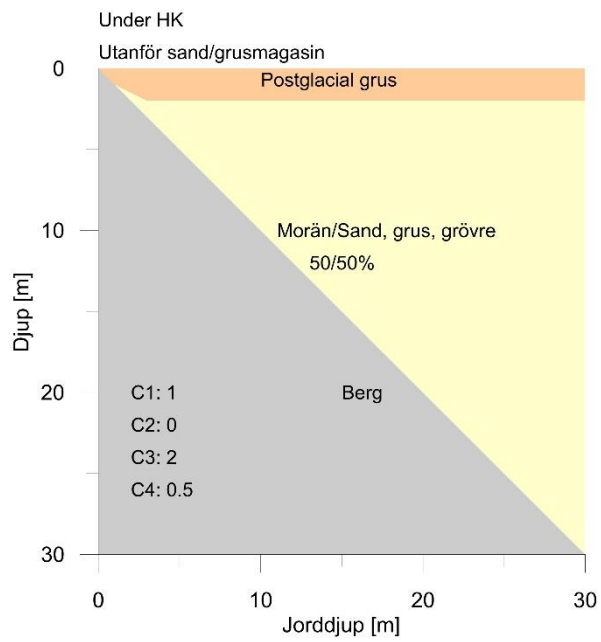




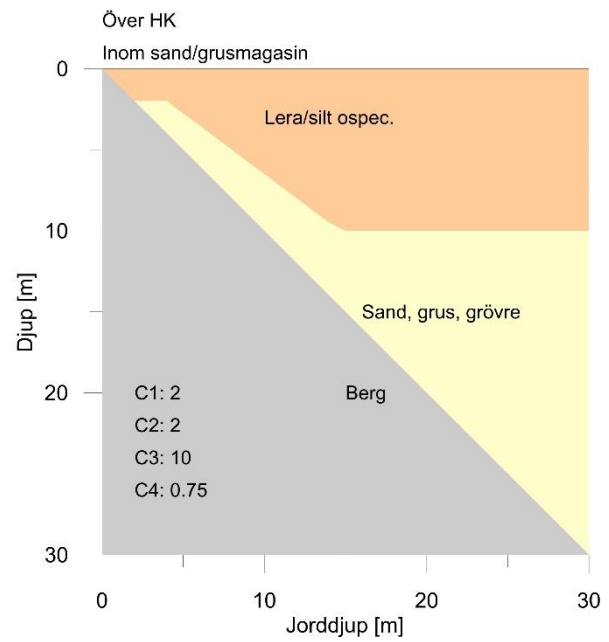
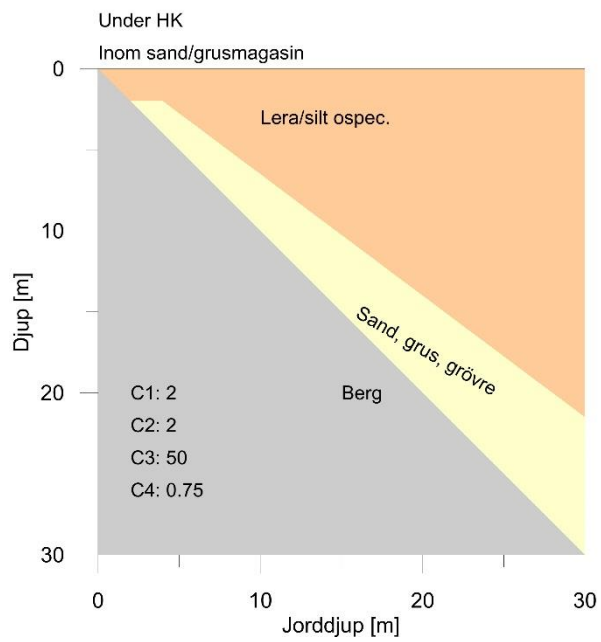
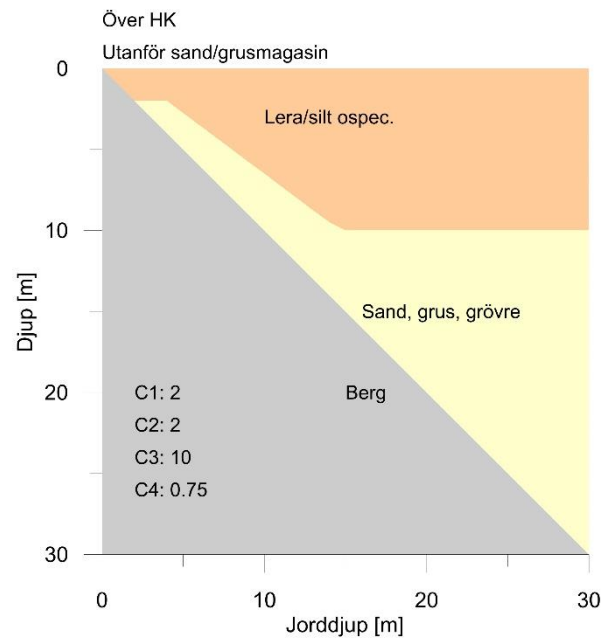
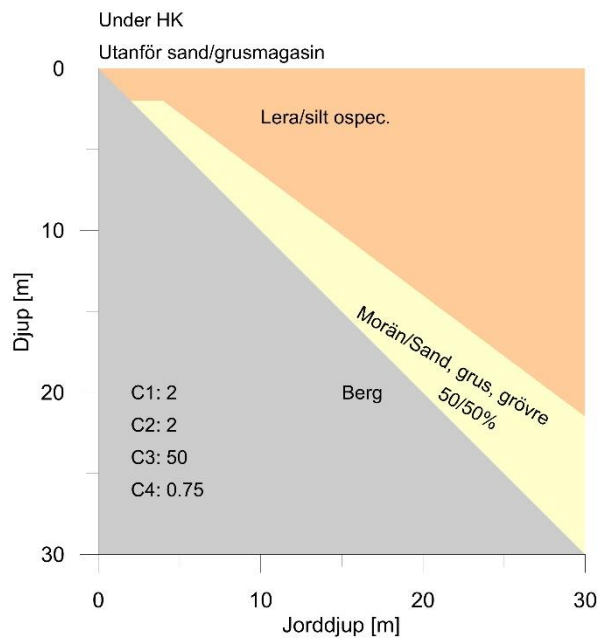
Grundlager: Postglacial lera/silt



