

Miljöinverkan av olika grundläggningsmetoder

En jämförelsestudie mellan grundkonstruktioner idag

Shpetim Sulejmani | Byggnadsmaterial | LTH | Lunds universitet

Reviderad version



Miljöinverkan av olika grundläggningsmetoder En jämförelsestudie mellan grundkonstruktioner idag

Shpetim Sulejmani



LUND
UNIVERSITY

Bachelor Thesis, Report 5123, Division of Building Materials, Faculty of Engineering, Lund University, Lund, 2020

Examensarbete, Rapport 5123, Avdelningen Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund, 2020

Miljöinverkan av grundläggningsmetoder
En jämförelsestudie mellan grundkonstruktioner idag

Shpetim Sulejmani

Report: 5123

ISRN LUTVDG/TVBM-20/5123 -SE

Antal sidor/Number of pages: 65

Illustrationer/Illustrations: 21

Sökord/Keywords: Grundkonstruktion, platta på mark, cellglas, cellplast EPS, värmeisolering, klimatpåverkan, LCA, EPD, återanvändning, återvinning/Foundation, slab foundation, cellular glass, EPS, thermal insulation, climate impact, LCA, EPD, reuse, recycling

Abstract: Sweden has set a climate goal that emissions generated by businesses within Sweden by 2045 should be at least 85% lower than emissions in 1990. In 2017, the construction and real estate sector accounted for 19 % of Sweden's total greenhouse gas emissions. A large part of a building's climate impact occurs during the product phase. The foundation is part of a building's design which significantly contributes to its climate impact. The most common foundation method for Swedish houses today is concrete slab, where cellular EPS is usually used as the underlying insulation. Concrete is one of the most carbon-intensive materials, which is unfortunate for the construction industry's aim for a climate-neutral building sector. Even though climate-enhanced concrete is now on the market, there is still a long way to go until we have reached a climate-neutral building sector. In order to succeed in achieving the set climate goals, the construction industry must partly develop alternative sustainable materials and partly methods that contribute to reduced concrete use and reduced emissions.

Cellular glass is an inorganic material that has many advantageous properties, such as good thermal insulation and load-bearing capacity, which makes it a very suitable material to have in the foundation.

In this study, a case study was conducted to investigate the climate impact in the production phase (module A1-A3) of a concrete slab foundation compared to two different slab foundations. A climate-enhanced concrete slab foundation, a concrete slab foundation with cellular glass insulation. The climate impact of the materials was taken from the environmental declarations (EPD). The study also compared the possibilities of reusing/ recycling the materials in the various foundation construction. Finally, the properties of the thermal insulation materials of a foundation, cellular glass and cellular EPS, have also been discussed.

The results showed that the climate-enhanced concrete slab foundation had the lowest climate impact. Cellular glass has great opportunities for reuse/ recycling and that it maintains its insulating ability over a longer period of time.

© Copyright: Shpetim Sulejmani, Division of Building Materials, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2020 Avdelningen Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2020

Byggnadsmaterial
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.byggnadsmaterial.lth.se

Division of Building Materials
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

www.byggnadsmaterial.lth.se/english

Sammanfattning

Sverige har satt som klimatmål att utsläppen från verksamheter inom Sverige senast år 2045 ska vara minst 85 % lägre än utsläppen år 1990. År 2017 stod bygg- och fastighetssektorn för 19 % av Sveriges utsläpp av växthusgaser. En stor del av en byggnads klimatpåverkan uppstår redan under produktskedet. Grundläggning är en del i en byggnadskonstruktion, som betydligt bidrar till en byggnads klimatpåverkan. Den vanligaste grundläggningsmetoden för svenska villor idag är platta på mark, där vanligtvis cellplast EPS används som underliggande isolering. Betong är, olyckligtvis för byggbranschen strävan mot klimatneutral byggsektor, ett av de mest koldioxidintensiva materialen. Trots det faktum att klimatförbättrad betong numera finns på marknaden kvarstår en lång väg mot klimatneutral byggsektor. För att lyckas med att uppnå de uppsatta klimatmålen måste byggbranschen dels ta fram alternativa hållbara materialen och metoder som bidrar till minskat betonganvändande och minskat utsläpp.

Cellglas är ett oorganiskt material som har många bra egenskaper, exempelvis bra värmeisolering och lastbärande förmåga, vilket gör det till ett ytterst lämpligt material att ha i grundläggningen.

