

Klimatkonsekvens av masshantering för Magasin X

Kungsängen 14:1 och 14:5, Uppsala



Innehåll

1	Inledning.....	3
1.1	Uppdrag.....	4
1.2	Designscenarion.....	4
1.3	Syfte	5
1.4	Avgränsningar	5
2	Metod	5
2.1	Livscykelanalys.....	5
2.1.1	Moduler.....	5
2.1.2	Funktionell enhet	6
2.1.3	Systemgränser	6
2.2	Volymberäkningar.....	8
2.2.1	Förorenade massor	8
2.2.2	Rena källarmassor.....	10
2.3	Valda parametrar i One Click LCA	11
2.3.1	A1–A3: Råvaruutvinning, transporter och tillverkning av bergkross	12
2.3.2	A4: Transport av bergkross från Skanska till Magasin X	12
2.3.3	A5: Utläggning av bergkross med grävmaskin på Magasin X.....	12
2.3.4	C1: Urschaktning av förorenade massor med grävmaskin	12
2.3.5	C2: Transport av massor till deponier	12
2.3.6	C3: Hantering av massor på deponi med grävmaskin	13
2.3.7	C4: Deponi.....	13
3	Resultat	14
3.1	Klimatpåverkan – utan modul C4 (deponi).....	14
3.2	Klimatpåverkan – med modul C4 (deponi).....	15
3.3	Utsläpp i relation till funktionell enhet	15
4	Diskussion	16
4.1	DS1 – det verkliga fallet	16
4.2	Skillnad mellan olika åtgärds mål	16
4.3	Skillnad med och utan källare samt höjdsättning	16
4.4	Funktionell enhet	17
4.5	Moduler med stort respektive minst påverkan	17
4.6	Risk för förorening av grundvatten vs. utsläpp.....	18
4.7	Klimatvinst vs. ekonomi	18
4.8	Osäkerheter.....	18
4.9	Framtida behov.....	19
5	Slutsatser	20
6	Bilagor	20
7	Referenser.....	21

1 Inledning

Det finns ett behov av att minska bygg- och fastighetsbranschens klimatpåverkan vilken motsvarar 19 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser (Boverket 2020). Klimatberäkningar för byggnader blir allt vanligare, men dessa beaktar generellt växtgasutsläpp från enbart bottenplattan och uppåt. De markarbeten som sker innan en bottenplatta läggs på plats har också en klimatpåverkan, frågan är bara hur stor den är.

Denna studie är enbart fokuserad till att undersöka den klimatpåverkan som olika typer av markarbeten ger upphov till, med inriktning på förorenade massor. *Markarbeten* i denna studie syftar till uppfyllnad med ny fyllning, bortforsling av massor till deponi, grävarbeten samt transport och produktion av ny fyllning.

Studien har utförts på den nya kontorsbyggnader Magasin X som ligger intill centralstationen i Uppsala. Byggnaden är belägen på fastigheterna Kungsängen 14:1 och 14:5. Magasin X har en källare, är byggd med trästomme och är grundlagd med pålar.

En miljöteknisk undersökning utförd av Bjerking påvisade att det inom fastigheterna förekom förorenade massor, med föroreningshalter överstigande både åtgärds mål *känslig markanvändning* (KM) och *mindre känslig markanvändning* (MKM). Åtgärds målet KM är det strängare kravet som generellt gäller för ex. bostadshus och förskolor. Detta åtgärds mål innebär att lägre föroreningshalter kan behöva saneras till skillnad från åtgärds mål MKM. Åtgärds målet MKM är det mindre stränga kravet som generellt gäller för ex. kontorsbyggnader och industrier.

Uppsala kommuns miljöförvaltning tog 2019 beslutet att Magasin X skulle omfattas av åtgärds målet KM för att inte riskera att Uppsalas grundvattentäkt förorenades vid installation av pålarna. Det förekommer nämligen en mindre risk att pålarna för med sig föroreningar nedåt vid installation. Beslutet innebar dock att en större volym förorenade massor behövde saneras från fastigheten än om åtgärds målet MKM fått gälla.

Åtgärds målet KM omfattar hela fastigheten, även för de ytor där ingen pålning sker. Eftersom pålning är begränsat till byggnadsytan uppstod frågeställningen; hur påverkas klimatpåverkan från markarbeten om en fastighet delas upp i två åtgärds mål? Dvs. att byggnadsytan där pålning sker omfattas av åtgärds målet KM för skydd av grundvattnet, medan övrig tomtyta omfattas av åtgärds målet MKM för att minimera schaktmassor, transporter mm. och därigenom även klimatpåverkan. Uppdelning av en fastighet i två åtgärds mål är inget som sker i dagsläget, men om studiens resultat påvisar att det är gynnsamt för klimatet är det också genomförbart i praktiken.

Studien undersöker således vilken klimatpåverkan markarbeten genererar för olika åtgärds mål samt hur klimatpåverkan påverkas av att Magasin X anläggs med och utan källare. Klimatpåverkan har undersökts med en livscykelanalys (LCA) i programmet One Click LCA och studien har finansierats av Bjerking's klimatfond.



1.1 Uppdrag

Studien undersöker den klimatpåverkan (ton CO₂-ekvivalenter) som åtgärdsmålen KM och MKM genererar vid markarbeten kopplade till sanering av förorenade massor för Magasin X, med och utan källare. Studien undersöker även uppdelning av fastigheten i två åtgärds mål; att byggnadsytan (där pålning skett) omfattas av åtgärds mål KM medan resterande tomtor omfattas av åtgärds mål MKM.

1.2 Designscenarion

Studien undersöker sex designscenarion. Framöver i den löpande texten kommer designsscenario benämnas ex. DS1. DS1 är det scenario som skedde i verkligheten.

Designscenario 1 (DS1):

- *Detta är det scenario som bäst motsvarar vad som utfördes i verkligheten.*
- Magasin X anläggs *med* källare.
- Åtgärds mål KM (känslig markanvändning) gäller för hela fastigheten.
- >KM-massor och >MKM-massor måste saneras.

Designscenario 2 (DS2):

- Magasin X anläggs *med* källare.
- Åtgärds mål MKM (mindre känslig markanvändning) gäller för hela fastigheten.
- >MKM-massor behöver saneras.

Designscenario 3 (DS3):

- Magasin X anläggs *med* källare.
- Fastigheten delas upp och omfattas av två åtgärds mål. Byggnadsytan omfattas av KM (känslig markanvändning) medan tomtyta omfattas av MKM (mindre känslig markanvändning). Förkortas KM/MKM i löpande text.
- >MKM- och >KM-massor behöver saneras för byggnadsytan medan >MKM-massor behöver saneras för tomtytan.

Designscenario 4 (DS4):

- Magasin X anläggs *utan* källare.
- Åtgärds mål KM (känslig markanvändning) gäller för hela fastigheten.
- >KM-massor och >MKM-massor måste saneras.

Designscenario 5 (DS5):

- Magasin X anläggs *utan* källare.
- Åtgärds mål MKM (mindre känslig markanvändning) gäller för hela fastigheten.
- >MKM-massor behöver saneras.

Designscenario 6 (DS6):

- Magasin X anläggs *utan* källare.
- Fastigheten delas upp och omfattas av två åtgärds mål. Byggnadsytan omfattas av KM (känslig markanvändning) medan tomtyta omfattas av MKM (mindre känslig markanvändning). Förkortas KM/MKM i löpande text.
- >MKM- och >KM-massor behöver saneras för byggnadsytan medan >MKM-massor behöver saneras för tomtytan.

1.3 Syfte

Syftet med studien är att öka kunskapen om vilken klimatpåverkan markarbeten kopplat till sanering av förorenade massor har för olika åtgärds mål. Syftet är även att undersöka om uppdelning av en fastighet i två åtgärds mål kan vara gynnsamt avseende klimatpåverkan.

1.4 Avgränsningar

Behandling av förekommande fluoridmassor (naturlig förekomst av fluorid i lera) på Magasin X beaktas ej inom ramen för denna studie. Studien är i huvudsak en teoretisk produkt baserad på resultat från utförd markteknisk miljöundersökning.

2 Metod

2.1 Livscykelanalys

Livscykelanalyser (LCA) för byggnader blir allt vanligare och den 1 januari 2022 införs av regeringen ett krav på att klimatdeklarationer skall upprättas vid uppförandet av nya byggnader (Boverket 2020). Det är ännu inte lika vanligt förekommande med LCA för olika typer av anläggningsarbeten, vilket denna studie faller inom.

En LCA är en metod för att ta fram total miljöpåverkan för en produkts eller tjänsts livscykel. Livscykeln innefattar hela kedjan från råvaruutvinning till återvinning av produkten med alla steg däremellan (Boverket 2019). Livscykelanalysen baseras bland annat på klimatdata hämtade från olika produkters miljövarudeklarationer. En miljövarudeklaration är en oberoende sammanställning av en produkts klimatpåverkan under sin livstid (Swedac 2020).

LCA har i denna studie utförts med programmet One Click LCA (One Click LCA 2020) och följer standarden EN 15978 (Boverket 2019).

2.1.1 Moduler

Av Figur 1 framgår de moduler (A1-A5, B1-B5, C1-C4 samt D) som ingår i en LCA enligt standarden EN 15978 (Boverket 2019). Modulerna representerar tillsammans en produkts eller byggnads totala livscykel. Klimatpåverkan från modulerna kan redovisas separat eller summeras för att ge resultatet för delar av eller hela livscykeln. I denna studie undersöks enbart moduler kopplade till markarbeten för sanering av förorenade massor. Studiens moduler framgår av avsnitt systemgräns 2.1.3.