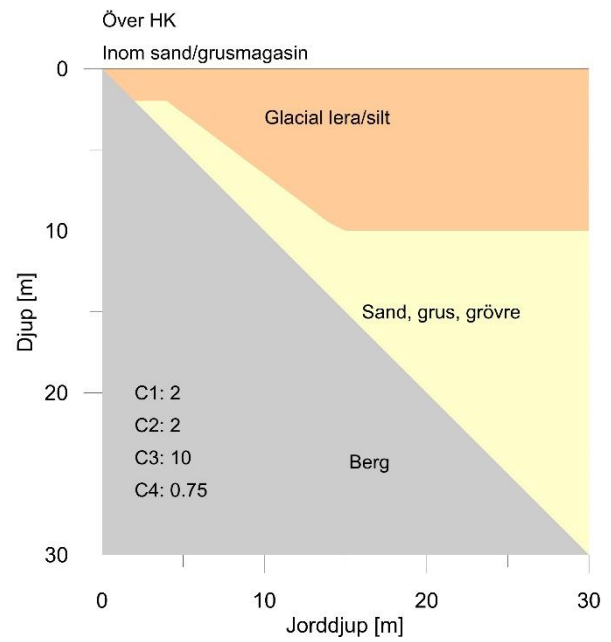
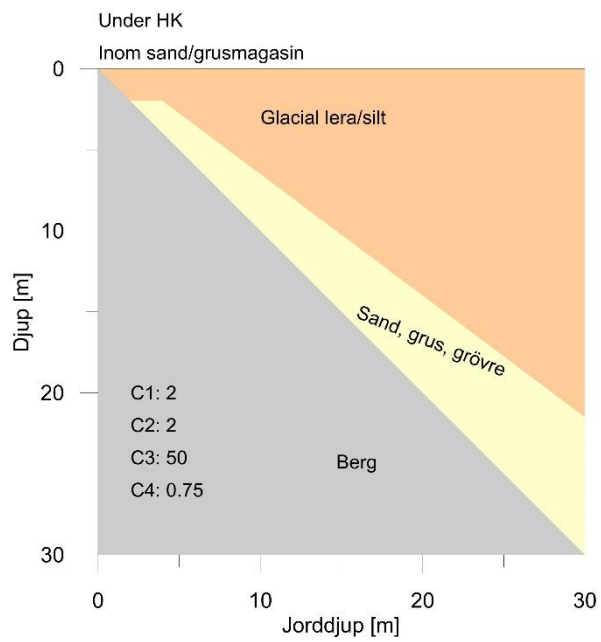
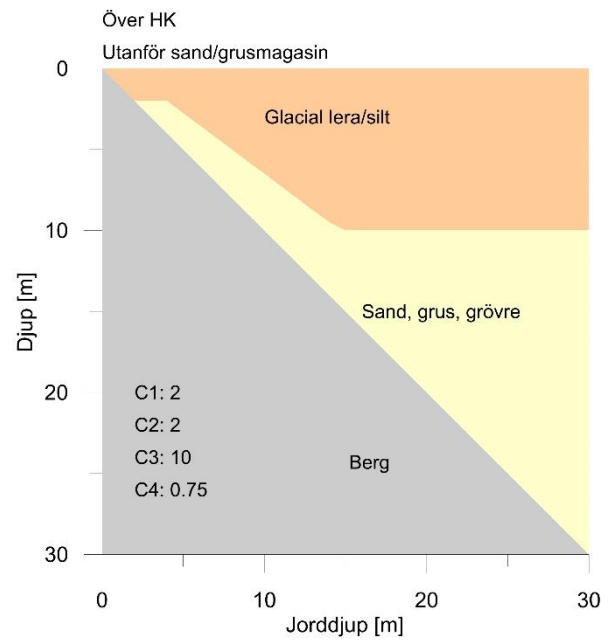
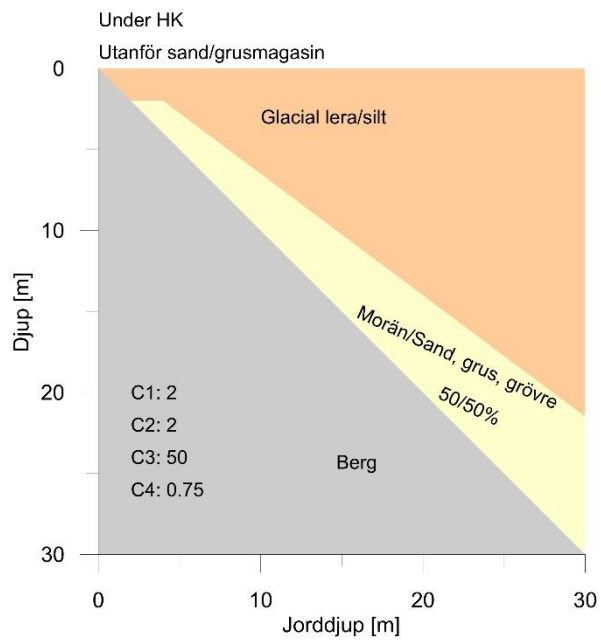
Grundlager: Postglacial grus