I den här studien utfördes en casestudie för att undersöka klimatpåverkan i produktskedet (modul A1-A3) hos en traditionell platta på mark har jämfört med två andra grundläggningar. En grundläggning med klimatförbättrad betong, en grundläggning med cellglasisolering. Materialens klimatpåverkan hämtades från miljödeklarationer (EPD). I studien har det även förts resonemang kring möjligheterna till återanvändning/återvinning av materialen i de olika grundläggningsmetoderna. Slutligen har värmeisoleringsegenskaperna för värmeisoleringsmaterialen i en grundkonstruktion, cellglas och cellplast, diskuterats.

Resultaten visade att grundläggningen med klimatförbättrad betong hade lägst klimatpåverkan av alla grundläggningar i studien. Cellglas har stora möjligheter till återanvändning/återvinning samt att den bibehåller sin isolerförmåga över längre tid.

Nyckelord: Grundkonstruktion, platta på mark, cellglas, cellplast EPS, värmeisolering, klimatpåverkan, LCA, EPD, återanvändning, återvinning

Abstract

Sweden has set a climate goal that emissions generated by businesses within Sweden by 2045 should be at least 85% lower than emissions in 1990. In 2017, the construction and real estate sector accounted for 19 % of Sweden's total greenhouse gas emissions. A large part of a building's climate impact occurs during the product phase. The foundation is part of a building's design which significantly contributes to its climate impact. The most common foundation method for Swedish houses today is concrete slab, where cellular EPS is usually used as the underlying insulation. Concrete is one of the most carbon-intensive materials, which is unfortunate for the construction industry's aim for a climate-neutral building sector. Even though climate-enhanced concrete is now on the market, there is still a long way to go until we have reached a climate-neutral building sector. In order to succeed in achieving the set climate goals, the construction industry must partly develop alternative sustainable materials and partly methods that contribute to reduced concrete use and reduced emissions.

Cellular glass is an inorganic material that has many advantageous properties, such as good thermal insulation and load-bearing capacity, which makes it a very suitable material to have in the foundation.

In this study, a case study was conducted to investigate the climate impact in the production phase (module A1-A3) of a concrete slab foundation compared to two different slab foundations. A climate-enhanced concrete slab foundation, a concrete slab foundation with cellular glass insulation. The climate impact of the materials was taken from the environmental declarations (EPD). The study also compared the possibilities of reusing/ recycling the materials in the various foundation construction. Finally, the properties of the thermal insulation materials of a foundation, cellular glass and cellular EPS, have also been discussed.

The results showed that the climate-enhanced concrete slab foundation had the lowest climate impact. Cellular glass has great opportunities for reuse/ recycling and that it maintains its insulating ability over a longer period of time.

Keywords: Foundation, slab foundation, cellular glass, EPS, thermal insulation, climate impact, LCA, EPD, reuse, recycling

Förord

Detta examensarbete på 22,5 högskolepoäng, är en avslutande del av min utbildning på Byggteknik med arkitektur på Campus Helsingborg. Examensarbetet utfördes under våren 2020 på avdelningen för byggnadsmaterial vid institutionen för bygg-och miljöteknologi vid Lunds Tekniska Högskola.

Inspirationen till studien fick jag genom att det stod listad som förslag till examensarbete på hemsidan för avdelning byggnadsmaterial och genom internetsökning.

Jag vill rikta ett stort tack till både min handledare, Paulien Strandberg-de Bruijn för hjälp hon har bidragit med och min examinator Peter Johansson för sitt stöd. Jag vill även tacka Alan Esad på Dry-IT AB, Malmö som vänligen såg till att jag fick sitta på Dry-IT kontoret och som har stöttat mig under hela den här resan.

Jag vill tacka Suleiman El-Zoubi från SEZ Byggkonsult AB som har bistått med ritningar och ställt upp flera gånger när jag har velat bolla idéer.

Sist men inte minst vill jag tacka mina nära och kära som har stöttat mig genom hela min utbildning och slutligen även mitt examensarbete.