Byggnadens livscykelinformation													Information utanför byggnadens livscykel	
A1-A3 Produktskede			A4-A5 Byggprocess		B1-B7 Driftskede					C1-C4 Slutskede				D Återvinning utanför systemgränsen
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Råmaterial	Transporter	Tillverkning	Transporter	Bygg- och installationsprocesser	Drift	Underhåll	Reparation	Utbyte	Renovering	Rivning	Transporter	Avfallshantering	Deponi	Återanvändnings- Renoverings- Återvinnings- potential
					B6 Energianvändning i drift									
					B7 Vattenanvändning i drift									
Uppströmsprocesser			Kärnprocesser		Nedströmsprocesser								Frivilligt	

Figur 1. Uppbyggnad av moduler i den europeiska standarden EN 15978.

Eftersom standard EN 15978 är framtagen för byggnader är även modulerna anpassade för en byggnads livscykel och är indelade i tre huvudskeden (Boverket 2019):

- Byggskedet, modul A1-A3 samt A4-A5
- Användningsskedet, modul B1-B7
- Slutskedet, modul C1-C4

Markarbeten kopplat till förorenad mark faller inte lika naturligt inom kategoriseringen, men konceptet är tillämpligt även för markarbeten. För studiens modulval se avsnitt 2.1.3 systemgränser.

2.1.2 Funktionell enhet

Den funktionella enheten definierar vad som analyseras i en LCA och beskriver funktionen som det studerade systemet fyller. Den funktionella enheten är en referens till vilket flöde, exempelvis material, transporter och energi, in och ut ur systemet kan relateras. Resultatet från livscykelanalysen, presenteras normalt i relation till den funktionella enhet som används (Boverket 2020).

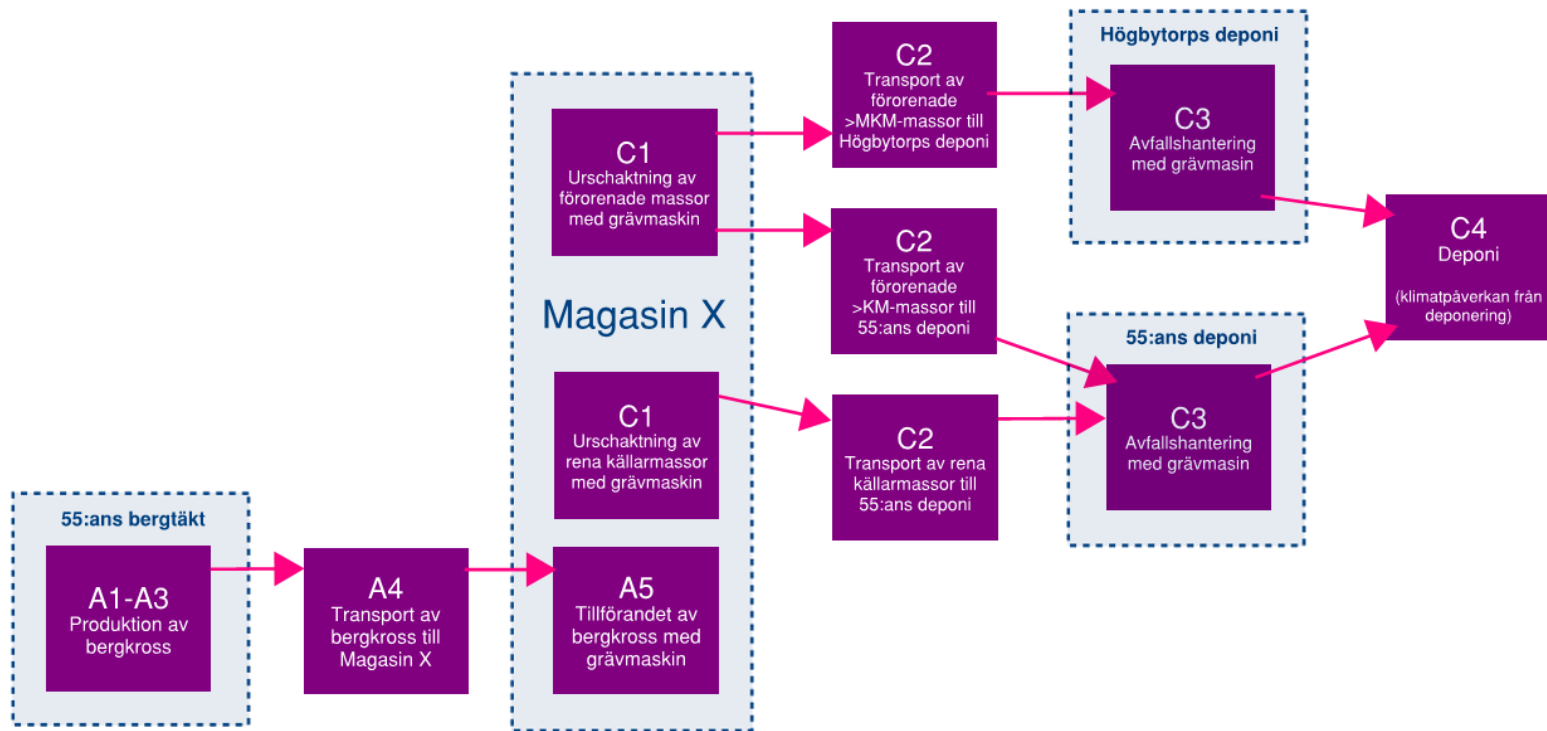
I denna studie redovisas klimatpåverkan med den funktionella enheten kg CO₂-ekv/bruttoarea för de olika alternativen. Bruttototalarean för Magasin X motsvarar ca 16 600 m².

2.1.3 Systemgränser

I denna studie har modulerna A1-A5 samt C1-C4 beaktats, dvs. byggskedet och slutskedet. Modulerna B1-B5 har inte beaktats eftersom denna studie inte omfattas av själva driftskedet av en byggnad.

Byggskedet, dvs. modul A1-A5 har beaktats eftersom ny fyllning har producerats, transporterats och tillförts Magasin X för att ersätta delar av de förorenade massorna som schaktats bort. Slutskedet, dvs. modul C1-C4 har beaktats eftersom förorenade massor schaktats bort med grävmaskiner, transporterats till deponier och hanterats med grävmaskin på deponierna. Modul C4 är en emissionsfaktor från deponi som har att göra med de rena källarmassor samt

förorenade massor som deponeras på deponi. Se Figur 2 för schematisk bild över valda systemgränser för studien.



Figur 2. Schematisk bild över studiens systemgränser, där modulerna A1-A5 och C1-C4 har beaktats.

Ny fyllning hämtades från 55:ans bergtäkt, vilket beskrivs mer ingående under avsnitt 2.3.1 Figur 5. Förorenade massor samt rena källarmassor deponerades på 55:ans deponi eller Högbytorps deponi. Detta beskrivs mer ingående i avsnitt 2.2 samt 2.3.

I figuren ovan för modul C2 benämns förorenade massor ">MKM-massor" samt ">KM-massor". ">MKM-massor" innebär att föroreningshalten överskrider riktvärden för åtgärds målet MKM. >MKM-massor måste saneras både för åtgärds målet MKM och KM. ">KM-massor" innebär att föroreningshalten överskrider riktvärden för åtgärds målet KM, men inte för MKM. >KM-massor måste enbart saneras för åtgärds målet KM.

2.2 Volymsberäkningar

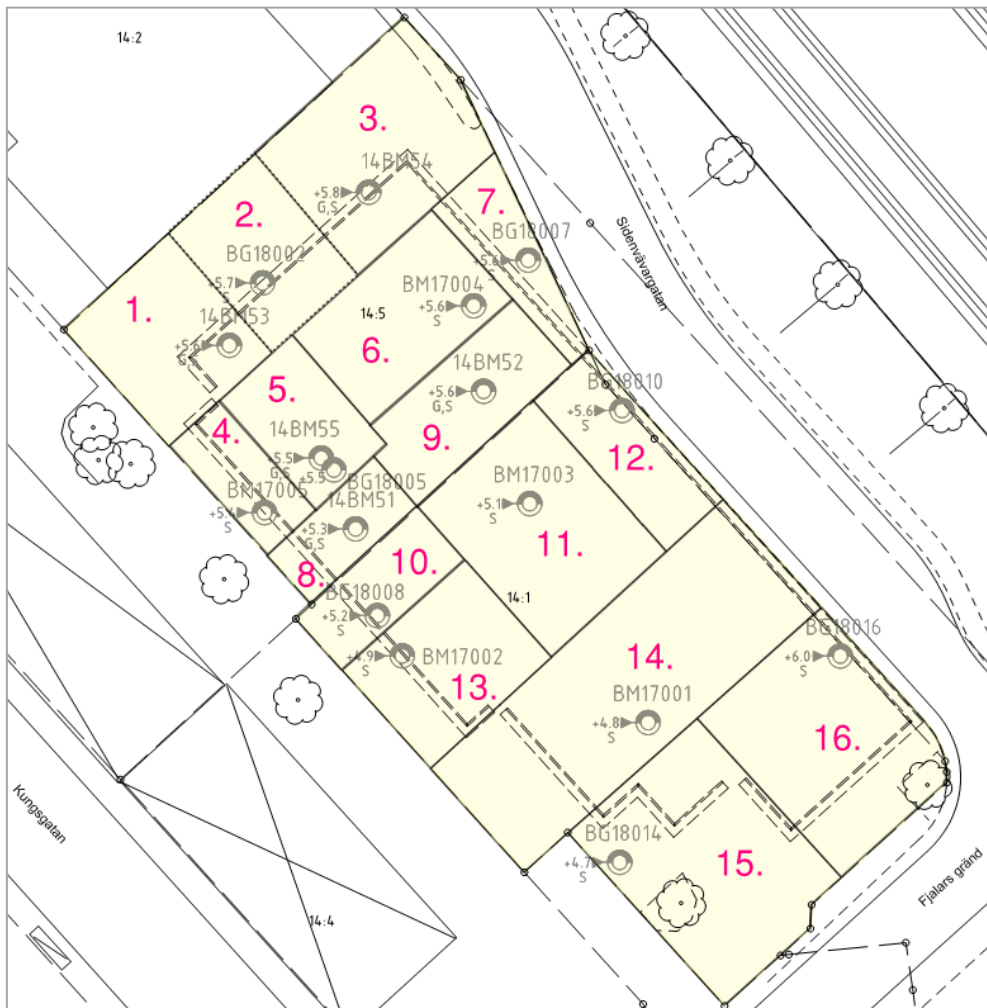
Samtliga volymbereäkningar av förorenade massor och rena källarmassor behövs som indata till One Click LCA för respektive designscenario. För sammanställning av volym rena källarmassor, volym >KM-massor, volym >MKM-massor samt total volym förorenade massor, se Tabell 1. Hur volymerna beräknats beskrivs i avsnitt 2.2.1 respektive 2.2.2.