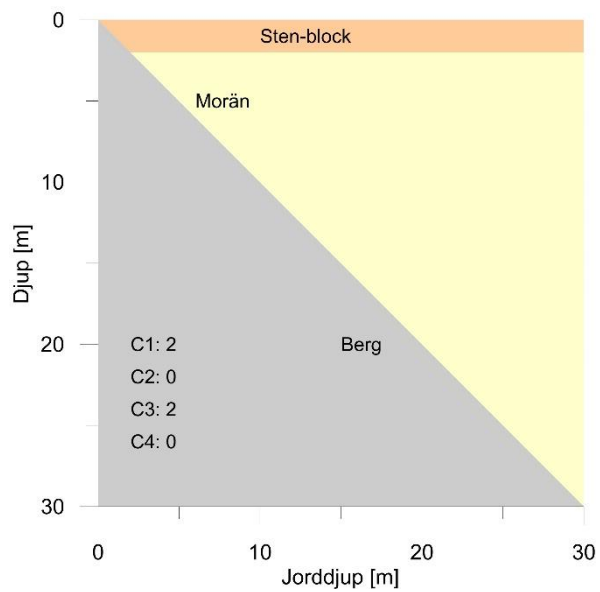
Grundlager: Lera/silt ospecificerad



Grundlager: Glacial lera/silt

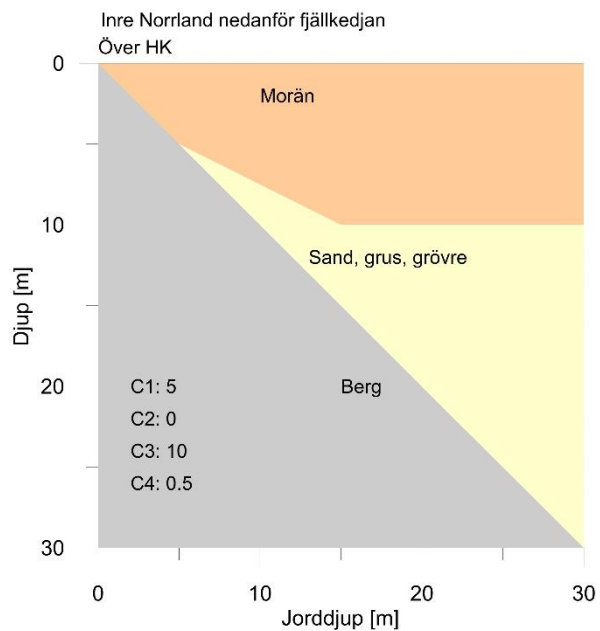


Grundlager: Sten-block

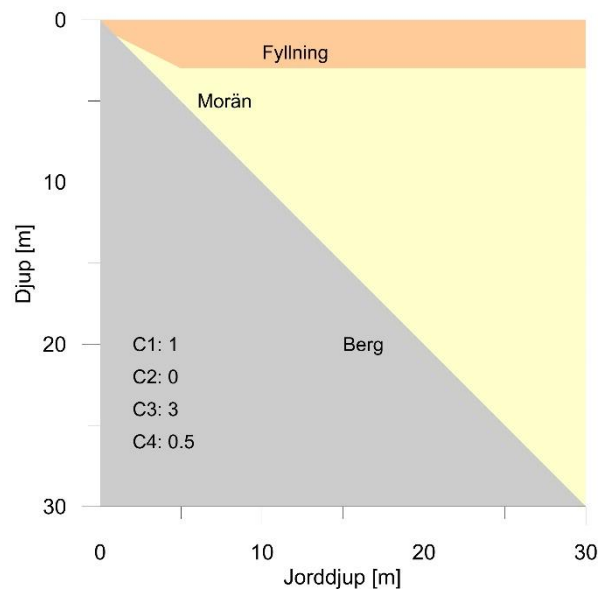


Grundlager: Morän

För grundlagret morän antas att det inte finns något djuplager mellan grundlager och berg med undantag från inre Norrland nedanför fjällkedjan.



Grundlager: Fyllning



BILAGA C. BERÄKNING AV MAGASINERINGSFÖRMÅGA

Detta fiktiva exempel används för att visa hur beräkningen av magasineringsförmåga utförts. I alla beräkningar antas att grundvattennivån och gränserna mellan olika jordlager och berg följer en kumulativ normalfördelning med standardavvikelsen $1+0.2 \cdot \text{djupet}$. Anledningen till detta antagande är dels att till exempel jorddjup och grundvattennivån kan variera inom ett begränsat område, dels att det finns en osäkerhet om var respektive övergång eller yta finns och denna osäkerhet kan antas öka med djupet.

I detta fiktiva exempel antas att det finns tre jordlager, ytligt berg samt normalt berg med fördelning enligt figur C-1. Medeldjupet för respektive jordlager är i detta fall 0, 2 respektive 6 m och det ytliga berget antas (alltid) vara 5 m mäktigt. Differensen mellan dessa fördelningar ger sannolikheten för att finna respektive lager, $p(\text{lager } x)$, på ett visst djup vilket kan avläsas i figur C-2.

I figur C-3 visas grundvattennivån som antas för beräkningen. Medelvärde för ostörda grundvattennivån antas i detta exempel vara på 3 m och avsänkningen i berg 10 m (dh_{berg}). Det skuggade området, vilket är differensen mellan ostörd grundvattennivå och avsänkt grundvattennivå, visar sannolikheten för maximalt avsänkta förhållanden på respektive djup, $p(dh_{\text{berg}})$.