Shpetim Sulejmani

Malmö, 2020

Begreppslista

Ånghalt (v) = Anger hur många kg vattenånga det finns per kubikmeter luft

Mättnadsånghalt (vs)= Den maximala ånghalten vid en given temperatur

Relativa fuktigheten (RF) = kvoten mellan verklig ånghalt och mättnadsånghalt

Fukttillstånd= Kvot av verklig fukthalt och fukthalt vid vattenmättat tillstånd

Permeabilitet = Materials genomsläpplighet av gaser och vätskor på grund av skillnader i tryck

Ånggenomsläpplighet = Materialets genomsläpplighet för vattenånga på grund av skillnader i ånghalt

Kapillär stighöjd = Den höjd vattnet i ett poröst material kan stiga från en fri vätskeyta.

Kapillärbrytande skikt = Har som uppgift att förhindra kapilläruppsugning genom skiktet

Dränerande skikt = Skikt genom vilket vatten i vätskefas kan rinna genom tyngdkraftens inverkan. Har som uppgift att avleda vatten i eller intill byggnadskonstruktioner

Markfukt= Kommer från nederbörd och grundvatten och binds i jordmaterial eller spricksystem. Fukten kommer i kontakt med husgrunden genom kapillärstigning

Byggfukt= Överskott av fukt som har lagrats i byggnadsmaterial som frigörs och förångas efter att kommit i fuktjämvikt med omgivningen

Luftfukt= Mängden fukt som finns i luften beroende på klimat och väder

Global warming potential (GWP)= ”Global uppvärmningspotential”. Anger hur stor effekt olika växthusgaser har på den globala uppvärmningen.

Koldioxidekvivalenter (CO₂-ekv) = Alla växthusgaser som bidrar till den globala uppvärmningen anges i koldioxidekvivalenter. Enkelt sätt att jämföra olika gasers klimatpåverkan.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och målformulering	2
1.3 Metodbeskrivning	2
1.4 Avgränsning	2
2 Grundläggningsmetoder	3
2.1 Platta på mark	5
2.2 Krypgrund	6
2.3 Plintgrund	8
2.4 Källargrund	10
3 Värmeisoleringsmaterial	12
3.1 Cellplast	13
3.2 Cellglas	16
3.3 Isoleringsmaterialens termiska egenskaper	18
3.3.1 Cellplast EPS termiska egenskaper	19
3.3.2 Cellglasets termiska egenskaper	20
4 Miljöpåverkan hos byggnader	22
4.1 Livscykelanalyser	22
4.1.1 LCA studier på byggnader i Sverige	23
4.1.2 Grundläggning	26
4.1.3 Platta på mark	27
4.1.4 Betong	28
4.1.5 Armeringsstål	30
4.1.6 Isoleringsmaterial	30
4.2 Miljövarudeklaration (EPD)	31
4.2.1 EPD för grundkonstruktionen platta på mark med standardbetong	32
4.2.2 EPD för grundkonstruktionen platta på mark med klimatförbättrad betong	33
4.2.3 EPD för grundkonstruktionen platta på mark med cellglasisolering	34
4.3 Återanvändning/ återvinning	35
4.3.1 Betong	36
4.3.2 Armering	36
4.3.3 Cellplast	36
4.3.4 Cellglas	37
5 Casestudie	38
5.1 Referensobjekt	38

5.1.1 Detaljlösning för Grundkonstruktionerna A-C	39
5.2 Utsläpp av konstruktionerna A1-A3	40
5.2.1 Grundkonstruktion A - Traditionell platta på mark med konventionell betong	40
5.2.2 Grundkonstruktion B - Traditionell platta på mark med klimatförbättrad betong	41
5.2.3 Grundkonstruktion C - Traditionell platta på mark med cellglasisolering	42
6 Diskussion.....	43
6.1 Metoddiskussion	43
6.2 Resultatdiskussion.....	44
6.2.1 Koldioxidutsläpp från materialproduktion (A1-A3).....	44
6.2.2 Återanvända/Återvinna.....	45
6.2.3 Jämförelse mellan cellplast EPS och cellglas.....	46
7 Slutsats	48
8 Referenser	50

Bilagor

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sverige antagit klimatmål om att utsläppen från verksamheter inom Sverige senast år 2045 ska vara minst 85 % lägre än utsläppen år 1990 (Naturvårdsverket 2019a). Boverket (2020) visade siffror under 2017 på att bygg- och fastighetssektorn stod för inhemska utsläpp av växthusgaser på cirka 12,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Det motsvarar 19 % av Sveriges totala utsläpp. Därför har byggbranschen gemensamt tagit fram en färdplan för att nå klimatmålen som senast ska uppnås år 2045 inom ramen för regeringsinitiativet ”Fossilfritt Sverige” (Naturvårdsverket 2019b).