Tabell 1. Sammanställning av förorenade massor samt rena källarmassor för de olika designscenarierna

Designscenario	Rena källarmassor	>KM-massor	>MKM-massor	Total volym >KM- och >MKM-massor
DS1	6564 m ³	Byggnadsyta: 1220 m ³ Tomtyta: 651 m ³ Totalt: 1871 m ³	Byggnadsyta: 353 m ³ Tomtyta: 408 m ³ Totalt: 761 m ³	2632 m ³
DS2	6564 m ³	Byggnadsyta: 1220 m ³ Tomtyta: 0 m ³ Totalt: 1220 m ³	Byggnadsyta: 353 m ³ Tomtyta: 408 m ³ Totalt: 761 m ³	1981 m ³
DS3	6564 m ³	Byggnadsyta: 1220 m ³ Tomtyta: 0 m ³ Totalt: 1220 m ³	Byggnadsyta: 353 m ³ Tomtyta: 408 m ³ Totalt: 761 m ³	1981 m ³
DS4	<i>Ej aktuellt</i>	Byggnadsyta: 1220 m ³ Tomtyta: 651 m ³ Totalt: 1871 m ³	Byggnadsyta: 353 m ³ Tomtyta: 408 m ³ Totalt: 761 m ³	2632 m ³
DS5	<i>Ej aktuellt</i>	Byggnadsyta: 0 m ³ Tomtyta: 0 m ³ Totalt: 0 m ³	Byggnadsyta: 353 m ³ Tomtyta: 408 m ³ Totalt: 761 m ³	761 m ³
DS6	<i>Ej aktuellt</i>	Byggnadsyta: 1220 m ³ Tomtyta: 0 m ³ Totalt: 1220 m ³	Byggnadsyta: 353 m ³ Tomtyta: 408 m ³ Totalt: 761 m ³	1981 m ³

2.2.1 Förorenade massor

Beroende på åtgärds mål ställs olika krav på sanering. Studiens designscenario måste beakta detta och därför har en förenklad modell över föroreningsgraden skapats genom att dela upp fastigheten i 16 delytor enligt Figur 3. Varje delyta innehåller en provtagningspunkt med information om föroreningshalter från Bjerking miljötekniska undersökning. Föroreningsgraden och därmed saneringsbehovet från delytans provtagningspunkt har antagits för hela delytan.



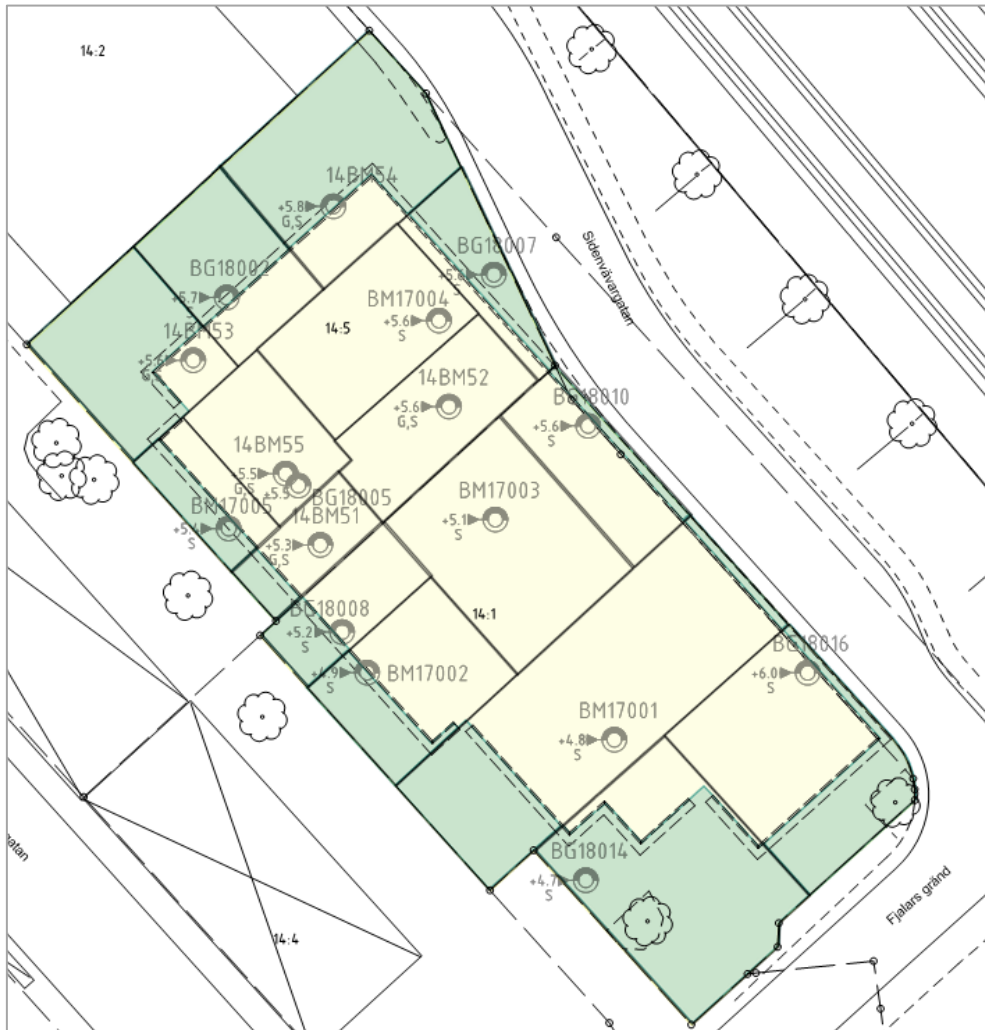
Figur 3. Uppdelning av fastigheten med avseende på provtagningspunkter för beräkning av schaktmassor.

För DS1 och DS4 gäller åtgärds mål KM. Detta innebär att både >KM- och >MKM-massor måste saneras från hela fastigheten. De skrafferade ytorna i Figur 1 i Bilaga 1 visar var de förorenade massorna förekommer.

För DS2 och DS5 gäller åtgärds mål MKM. Detta innebär att >MKM-massor måste saneras från hela fastigheten. De skrafferade ytorna i Figur 2 i Bilaga 1 visar var de förorenade massorna förekommer.

För DS3 och DS6 gäller två åtgärds mål; KM för byggnadsytan och MKM för övrig tomtyta. Detta innebär att >KM- och >MKM-massor måste saneras från byggnadsytan och att >MKM-massor måste saneras från tomtytan. De skrafferade ytorna i Figur 3 i Bilaga 1 visar var förorenade massor förekommer.

Med anledning av DS3 och DS6 som har två åtgärds mål har en uppdelning avseende byggnadsyta och tomtyta behövs genomföras för respektive delyta, se Figur 4. Den gröna färgen representerar tomtytan medan den ljusgula färgen representerar byggnadsytan. Den totala fastighetsytan omfattar ca 3854 m². Byggnadsytan omfattar ca 2344 m² och resterande tomtyta ca 1509 m². Byggnadsytan utgör ca 60 % av den totala fastigheten.



Figur 4. Uppdelning av fotavtryck och tomt med avseende på provtagningspunkter för beräkning av schaktmassor.

Resultaten från den miljötekniska undersökningen har beaktats för framtagande av saneringsdjup (schaktdjup) för samtliga delytor, för respektive designscenario. Schaktmassor (dvs. en volym) för respektive designscenario har beräknats baserat på schaktdjup och areor för varje delyta. Schaktmassorna har därefter summerats för respektive designscenario. För utförd beräkning av volym förorenade massor i varje delyta, baserade på schaktdjup och areor, för respektive designscenario, se Tabell 1 i Bilaga 1.

För resultatet av volym förorenade massor, >MKM-massor samt >KM-massor för respektive designscenario, se sammanställningen i Tabell 1 ovan.

2.2.2 Rena källarmassor

Studien undersöker även klimatpåverkan med och utan källare, därför har s.k. "rena källarmassor" för DS1-DS3 behövt beräknas. DS1-DS3 är de scenarion som har källare. Med rena källarmassor avses de massor som måste schaktas bort till följd av källaren, dvs. inte till följd av förorenade massor.

Schaktbottennivån som motsvarande ca +1,62 har dragits av från medelvärdet av marknivån motsvarande ca +5,44 för att därefter multiplicerats med bottenplanets area motsvarande 2130 m². Marknivåns medelvärde är baserat på den miljötekniska undersökningen inmätta provpunkter. Totalt motsvarar denna beräkning ca 8137 m³ källarmassor.