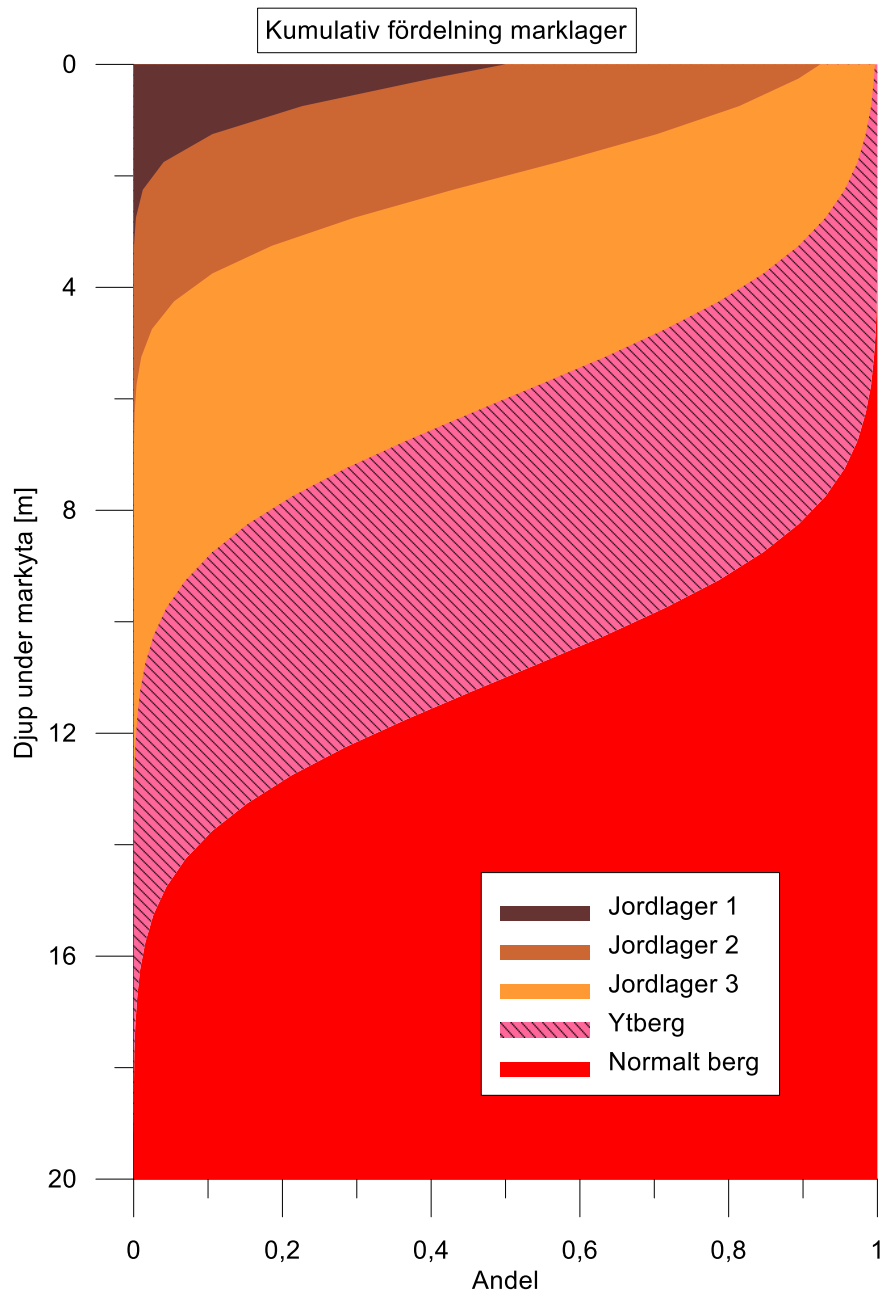
För att beräkna sannolikheten för maximalt avsänkta förhållanden för respektive jord- och berglager på ett visst djup multipliceras sannolikheten för respektive lager med sannolikheten för maximal avsänkning enligt:

$$p(\text{max avsänkning, lager } x) = p(\text{lager } x) \cdot p(dh_{\text{berg}})$$