Under 2017 stod bygg- och fastighetssektorn för 32 % av Sveriges totala energiförbrukning. Den höga siffran kommer främst från energi för uppvärmning och transporter (Boverket, 2020a). Utifrån dessa siffror kan slutsatsen om att en förbättrad värmeisolering skulle medföra till minskat energiförbrukning (Sandin, 2010). För att byggbranschen ska uppnå de uppsatta målen behöver Sverige ta fram hållbara alternativa material samt åtgärder som leder till minskat användande av betong (Naturvårdsverket, 2019b).

I Sverige har det historiskt sett funnits fyra olika grundläggningsmetoder: källare, kryppgrund (torpargrund), plintgrund och platta på mark. Plintgrund anses vara den säkraste ur fuktsynpunkt samt att den medför till minst ingrepp i marken (Bokalders & Block, 2014). Dock anses platta på mark vara bättre ur energisynvinkel. Medvetenheten kring fuktproblematiken i grunderna har ökat. Husen idag isoleras bättre, vilket har lett till att vissa grundläggningar har blivit mer förekommande (Bokalders & Block 2014). Den vanligaste grundläggningsmetoden för svenska villor idag är platta på mark, som är en grundkonstruktion bestående av betongplatta med underliggande isolering, vanligen cellplast. Platta på mark är en byggnadsfysikalisk utformning som anses utifrån dagens kunskapsläge vara en säker konstruktion (Sandin 2010).

Enligt fukthandboken (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson 2017) har cellplasten en betydligt högre ånggenomsläpplighet jämfört med exempelvis cellglas. Cellplast är dessutom en fossilbaserad produkt. Cellglas är ett oorganiskt material med bra värmeisoleringsegenskaper och lastbärande förmåga som kan ersätta den konventionella platta på mark metoden (Koljernordic 2020a). Att ersätta cellplast med cellglas kan vara en väg för byggbranschen att bli mer miljövänligt, minska beroendet av betong i grundkonstruktioner samt undvika fossilbaserade produkter i byggande av hus.

1.2 Syfte och målformulering

I examensarbetet skall grundläggningsmetoderna, en traditionell platta på mark med konventionell betong jämföras med klimatförbättrad betong samt med en grundläggning där cellplastisoleringen har bytts ut mot cellglasisolering. En jämförelse mellan de tre grundläggningsmetoderna skall göras för att bedöma vilken som är mest miljövänlig. Förutom att jämföra de olika grundläggningsmetodernas koldioxidutsläpp under produktionsskedet, så skall det även i analysen tas hänsyn till materialens potential till att kunna återanvändas/återvinnas. Dessutom skall isoleringsmaterialen, cellplast EPS och cellglas jämföras utifrån ett antal kriterier, för att avgöra vilket av de två som är bättre lämpat för att verka som underliggande isolering i en grundkonstruktion.

Frågeställningar i det här examensarbetet

1. Vilken av grundläggningsmetoderna har störst klimatbelastning?
2. Vilken av materialen har störst potential till återanvändning/återvinning?
3. Vilket av isoleringsmaterialen har bäst termiska egenskaper?

1.3 Metodbeskrivning

I det här examensarbetet har en litteraturstudie upprättats. Fakta har hämtats från böcker, företagshemsidor och vetenskapliga artiklar. Grundidén med examensarbetet var att också utföra labbförsök på cellglas och cellplast. Detta för att bestämma materialens värmeledningsförmåga vid olika fuktnivåer. På grund av det rådande läget i samhället (Covid-19) fanns det ingen möjlighet att utföra dessa labbförsök. Examensarbetet ändrade fokus till att jämföra mellan grundläggningsmetodernas klimatpåverkan.

1.4 Avgränsning

Arbetet har begränsat sig till cellplast EPS och cellglas på grund av att de är mest förekommande som underliggande isolering vid grundläggning av villor vid konventionell platta på mark.