Hela källarvolymen är dock inte förorenad, därför har förorenade källarmassor subtraherats från total volym källarmassor för att få fram volymen rena källarmassor för DS1-DS3, se sammanställningen ovan i Tabell 1.

2.3 Valda parametrar i One Click LCA

I detta avsnitt beskrivs valda parametrar för respektive modul enligt studiens definierade systemgräns som skett i programmet One Click LCA. För studiens systemgräns se Figur 2.

I avsnitten nedan kommer 55:ans bergtäkt som är belägen 10 km från Uppsala samt Högbytorps deponi belägen 44 km från Uppsala att behandlas. För placering i relation till Uppsala se Figur 5.



Figur 5. Karta över Uppsala, 55:ans deponi samt Högbytorps deponi.

2.3.1 A1–A3: Råvaruutvinning, transporter och tillverkning av bergkross

Återfyllning med ny fyllning är aktuellt för samtliga designscenarion eftersom sanering både skett inom byggnadsytan samt på tomtytan.

Återfyllnadsmaterialet har antagits vara bergskross hämtade från 55:ans bergtäkt/deponi, se Figur 5. I One Click LCA har miljövarudeklarationen med makadam 150 mm från Skanska tillämpats med EPD-nummer NEPD-1257-403-SE. Av deklarationen framgår att 0,003 kg CO₂-ekv/kg makadam (4,49 kg CO₂-ekv/m³ makadam) genereras för utvinning av råvaran och produktionen.

Mängd återfyllt material antogs korrelera till mängd förorenade massor och rena källarmassor som schaktades bort.

2.3.2 A4: Transport av bergkross från Skanska till Magasin X

Transport har antagits ske från 55:ans bergtäkt belägen ca 10 km från Magasin X. Transportmedlet har i One Click LCA valts till lastbil med en lastkapacitet motsvarande 19 ton samt med en fyllnadsgrad på 50 %. Dvs. att lastbilen antas vara tom när den återvänder från Magasin X för att hämta mer fyllning. NCC har via mailkorrespondens bekräftat att miljöbränslet HVO 100 nyttjades vid samtliga transporter. HVO 100 har därför angivits som bränsle i One Click LCA. I One Click LCA genereras 0,95 kg CO₂-ekv per liter HVO 100.

I One Click LCA genereras 0,13 kg CO₂-ekv per tkm. Tkm (ton-kilometer) är transporterad massa i ton dividerat med transporterad sträcka i kilometer.

2.3.3 A5: Utläggning av bergkross med grävmaskin på Magasin X

Återfyllning med bergkross på Magasin X genomfördes med grävmaskiner drivna av miljöbränslet HVO 100. I One Click LCA genereras 0,95 kg CO₂-ekv per liter HVO 100.

NCC har via mailkorrespondens bekräftat att HVO 100 nyttjades vid grävmaskinsarbeten. Grävmaskinerna kunde hantera volymer om ca 135 m³/h och drivmedelsförbrukningen motsvarade ca 10 liter HVO 100 per timme.

Baserat på denna information, samt baserat på framtagna volymer av rena källarmassor och förorenade massor, kunde förbrukad mängd HVO 100 beräknas och anges i One Click LCA för respektive designscenario.

2.3.4 C1: Urschaktning av förorenade massor med grävmaskin

Denna modul har beräknats med samma indata från NCC som modul A5 med hänsyn tagen till volym förorenade massor samt rena källarmassor.

2.3.5 C2: Transport av massor till deponier

Förorenade >KM-massor har transporterats till 55:ans deponi belägen 10 km från Uppsala. Förorenade >MKM-massor har transporterats till Högbytorps deponi belägen 44 km från Uppsala, se Figur 5. Rena källarmassor har i likhet med >KM-massor transporterats till 55:ans deponi.

Transportmedel har i One Click LCA valts till lastbil med en lastkapacitet motsvarande 19 ton och fyllnadsgrad 50 %. Dvs. lastbilen antas vara tom när den återvänder från Magasin X för att hämta mer massor. NCC har via mailkorrespondens bekräftat att HVO 100 nyttjades vid transporter.

I One Click LCA genereras 0,13 kg CO₂-ekv per tkm. Tkm (ton-kilometer) är transporterad massa i ton dividerat med transporterad sträcka i kilometer.

2.3.6 C3: Hantering av massor på deponi med grävmaskin

Ingen konkret information om hur avfallshanteringen har gått till på 55:ans eller Högbytorps deponier har kunnat tillhandahållits. Därför har modulen beräknats med samma indata från NCC som modul A5 med hänsyn tagen till volym förorenade massor samt rena källarmassor.

2.3.7 C4: Deponi

Emissionsfaktorn för deponering av rena källarmassor (dvs. icke förorenad jord) genererar enligt One Click LCA 0,0078 kg CO₂-ekv per kilo rena massor. Resursnamnet i One Click LCA är benämnt "soil waste".

Emissionsfaktorn för deponering av förorenade massor genererar enligt One Click LCA 0,28 kg CO₂-ekv per kilo förorenade massor. Resursnamnet i One Click LCA är benämnt "contaminated soil waste to landfill".

3 Resultat

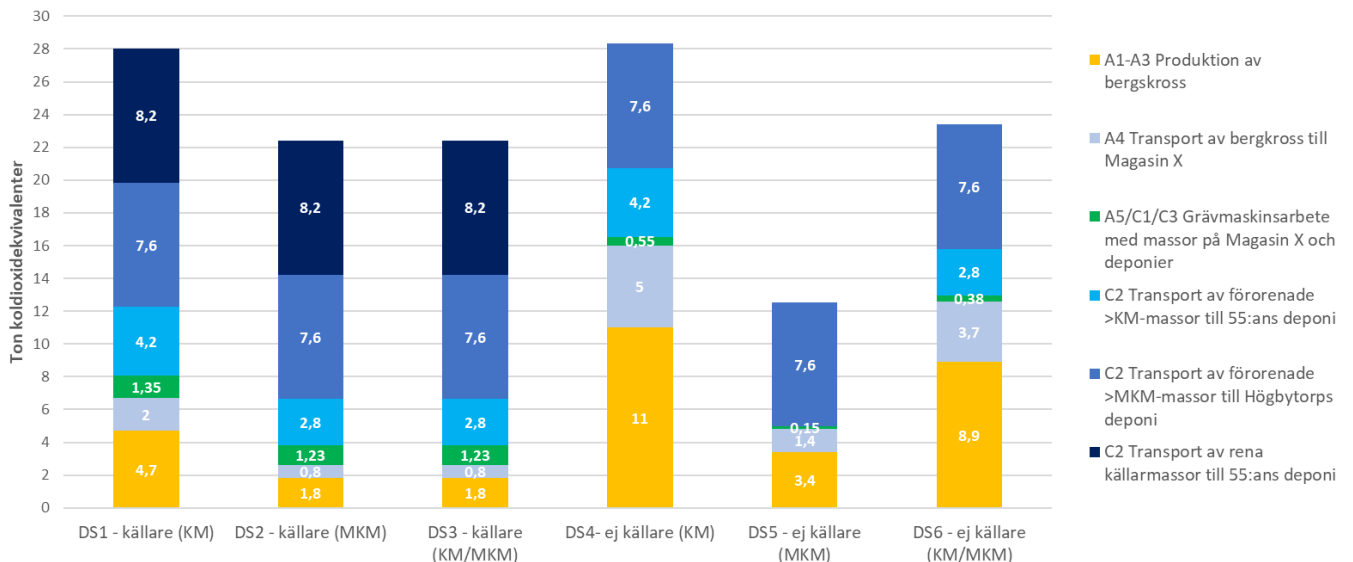
3.1 Klimatpåverkan – utan modul C4 (deponi)

Tabell 2 sammanställer ton CO₂-ekv för respektive modul och designscenario (ej modul C4). Observera att modul A5, C1 och C3 (dvs. de moduler som berör grävmaskinsarbeten med massor på Magasin X och deponier) har slagits samman till en och samma post. För samtliga resultat se Bilaga 2.

Tabell 2. Sammanställning av genererade koldioxidekvivalenter för respektive modul och designscenario

Designscenario	A1-A3	A4	A5/C1/C3	C2	C2	C2	Totalt [ton CO ₂ -ekv]
	Produktion av bergskross	Transport av bergskross till Magasin X	Samtliga grävmaskinsarbeten	Transport av förorenade >KM-massor till 55:ans deponi	Transport av förorenade >MKM-massor till Högbytorps deponi	Transport av rena källarmassor till 55:ans deponi	
DS1 - källare, KM	4,7	2	1,35	4,2	7,6	8,2	28,1
DS2 - källare, MKM	1,8	0,8	1,23	2,8	7,6	8,2	22,4
DS3 - källare, KM/MKM	1,8	0,8	1,23	2,8	7,6	8,2	22,4
DS4 - ej källare, KM	11	5	0,55	4,2	7,6	0	28,4
DS5 - ej källare, MKM	3,4	1,4	0,15	0	7,6	0	12,6
DS6 - ej källare, KM/MKM	8,9	3,7	0,36	2,8	7,6	0	23,4

Figur 6 sammanställer ton CO₂-ekv för respektive modul och designscenario (ej modul C4).



Figur 6. Sammanställning av genererade koldioxidekvivalenter för respektive modul och designscenario.

DS1 och DS4 ger upphov till störst klimatpåverkan och DS5 till minst klimatpåverkan. DS2 och DS3 ger upphov till samma klimatpåverkan. Detta på grund av att >KM- och >MKM-massornas omfattning i djupled generellt var densamma för Magasin X.