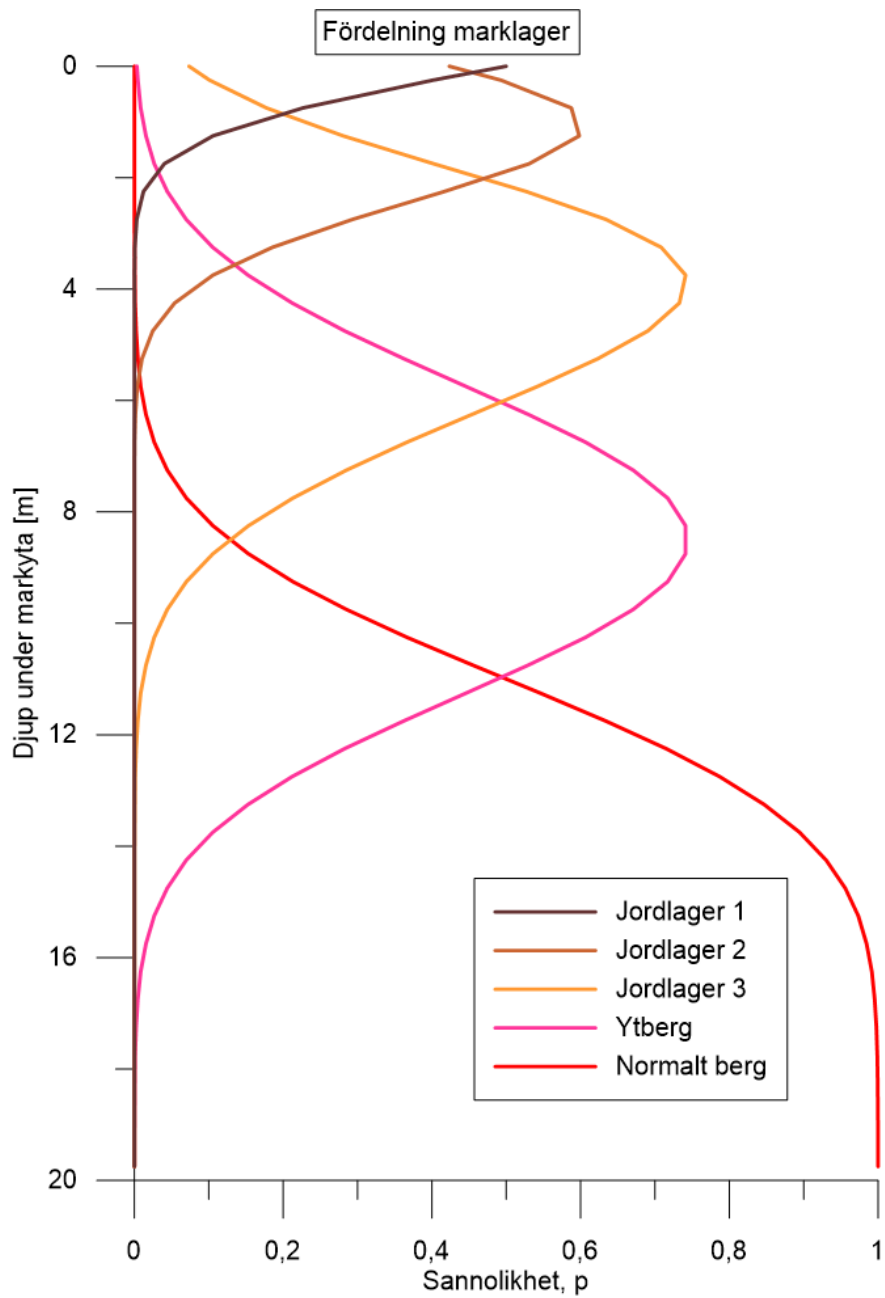
Men som angivits ovan antas att avsänkningen i jordlager inte blir lika stor som i underliggande berg. Därför multipliceras den sannolikheten för den maximala avsänkningen med de reducerande faktorerna r_1 och r_2 för att få sannolikheten för avsänkning i lager x enligt:

$$p(\text{avsänkning, lager } x) = r_1 \cdot r_2 \cdot p(\text{lager } x) \cdot p(dh_{\text{berg}})$$

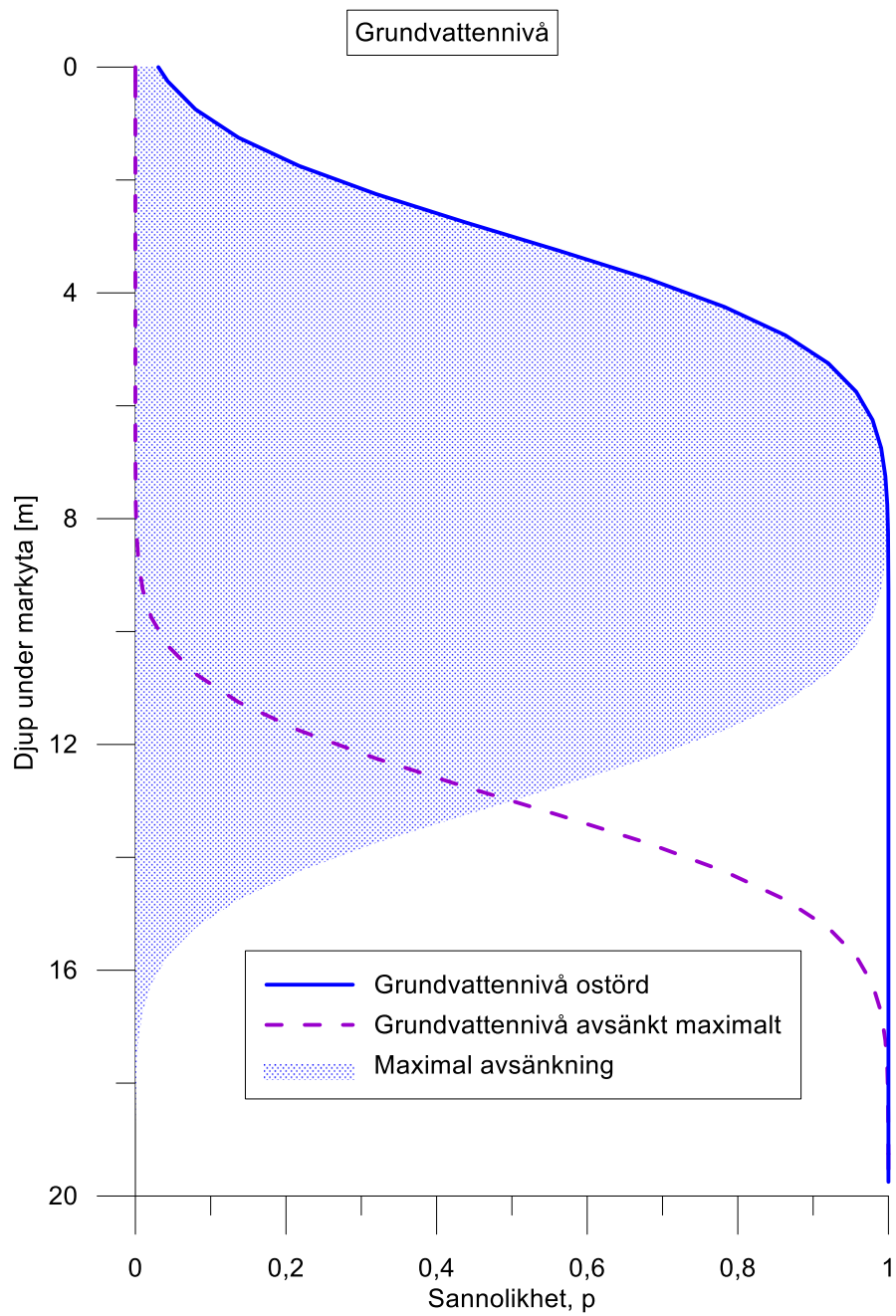
Sannolikheten för avsänkning i jordlagren reduceras medan sannolikheten för avsänkning i berg behålls vilket blir tydligt vid en jämförelse av figur C-4 och C-5. För att beräkna den totala avsänkningen i respektive lager integreras denna sannolikhet vilket visas som det skuggade områdena i figur C-5. I praktiken utfördes integrationen som en stegvis summering men det introducerade felet på grund av detta bedöms vara försumbart i sammanhanget. Slutligen multipliceras denna summa med vattenavgivningstalet för respektive lager och den totala summan av detta ger magasineringsförmågan. Detta utfördes för samtliga pixlar (100×100 m, ca 42 miljoner) över Sveriges landyta.