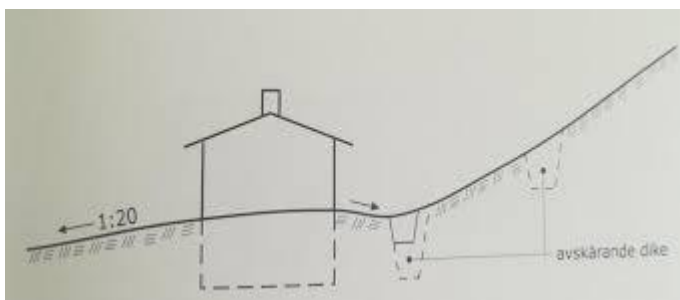
De termiska egenskaperna för cellplast EPS och cellglas har jämförts. En jämförelse mellan vilken av grundläggningsmetoderna som har störst negativ inverkan på miljön har gjorts genom att sammanställa de olika grundläggningsmetodernas utsläpp av växthusgaser i produktskedet. I denna jämförelse ingår platta på mark, platta på mark med klimatförbättrad betong och platta på mark med cellglasisolering. Det har också förts resonemang baserat på tidigare studier om potentialen att återvinna/återanvända materialen som används för respektive grundläggningsmetoder. I analysen kommer enbart en del av livscykelanalysen (LCA) behandlas, nämligen modul A1-A3. Dock kommer hela LCA att beskrivas i rapporten.

2 Grundläggningsmetoder

Grundläggningen har delar som består ovan marknivå och under marknivå. De delar som ligger under marknivå är kritiska till att skyddas mot vatten. I Sverige är det vanligt att byggnader grundläggs med platta mark, källare eller krypgrund. Det kan också komma förekomma en kombination av dessa grundläggningsmetoder. För att möta kraven på energieffektivisering måste grunderna värmeisoleras och kan placeras på olika sätt för att möta de krav som finns. Olika placeringar av isolering kan bidra till olika grad av fuktsäkerhet. En bra grundregel är att värmeisolering ska ske på den ”kalla sidan”, vilket också är bra ur energisynpunkt då antalet köldbryggor reduceras och invändiga yttemperaturen höjs. Förhöjd invändig yttemperatur är positivt då det minskar risken för mikrobiell påväxt (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson 2017).

Vid grundläggning under nordiska förhållanden finns det ett antal gemensamma krav som måste uppfyllas oberoende av vilken typ av grundläggning som väljs (Arfvidsson et al. 2017).

- Förarbete i form av avlägsnande av organiska beståndsdelar i marken innan byggandet av grundkonstruktionen påbörjas.
- För att framtida dräneringssystem skall fungera måste lutningen från huset ledas mot framtida dräneringsröret.
- Byggnaden måste grundläggas på ett betryggande djup för att undvika tjällyftning i tjälfarliga jordar.
- Det är alltid nödvändigt med värmeisolering i grunden för att uppnå samhällets krav på energieffektivisering.
- Placeringen av värmeisoleringen är viktig ur en fuktsäkerhetssynpunkt.
- Det är viktigt att grundkonstruktionen är lufttät vid områden med markradon.
- Markytan måste luta 3 meter ut från grunden med minst en lutning på 1:20 för att avleda ytvatten, se Figur 1.



Figur 1 Ytvattenavledning (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson 2017)

De flesta fuktskador som har uppkommit i grundkonstruktioner har orsakats av markfukt i ångfas eller vätskefas (Plast- & Kemiföretagen 2010). Åtgärder som har vidtagits för att komma till rätta med det här problemet är bygga med platta på mark metoden med underliggande kapillärbrytande och diffusionströg värmeisolering som skydd mot markfukt (Sandin 2010).

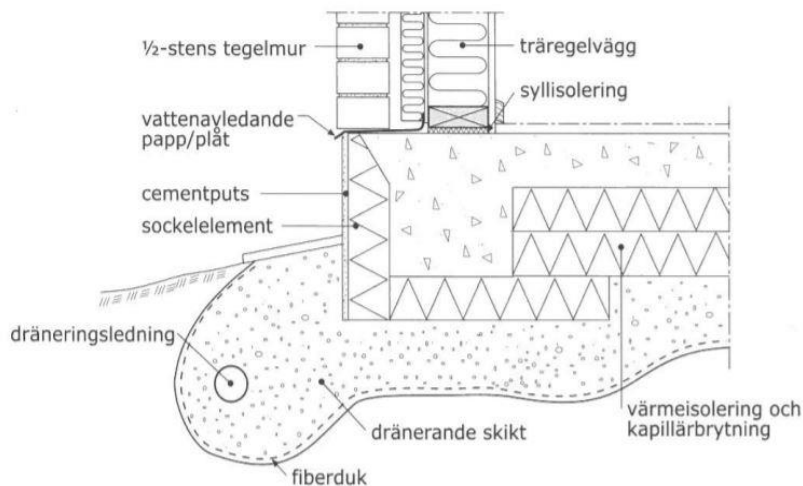
För att förhindra att markfukten sugs upp kapillärt används oftast ett lager på minst 150 mm makadam. Makadamskiktet uppfyller även dränerande funktion. Makadamskiktet måste kompletteras med ytterligare kapillärbrytande skikt. Oftast utgör cellplast EPS ett sådant skikt. Anledningen till detta är att makadamskiktets kapillärbrytande effekt inte är helt säker (Arfvidsson et al. 2017).