3.2 Klimatpåverkan – med modul C4 (deponi)

Tabell 3 sammanställer ton CO₂-ekv för modul C4 (deponi), summa övriga moduler (A1-A5 och C1-C3) samt den totala klimatpåverkan för samtliga moduler (A1-A4 och C1-C4) för respektive designscenario. När klimatpåverkan från modul C4 är inkluderad ger DS1 upphov till störst klimatpåverkan och DS5 till minst klimatpåverkan. Modul C4 drar upp den totala klimatpåverkan med mellan 388 – 1436 ton CO₂-ekv. Klimatpåverkan från modul C4 är mellan 43 – 51 gånger större än övriga moduler tillsammans.

Tabell 3. Utsläpp av koldioxidekvivalenter från modul C4, övriga moduler samt total mängd

Designscenario	Modul C4 [ton CO ₂ -ekv]	Summa övriga moduler [ton CO ₂ -ekv]	Totalt utsläpp (samtliga moduler) [ton CO ₂ -ekv]
DS1 - källare, KM	1436	28,1	1464
DS2 - källare, MKM	1103	22,4	1125
DS3 - källare, KM/MKM	1103	22,4	1125
DS4 - ej källare, KM	1344	28,4	1372
DS5 - ej källare, MKM	388	12,6	401
DS6 - ej källare, KM/MKM	1011	23,4	1034

3.3 Utsläpp i relation till funktionell enhet

Tabell 4 redovisar utsläpp av kilo koldioxidekvivalenter per kvadratmeter bruttototalarea (ca 16 600 m²), både med modul C4 inkluderad och inte. Klimatpåverkan per BTA är mellan 30 – 52 gånger högre när modul C4 är inkluderad.

Tabell 4. Utsläpp av kilo koldioxidekvivalenter per kvadratmeter bruttototalarea

Designscenario	Utan modul C4 [kg CO ₂ -ekv / m ² bruttototalarea]	Med modul C4 [kg CO ₂ -ekv / m ² bruttototalarea]
DS1 - källare, KM	1,7 kg/m ²	88,2 kg/m ²
DS2 - källare, MKM	1,3 kg/m ²	67,8 kg/m ²
DS3 - källare, KM/MKM	1,3 kg/m ²	67,8 kg/m ²
DS4 - ej källare, KM	1,7 kg/m ²	82,7 kg/m ²
DS5 - ej källare, MKM	0,8 kg/m ²	24,1 kg/m ²
DS6 - ej källare, KM/MKM	1,4 kg/m ²	62,3 kg/m ²

4 Diskussion

4.1 DS1 – det verkliga fallet

DS1 som utfördes i praktiken för Magasin X (samt DS4) ger upphov till störst klimatpåverkan i förhållande till resterande designscenarion. Om Uppsala kommuns miljöförvaltning hade beslutat att ha MKM som åtgärds mål istället (dvs. DS2) hade flera ton koldioxidekvivalenter kunnat sparas. För jämförelse och förståelse av utsläppens storleksordning kan läsaren ha med sig att en medelsvensk släpper ut ca åtta ton koldioxidekvivalenter per år (Naturvårdsverket 2020).

Oavsett om modul C4 beaktas eller inte minskar klimatpåverkan med ca 20 % för åtgärds mål MKM istället för KM.

4.2 Skillnad mellan olika åtgärds mål

Studien visar på att utsläppen av koldioxidekvivalenter blir mindre för det mindre stränga åtgärds målet MKM i jämförelse med åtgärds målet KM eftersom mindre mängd massor behöver schaktas, transporteras och deponeras. DS3 och DS6 som undersöker fastigheten uppdelad i två åtgärds mål genererar mindre koldioxidekvivalenter än åtgärds målet KM. För Magasin X motsvarar byggnadsytan 60 % av den totala fastigheten. Desto mindre byggnadsyta i förhållande till den totala fastigheten, desto större vinning fås genom att dela upp fastigheten i två olika åtgärds mål.

För de fall i framtiden där åtgärds målet KM väljs istället för MKM, med syftet att skydda Uppsalas grundvattentäkt från föroreningar vid pålning, finns en vinning i form av mindre utsläpp om fastigheten istället delas upp i två åtgärds mål.

4.3 Skillnad med och utan källare samt höjdsättning

Det är svårt att dra slutsatser avseende hur anläggning av källare eller inte påverkar klimatpåverkan baserat på studiens resultat. För denna studie blev det ingen tydlig skillnad med eller utan källare för åtgärds mål KM eller KM/MKM. Däremot blev det en skillnad mellan DS2 och DS5 för åtgärds mål MKM, ca 9,8 ton koldioxidekvivalenter. Skillnaden beror främst på att inga rena källarmassor måste transporteras bort och deponeras för DS4 eftersom ingen källare anläggs.

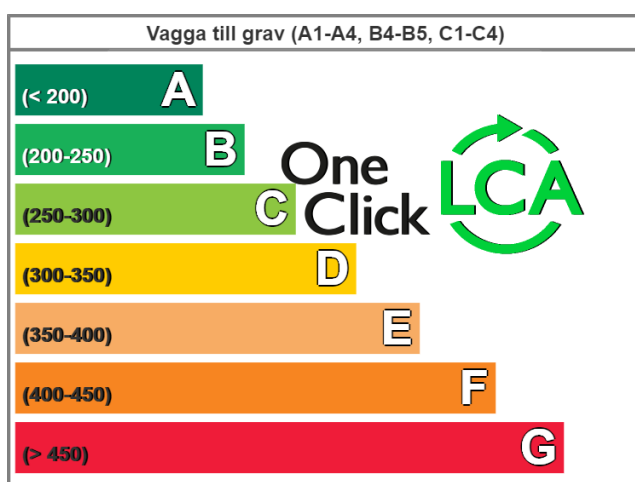
För en fastighet med mycket förorenade massor kan det vara mer lämpligt att anlägga källare, eftersom massorna ändå hade behövts grävas ut – ur klimatsynpunkt. Tvärtom kan man diskutera att för en fastighet med lite förorenade massor kan det vara lämpligt att inte anlägga källare eftersom rena källarmassor då hade behövts grävas ut.

En aspekt som denna studie inte beaktat är att vid anläggning av källare ger själva källarplanet konstruktion upphov till klimatpåverkan.

4.4 Funktionell enhet

Klimatpåverkan i förhållande till den funktionella enheten utan modul C4 blev som högst 1,7 kg CO₂-ekv/m² BTA. Klimatpåverkan i förhållande till den funktionella enheten med modul C4 blev som högst 88,2 kg CO₂-ekv/m² BTA.

Klimatpåverkan utan modul C4 kan näst intill betraktas som försumbar, men när modul C4 är inkluderad är klimatpåverkan långt ifrån försumbar. Enligt One Click LCA *Carbon Heroes Benchmark Program* faller en byggnads klimatpåverkan inom olika kategorier enligt Figur 7 (One Click LCA 2020). När klimatpåverkan från markarbeten med modul C4 à 88,2 kg CO₂-ekv/m² är inkluderad i en byggnads LCA, kan denna tappa en placering. Klimatpåverkan från markarbeten (inklusive deponering) är därmed inte försumbart för en LCA för en byggnad.



Figur 7. Kategorisering av klimatpåverkan enligt CH Q1 2020 Sweden med avseende på funktionell enhet, kg CO₂-ekv per m² BTA.

4.5 Moduler med stört respektive minst påverkan

Modul C4, dvs. deponering av rena källarmassor och förorenade massor, har absolut störst klimatpåverkan i denna studie. Varför denna påverkan är så stor beror på det fördefinierade data som finns i One Click LCA. Mailkorrespondens har hållits med One Click LCA för att försöka utröna orsaken till det stora utsläppet, men tyvärr har One Click LCA inte kunnat gett några tydliga svar avseende utsläppen. Modul C4 är således en viktig modul att beakta men måste också beaktas som osäker. Spannet mellan ex. 1,7 kg CO₂-ekv/m² BTA och 88,2 kg CO₂-ekv/m² BTA är väldigt stort och frågan är vilken ände av spannet som är mest sanningsenlig.

Om man bortser från deponimodul C4 ger transporterna upphov till mest utsläpp, dvs. av bergkross till Magasin X samt av förorenade massor och rena källarmassor till 55:ans respektive Högbytorps deponi. Detta gäller oavsett om källare/ingen källare beaktats. Om inte NCC hade använt miljöbränslet HVO 100 vid sina transporter hade klimatpåverkan från transporterna ökat med mer än faktor tre.

För transport av >MKM-massor till Högbytorps deponi (belägen 44 km från Uppsala) var klimatpåverkan betydligt större än för de transporter som gick till 55:ans deponi (belägen 10 km

från Uppsala). Skillnaden har att göra med avståndet mellan deponi och byggsite. Två väldigt viktiga faktorer för att hålla nere klimatpåverkan från transporter kan baserat på studien konstateras till miljöbränsle samt avstånd mellan deponi och byggsite.

Den tredje i storleksordningen är modul A1-A3, dvs. produktion av ny bergkross. Minst klimatpåverkan gav grävmaskinsarbeten på Magasin X och deponier upphov till.

4.6 Risk för förorening av grundvatten vs. utsläpp

För alla byggen där åtgärds mål MKM är brukligt, men där kommunens miljöförvaltning istället väljer KM för skydd av grundvatten borde kombinationen KM/MKM användas. DS3/ DS6 uppnår nämligen samma skydd av grundvattnet som DS1/DS4 samtidigt som det också ger tillräckligt skydd för de människor som vistas på platsen. Naturvårdsverket förordar inte att man delar upp fastigheter i olika åtgärds mål, men med klimatvinsten som argument är uppdelningen i två åtgärds mål ett steg i rätt riktning eftersom det beaktar Sveriges klimatmål (Naturvårdsverket 2020).