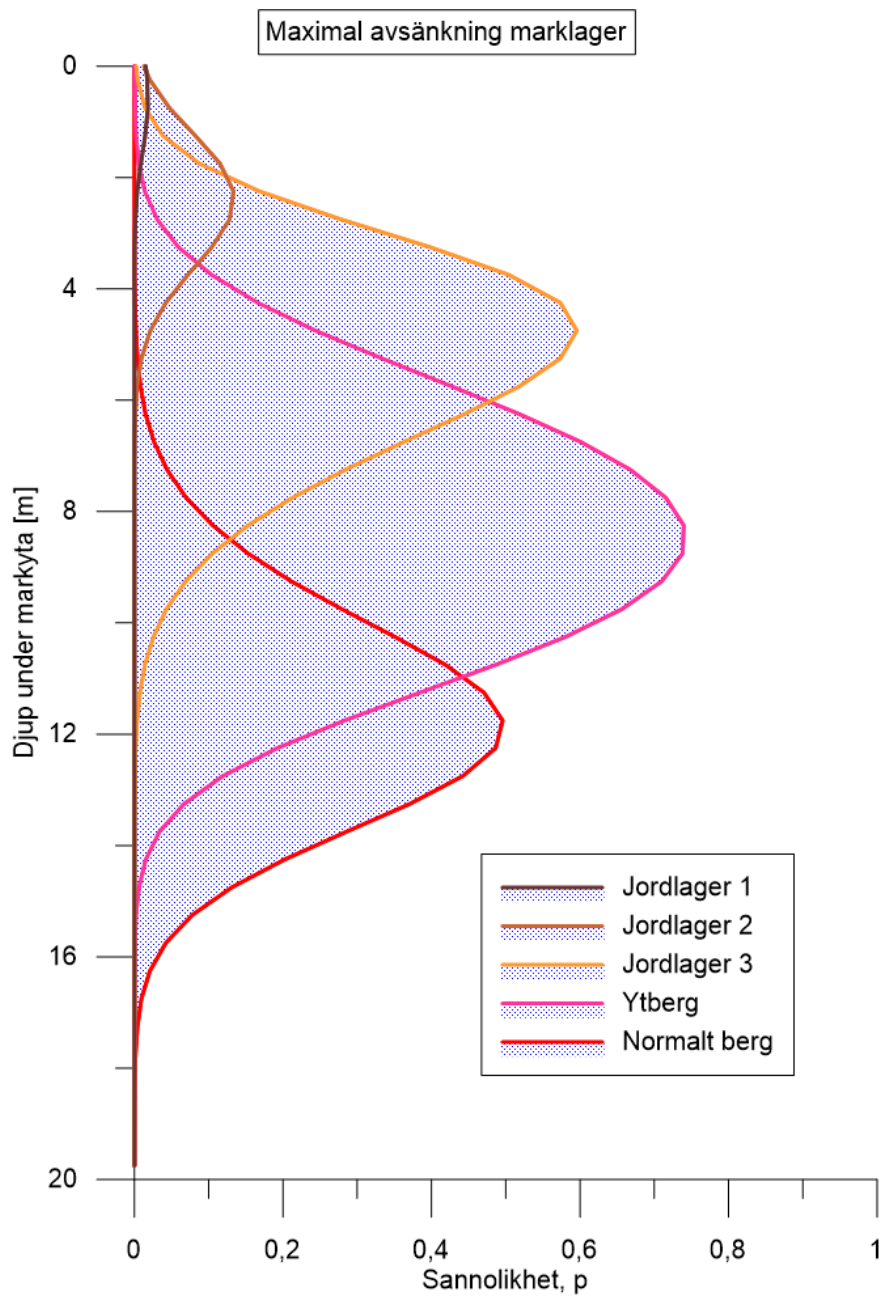
Figur C-1. Fördelning av jordlager och berg i fiktivt exempel.