Det finns ett flertal grundläggningsmetoder beroende på markens egenskaper och beroende på belastningen marken kommer att utsättas för (Kiilsgaard, 2019). Vid fastare jord och berg räcker det oftast med en ytlig grundläggning. Djupare grundläggning krävs när jorden är så pass lös att det behövs pålning eller förstärkning av jorden för att sättningar inte ska bli för stora eller ras inte ska inträffa (Kiilsgaard 2019). Beroende på jordens bärighet användes olika metoder, varav de vanligaste är platta på mark, krypgrund, plintgrund och kompensationsgrundläggning (ex källare) (Kiilsgaard 2019).

Kompensationsgrundläggning innebär att mängden jord som motsvarar husets egentyngd schaktas bort och fylls på med lättfyllnadsmaterial som till exempel cellplast (Grundmäklarna 2017). Medan pålning används när marken saknar bärighet för att bära husets egentyngd och då hamnar belastningen helt på pålarna (Grundmäklarna 2017).

2.1 Platta på mark

Plattan utförs av armerad betong med kantförstyvningar under bärande linjer som gjuts på underliggande cellplast som vilar direkt på undergrunden, se Figur 2. Under isoleringen finns ett dränerande skikt bestående av singel eller makadam. Platta på mark är den mest förekommande grundläggningsmetoden och den anses vara en fuktsäker konstruktion om isoleringen placeras på undersidan av betongplattan (Sandin 2010).



Figur 2 –Platta på mark (Sandin 2010)

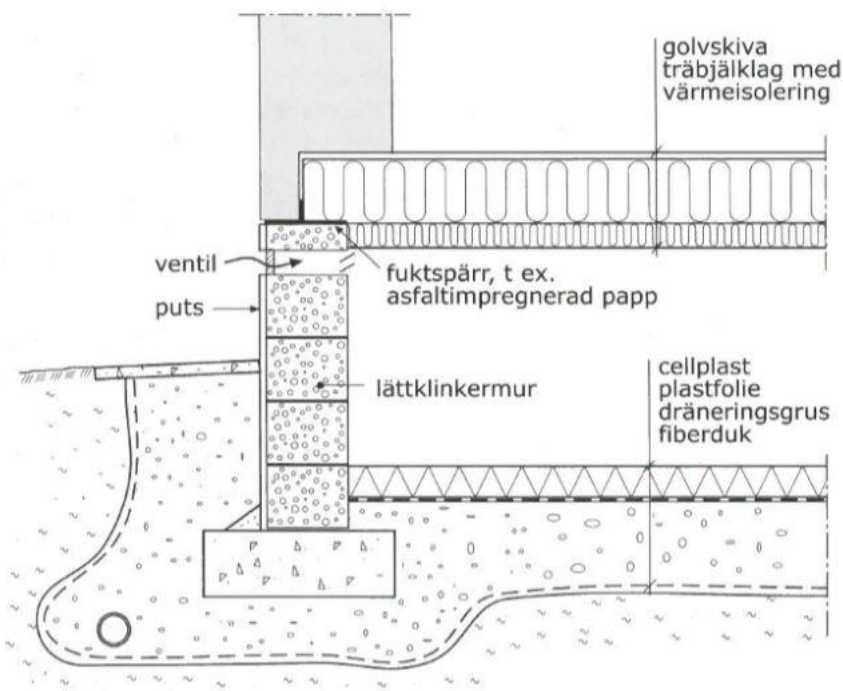
Platta på mark introducerades i Sverige under 1950-talet och då placerades värmeisoleringen i huvudsak över betongplattan (Sandin 2010). Det konstaterades att det uppkom fuktskador och orsaken till detta var huvudsakligen uppstigande markfukt i ångfas (Sandin 2010). Efter det placerades värmeisolering under betongplattan istället och limmade en plastmatta direkt på betongplattan. Även denna konstruktion drabbades av problem i form av lossande golvmattor och förtvålning av limmet med luktproblem till följd. I detta fall var fuktillståndet under den täta golvmattan högre än limmets kritiska fuktillstånd. Anledningen till detta problem var att byggfukten inte hade torkat ut tillräckligt.