4.7 Klimatvinst vs. ekonomi

Klimatvinst och ekonomi går som oftast hand i hand, vilket även är fallet för denna studie. Mindre schaktvolym ger upphov till mindre transporter och mindre deponering vilket därmed genererar både mindre kostnader och utsläpp då det både är väldigt dyrt och dåligt för miljön att lägga jordmassor på deponi. Det finns således även ett ekonomiskt incitament till att vilja dela upp en fastighet i två olika åtgärds mål KM/MKM när möjligheten finns. Av samma anledning bör det motiveras noggrant varför åtgärds mål KM ska gälla när det egentligen är brukligt att välja MKM.

4.8 Osäkerheter

Studien är teoretiskt baserad, ex. har volymer beräknats istället för att veta exakt mängd. Transportmedel har valts så verklighetstroget som möjligt, men det finns alltid skillnader mellan teori och verklighet.

Den miljötekniska undersökningen är i grunden också en uppskattning av hela fastighetens föroreningsgrad. Föroreningarna delades in i 16 delytor baserat på 17 provtagningspunkter. En provpunkt representerar inte föroreningsgraden för hela delytan utan måste betraktas som en uppskattning. Vissa delytor var dessutom betydligt större än andra vilket således både kunde höja och sänka klimatpåverkan beroende på om delytan var förorenad eller inte. Vid liknande studie skulle en mer systematisk provtagning vara mer lämpligt.

Olika typer av markarbeten har för detta projekt delats in i olika moduler. Eftersom modulerna är avsedda för en byggnads livscykel är det svårt att placera in markarbeten i denna typ av kategorisering. För en LCA för en byggnad inklusive markarbeten hade troligtvis modulerna delats in annorlunda. Moduluppdelningen får dock betraktas som en parentes i relation till erhållna resultat, eftersom resultaten för denna studie hade blivit densamma även om modulerna delats in annorlunda. Detta kan dock orsaka problematik vid jämförelse av LCA för olika typer av installationsarbeten. Framöver vore det bra om det tydligt definierades till vilken eller vilka moduler installationsarbeten, hantering av massor mm. faller inom.

Det finns svårigheter med att ta fram en LCA för markarbeten med One Click LCA eftersom programmet är utformat för byggnader. Det var möjligt att använda programmet för beräkning av olika moduler, dock fanns ingen tydlig möjlighet att hämta ut resultaten enligt den resultatpresentation som One Click LCA erbjuder. Detta medförde extra jobb eftersom varje modul fick handplockas ut ur programmet och sammanställas vid sidan av för redovisning. Här finns den mänskliga faktorn som en osäkerhet eftersom värden kopieras och skrivs av från en plattform till en annan. One Click LCA kan således användas för denna typ av studie, men det är möjligt att det finns andra plattformar eller inställningar i One Click LCA som hade fungerat bättre. One Click LCA har nu en modul framtagen för infrastruktur-projekt vilken kan användas i kommande studier av anläggningsarbetens klimatpåverkan.

En ytterligare osäkerhet är valet av dataset i One Click LCA. One Click LCA är ett väldigt kraftfullt program med en stor databas av miljövarudeklarationer. Att välja dataset bör således ske omsorgsfullt eftersom hela studien vilar på dessa val. Valen i denna studie har genomförts så verklighetsförankrat som möjligt, men det är inte osannolikt att det finns val som är ännu närmre verkligheten.

Med alla osäkerheter sammanslagna bör läsaren ha med sig att de ton koldioxidekvivalenter som presenteras i denna studie inte ska betraktas som exakta. Däremot ger studien en indikation på utsläppens storleksordning samt relationen sinsemellan de olika designscenariorna. Studien påvisar även att emissionsfaktor från deponi C4 har en mycket stor påverkan på ett bygge.

4.9 Framtida behov

Fler livscykelanalyser behövs för ökad förståelse av bygg- och fastighetsbranschens totala klimatpåverkan. Kunskapen om byggnaders klimatpåverkan har ökat mycket under de senaste åren och ökningen kommer att fortsätta i och med det krav om klimatdeklarationer av byggnader som regeringen fastslagit till 1 januari 2022 (Boverket 2020). Men klimatpåverkan från allt det andra markarbetet mm. runt en byggnad kommer med tiden också behöva definieras och kvantifieras. Det är därför denna typ av studie är viktig. Behovet av fler livscykelanalyser inom samma område kvarstår dock för en fördjupad förståelse.

Utöver markarbeten kopplat till förorenad mark finns det andra aspekter som drar upp en byggnads klimatpåverkan; däribland transport av personal till site, grundläggningsarbeten och material till detta, ledningsarbeten med ledningsschakter mm., eller att marken förlorar ett funktionellt värde som ex. odlingsmark. Livscykelanalyser inom dessa områden kommer också att stärka kunskapen om bygg- och fastighetsbranschens klimatpåverkan samt lära oss hur vi kan minska denna. Fler livscykelanalyser inom dessa typer av områden kommer därför framöver vara viktiga och banbrytande. Det är inte heller omöjligt att LCA för markarbeten eller liknande skall ingå i en klimatdeklaration av en byggnad framöver.

Avslutningsvis bör nämnas att enklare beräkningar av klimatpåverkan kan utföras utan avancerade LCA-program. Schablonvärden kan hämtas från miljövarudeklarationer från olika databaser (Environdec 2020) eller ex. Trafikverkets klimatkalkyl (Trafikverket 2020). Detta är en förenklad väg att gå för att få ett hum om storleksordningen på tjänster och produkters klimatpåverkan.

5 Slutsatser

Åtgärds mål MKM har lägst klimatpåverkan och åtgärds mål KM har störst klimatpåverkan.

Uppdelning av en fastighet i två åtgärds mål KM/MKM ger upphov till mindre klimatpåverkan än åtgärds mål KM men mer klimatpåverkan än åtgärds mål MKM.

Uppdelning av en fastighet i två åtgärds mål bör beaktas som en möjlighet, ett aktivt val för att minska klimatpåverkan. Uppdelning i två åtgärds mål ger tillräckligt skydd av grundvattnet samtidigt som det ger tillräckligt skydd för de människor som ska vistas på platsen.

Studien har påvisat klimatpåverkan från modulerna i fallande ordning: deponering, transporter, produktion av ny fyllning, grävmaskinsarbeten.

Deponering (modul C4) har absolut störst klimatpåverkan, men orsaken bakom utsläppets storlek är mer osäker än övriga modulers utsläpp.

Markarbeten kopplat till förorenad mark kan höja en byggnads klimatpåverkan mycket och bör därför inkluderas vid byggnaders klimatdeklarationer för att ge en mer rättvis bild av det faktiska utsläppet.

6 Bilagor

Bilaga	Beskrivning	Antal sidor
Bilaga 1	Beräkningar av förorenade massor samt förorenade ytor för respektive delyta och designscenario	4
Bilaga 2	Resultatredovisning och sammanställning av modul A1-A5 samt C1-C3	2

7 Referenser

- Boverket (2019). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> [2020-12-29]
- Boverket (2020). *Klimatdeklaration vid uppförande av byggnad*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/klimatdeklaration/> [2020-12-28]
- Boverket (2020). *Metodval för LCA*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/sahar-gors-en-lca/metodval-for-lca/> [2020-12-28]
- Boverket (2020). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/> [2020-12-28]
- Boverket (2019). *Vägledning om LCA för byggnader*. <https://forvaltarforum.se/wp-content/uploads/2019/02/Vagledning-om-LCA-fo%CC%88r-byggnader.pdf> [2020-12-28]
- Environdec (2020). *The international EPD system*. <https://www.environdec.com/> [2020-12-28]
- Naturvårdsverket 2020. *Svenskarnas klimatpåverkan är åtta ton per person och år*. <http://www.naturvardsverket.se/Nyheter-och-pessmeddelanden/Svenskarnas-klimatpaverkan-ar-8-ton-per-person-och-ar-/> [2020-12-28]
- Naturvårdsverket 2020. *Så följer vi upp klimatmålen*. <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Sa-foljer-vi-upp-klimatmalen/> [2020-12-28]
- One Click LCA (2020). *Carbon Heroes Benchmark Program*. <https://www.oneclicklca.com/construction/carbonheroes/> [2020-12-28]
- One Click LCA (2020). *One Click LCA*. <https://www.oneclicklca.com/> [2020-12-28]
- SS-EN-15978 Hållbarhet hos byggnadsverk – Värdering av byggnaders miljöprestanda
- Swedac (2020). *Miljövarudeklarationer*. <https://www.swedac.se/amnesomraden/miljoivarudeklarationer/> [2020-12-28].
- Trafikverket (2020). *Klimatkalkyl – infrastrukturens klimatpåverkan och energianvändning i ett livscykelperspektiv*. <https://www.trafikverket.se/tjanster/system-och-verktyg/Prognos--och-analysverktyg/Klimatkalkyl/> [2020-12-28]



Bjerking AB

Maria Nylander
010-211 85 13
maria.nylander@bjerking.se

Ing-Marie Nyström
010-211 81 57
ing-marie.nystrom@bjerking.se

Granskad av:

Johanna Fredén
010-211 82 52
johanna.freden@bjerking.se

Datum:

2021-06-14



Bilaga 1

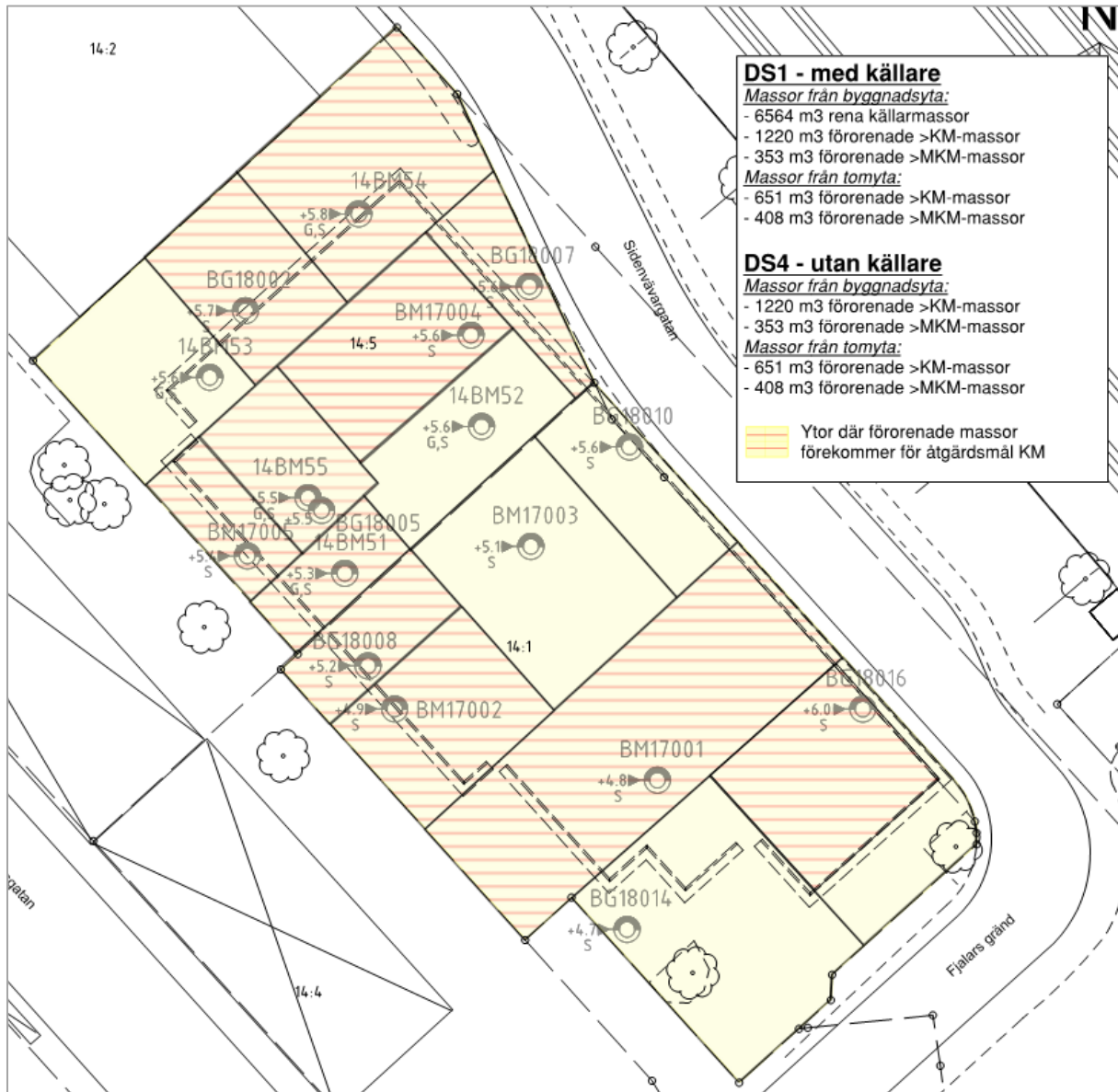
Uppdrag nr. 20U0113

Sida 1 (4)

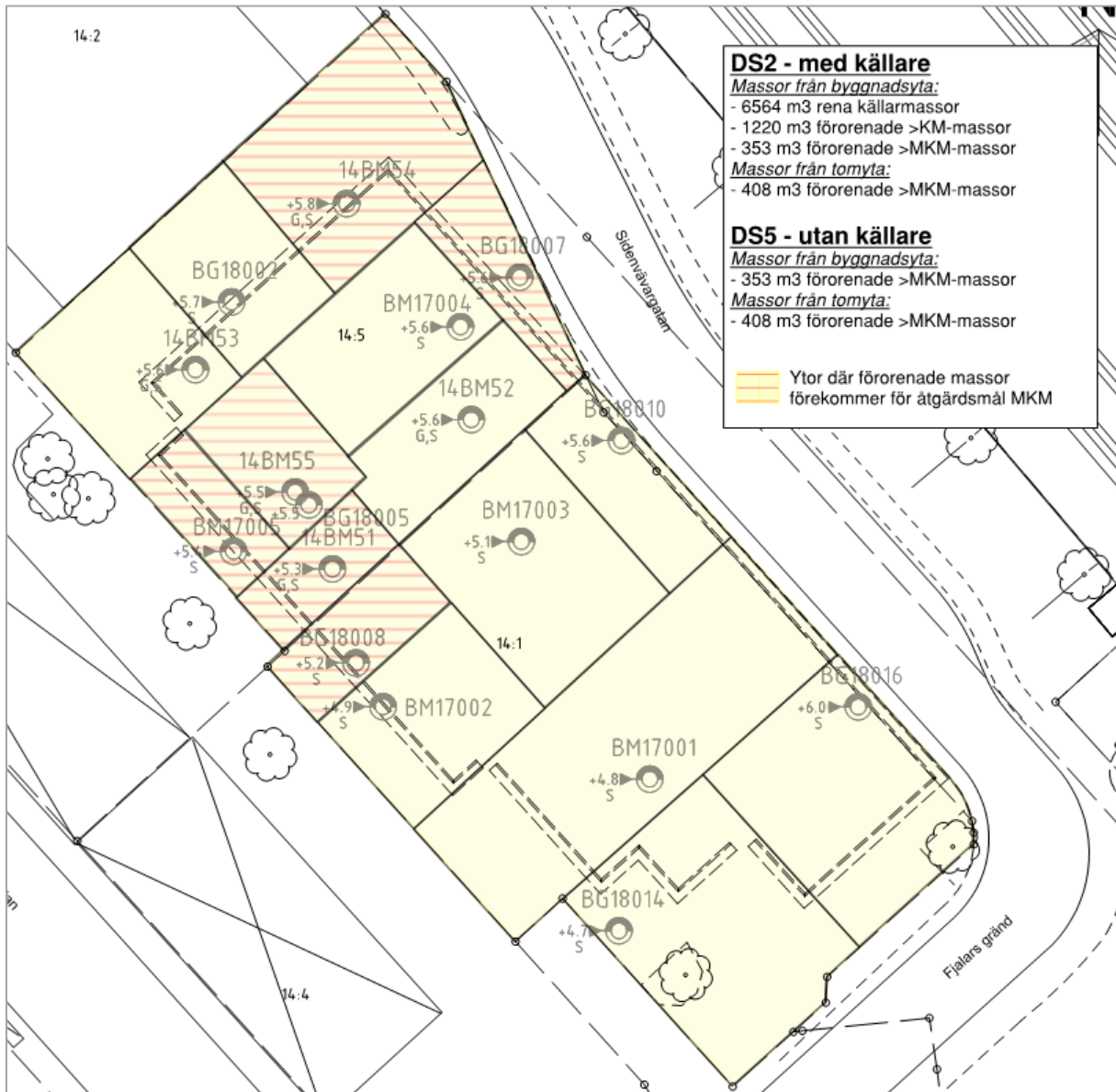
Tabell 1. Sammanställning samt beräkning av mängd förorenade >KM- samt >MKM-massor för byggnadsyta respektive tomtyta baserat på uppdelning av 16 delytor.