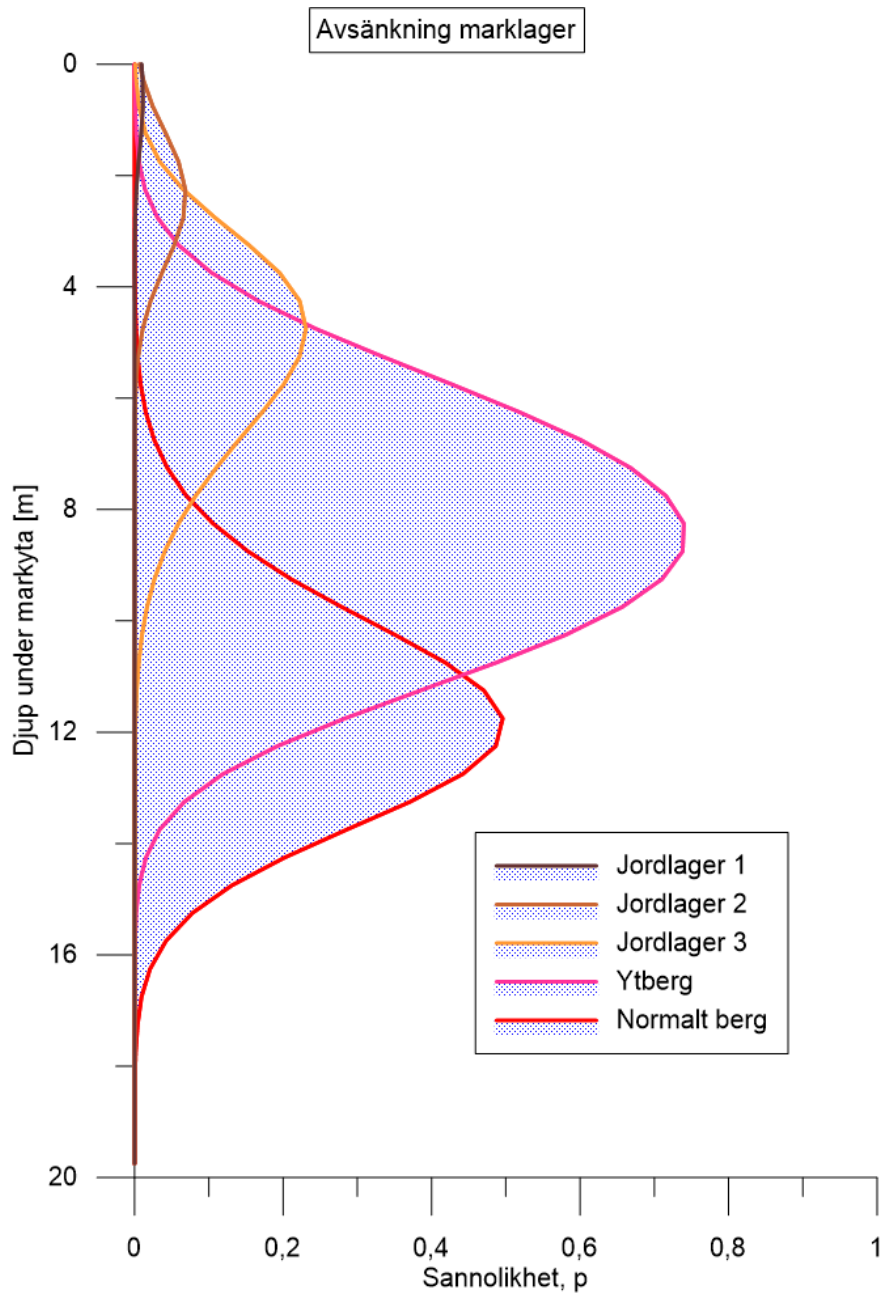
Figur C-2. Sannolikhet för olika jord- och berglager på respektive djup.



Figur C-3. Ostörd och maximalt avsänkt grundvattennivå samt sannolikhet för maximal avsänkning på respektive djup.



Figur C-4. Sannolikhet för maximalt avsänkta förhållanden för olika jord- och berglager.



Figur C-5. Sannolikhet för avsänkta förhållanden för olika jord- och berglager.