Eftersom platta på mark läggs direkt på marken förutsätts den relativa fuktigheten (RF) vara 100 % är det nödvändigt att förhindra att markfukten sugs upp kapillärt i golv och anslutande byggnadsdelar. Cellplast utgör oftast ett sådant skikt. Man brukar vanligtvis isolera grunden med tre lager med förskjutna skarvar för att kunna fastställa att det blir tätt så att fukt i vätskefas inte ska kunna tränga upp till betongplattan genom skarvarna. Betong är ett finkornigt material och får därefter en mycket stor kapillär stighöjd (Arfvidsson et al. 2017). Om vatten kommer i kontakt med betongplattans undersida kommer porerna i betongen att suga åt sig vatten. Vilket leder till att hela betongskiktet erhåller en relativ fuktighet på 100 % efter en tid (Isover 2020a).

2.2 Krypgrund

Krypgrund kännetecknas av att bottenbjälklaget är helt avskilt från marken. Krypgrunden finns i fem olika varianter: torpargrund, öppen krypgrund, uteluftsventilerad krypgrund, inneluftsventilerad krypgrund och oventilerad kryprumsgrund (Sandin 2010). Ur fuktsynpunkt anses krypgrunden vara en riskkonstruktion och den är ifrågasatt av många på grund av att luftfuktigheten kan bli så pass hög att det kan uppstå mögel i grundkonstruktionen. Dock kan inte vattnet sugas upp kapillärt till bottenbjälklaget på grund av mellanrummet mellan bottenbjälklaget och marken (Arfvidsson et. 2017).

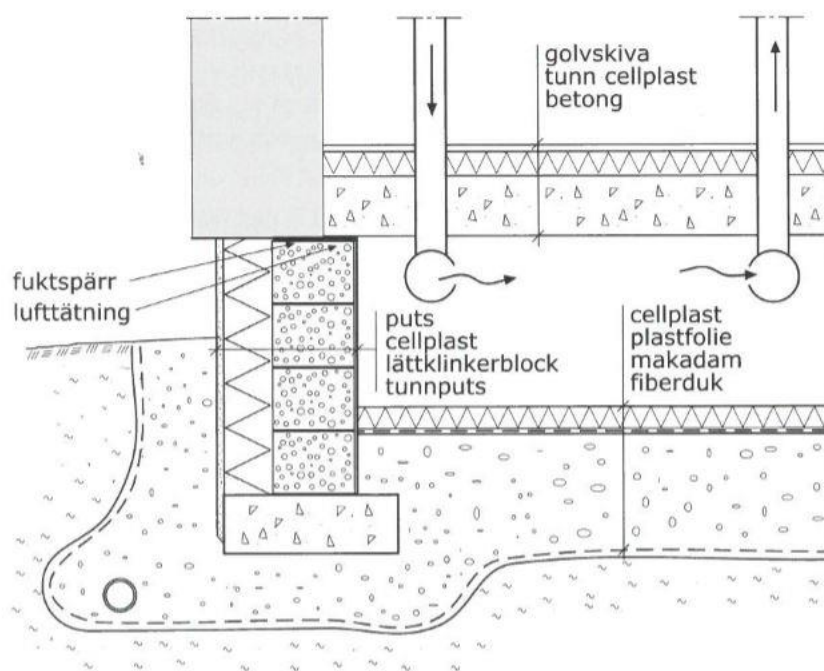
Uteluftsventilerad krypgrund (se Figur 3) var en grundkonstruktion som var vanligast under 1950-talet. Men efter 1970-talet var det många hus med en uteluftsventilerad grundkonstruktion som hade drabbats av mögellukt (Arfvidsson et al. 2017). Detta beror på att höga fukttillstånd erhålls i krypgrunden och risken för mögelpåväxt är stor för organiska material, till exempel vid träbjälklag. Konstruktionen anses idag vara en riskkonstruktion men trots den vetenskapen är grundkonstruktionen förekommande vid nyproduktion (Arfvidsson et al. 2017). Kryputrymmet kan i huvudsak tillföras fukt från marken, byggfukt och luftfukten utifrån (Sandin,2010). Markfukten kan tillföras till grundkonstruktionen genom avdunstning från marken eller via kapillärtransport genom grundmuren. Byggfukten tillförs via fukt från fukttillskott vid byggnation och vid drifttiden till kryprummet (Sandin, 2010). Luftfukten tillförs via ventilerna och är mest kritisk under sommarhalvåret då fuktig luft kondenserar i det svalare kryputrymmet (Sandin 2010).