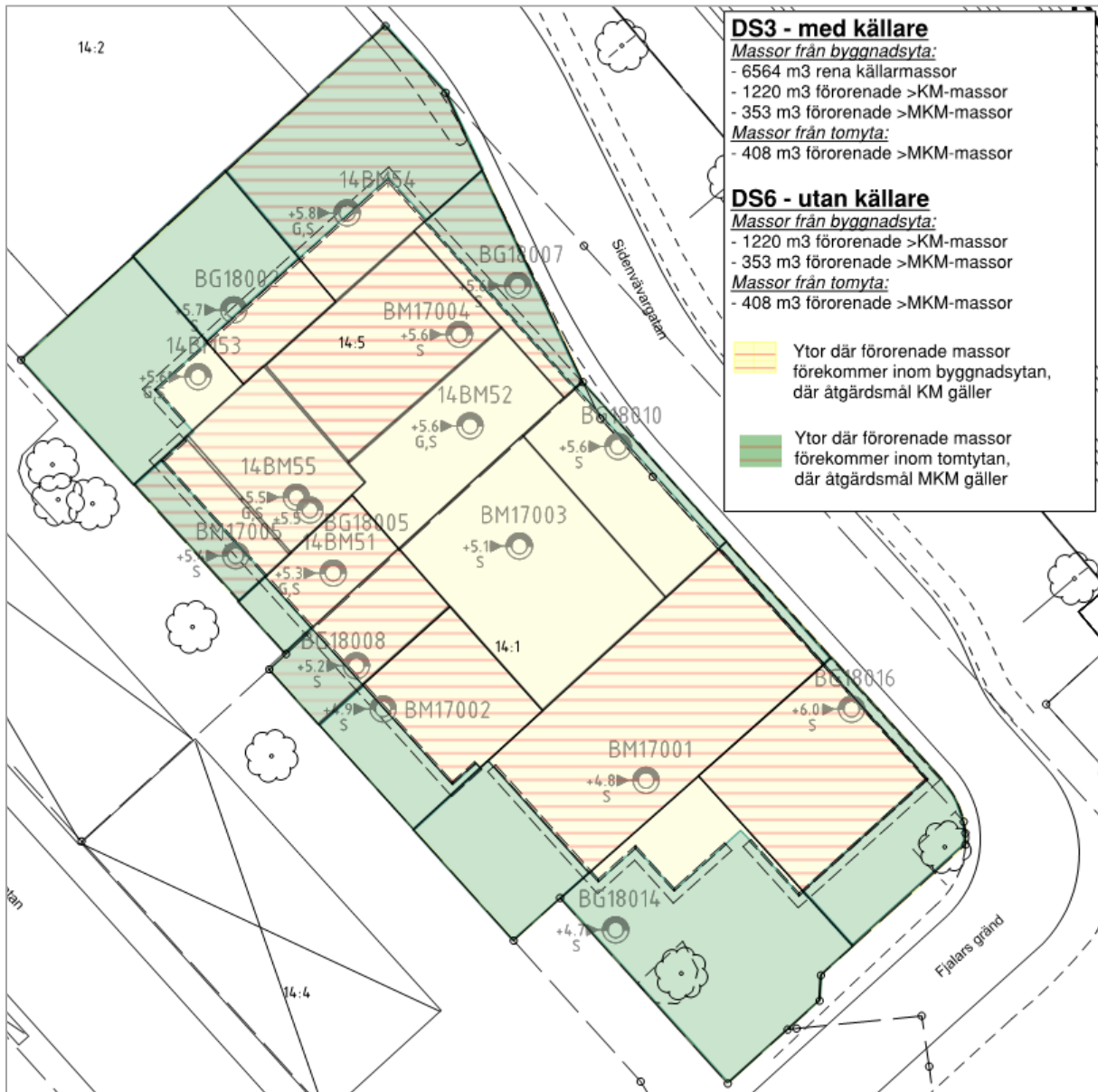
Delyta	Provtagningspunkt	Schaktdjup [m]		Area [m ²]			Mängd förorenade massor [m ³]			
		>MKM	>KM	Byggnadsyta + tomtyta	Byggnadsyta	Tomtyta	Byggnadsyta, >KM-massor	Byggnadsyta, >MKM-massor	Tomtyta, >KM-massor	Tomtyta, >MKM-massor
1	14BM53	0	0	232	37	196	0	0	0	0
2	BG18002	0	1,2	193	65	129	77	0	155	0
3	14BM54	0,5	0,5	333	63	270	0	31	0	135
4	BM17005	0,6	1	102	50	52	20	30	21	31
5	14BM55 BG18005	0,6	1	149	149	0	59	89	0	0
6	BM17004	0	0,5	236	236	0	118	0	0	0
7	BG18007	2	3	118	32	86	32	64	86	172
8	14BM51	0	0,8	100	77	23	61	0	18	0
9	14BM52	0	0	192	192	0	0	0	0	0
10	BG18008	1,7	1,7	122	82	41	0	139	0	69
11	BM17003	0	0	329	329	0	0	0	0	0
12	BG18010	0	0	159	142	17	0	0	0	0
13	BM17002	0	2	224	147	78	293	0	155	0
14	BM17001	0	1	591	440	152	440	0	152	0
15	BG18014	0	0	408	70	338	0	0	0	0
16	BG18016	0	0,5	365	237	128	119	0	64	0

Summa	3854	2344	1509	1220	353	651	408
--------------	-------------	-------------	-------------	-------------	------------	------------	------------



Figur 1. Ytor där mängd förorenade massor förekommer för åtgärds målet känslig markanvändning (KM). Detta är aktuellt för designscenario DS1 och DS4.

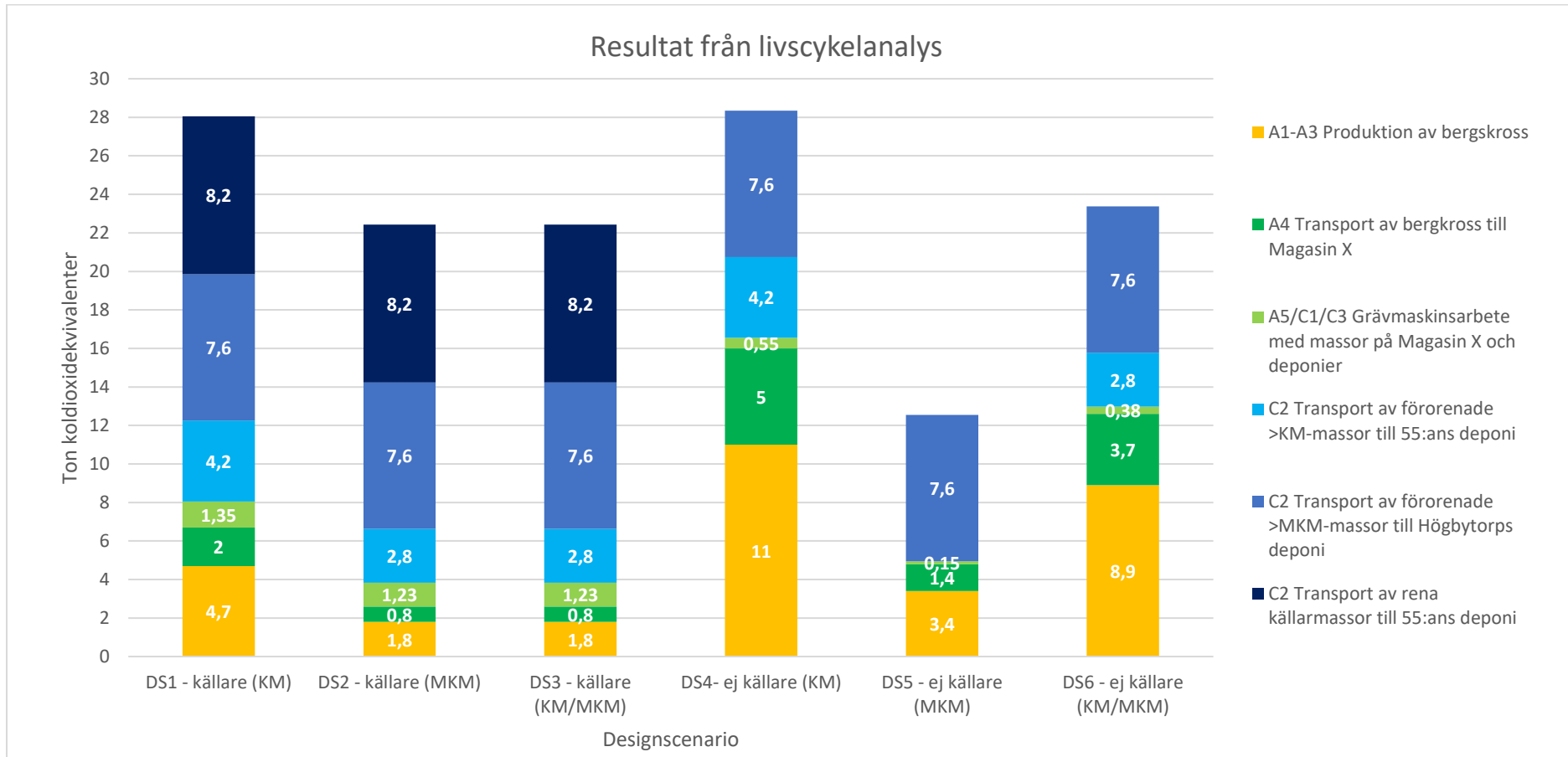




Figur 3. Ytor där mängd förorenade massor förekommer om åtgärds målet känslig markanvändning (KM) gäller för byggnadsytan och åtgärds målet mindre känslig markanvändning (MKM) gäller för tomytan. Detta är aktuellt för designscenario DS3 och DS6.

Tabell 1. Sammanställning av genererade ton koldioxidekvivalenter för respektive moduler och designscenarion.

Design-scenario	A1-A3	A4	A5	C1	C1	C1	C2	C2	C2	C3	C3	C3	Summa
	Produktions av bergkross ton CO ₂ -ekv	Transport av bergkross till Magasin X ton CO ₂ -ekv	Grävmaskinsarbete med bergkross på Magasin X ton CO ₂ -ekv	Grävmaskinsarbete med rena källarmassor på Magasin X ton CO ₂ -ekv	Grävmaskinsarbete med förorenade >KM-massor på Magasin X ton CO ₂ -ekv	Grävmaskinsarbete med förorenade >MKM-massor på Magasin X ton CO ₂ -ekv	Transport av rena källarmassor till 55:ans deponi ton CO ₂ -ekv	Transport av förorenade >KM-massor till 55:ans deponi ton CO ₂ -ekv	Transport av förorenade >MKM-massor till Högbytorps deponi ton CO ₂ -ekv	Grävmaskinsarbete med rena källarmassor på 55:ans deponi ton CO ₂ -ekv	Grävmaskinsarbete med förorenade >KM-massor på 55:ans deponi ton CO ₂ -ekv	Grävmaskinsarbete med förorenade >MKM-massor på Högbytorps deponi ton CO ₂ -ekv	
DS1	4,7	2	0,07	0,46	0,13	0,05	8,2	4,2	7,6	0,46	0,13	0,05	28,1
DS2	1,8	0,8	0,03	0,46	0,09	0,05	8,2	2,8	7,6	0,46	0,09	0,05	22,4
DS3	1,8	0,8	0,03	0,46	0,09	0,05	8,2	2,8	7,6	0,46	0,09	0,05	22,4
DS4	11	5	0,19	0	0,13	0,05	0	4,2	7,6	0	0,13	0,05	28,4
DS5	3,4	1,4	0,05	0	0	0,05	0	0	7,6	0	0	0,05	12,6
DS6	8,9	3,7	0,14	0	0,05	0,05	0	2,8	7,6	0	0,09	0,05	23,4



Figur 1. Sammanställning av genererade ton koldioxidkvalenter för respektive moduler och designscenarion.