Figur 3- Uteluftsventilerad krypgrund (Sandin 2010)

Den ineluftsventilerad krypgrunden (se Figur 4) har blivit mer förekommande under senare år på grund av riskerna som finns vid en uteluftsventilerad grundkonstruktion (Sandin 2010). Grundkonstruktionen är ett helt slutet utrymme. Vid en ineluftsventilerad grundkonstruktion är marken och grundmuren värmeisolerad. Marken och grundmuren görs lufttäta genom att plastfolien läggs ut på marken och sedan ansluts lufttätt till grundmuren (Sandin 2010). Inneluften sugns ner i kryprummet och sedan töms ut i det fria. Klimatet i kryputrymmet blir likvärdigt med klimatet i ineluften på grund av att ineluften sugns ner i krypgrunden (Sandin 2010). Eftersom klimatet är densamma bör inte bottenbjälklaget värmeisoleras ur en energisynvinkel men dock bör bottenbjälklaget värmeisoleras på ovansidan av för att uppfylla funktionerna stegljudsisolering och värmebehaglighet (Arfvidsson et al. 2017). Isoleringen bör vara mellan 30-50 cm tjock (Sandin, 2010).

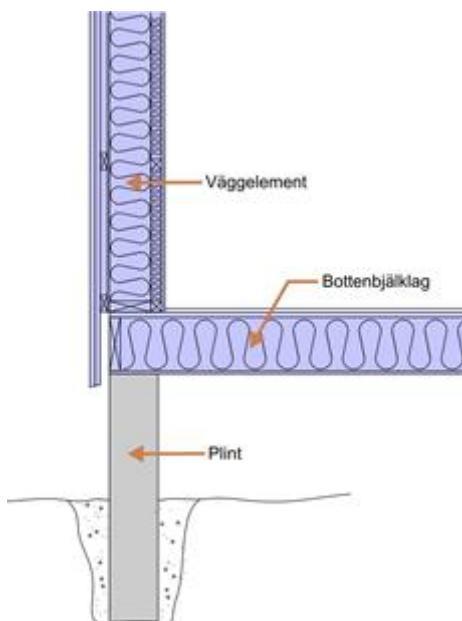
Grundmuren värmeisoleras oftast med ca 100 mm cellplast på utsidan för att eliminera köldbryggor. Genom att ventileras kryprummet med undertrycksventilation blir kraven på tätheten i bottenbjälklaget lägre samt att eventuell förekomst av radon från marken och unken lukt kommer ventileras ut i det fria (Arfvidsson et al. 2017).



Figur 4- Inneluftsventilerad krypgrund (Sandin, 2010)

2.3 Plintgrund

Kännetecknade för plintgrund är att huset ställs på plintar eller pålar (se Figur 5) som förs ned till fast och tjälfri nivå (Arfvidsson et al. 2017). Grundkonstruktionen har ingen sockelmur och den är öppen för väder och vind (Sandin 2010). Lufttemperaturen under bjälklaget är ungefär densamma som temperaturen utomhus och den relativa fuktigheten under bjälklaget densamma som relativa fuktigheten utomhus. Det som skiljer grundkonstruktionen åt från de andra klimatavskiljande delarna är att den inte utsätts för direkt nederbörd och sol (Arfvidsson et al. 2017).



Figur 5 Plintgrund (Byggatill.se 2018)

Konstruktionen ska utformas så att luftrörelserna under huset är kontinuerliga (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson 2017). Det ska vara ett genomgående luftutrymme med en höjd som är högre än 0,5 m och luftrörelserna under huset får inte förhindras för att det ska vara en god ventilation (Arfvidsson et al. 2017).

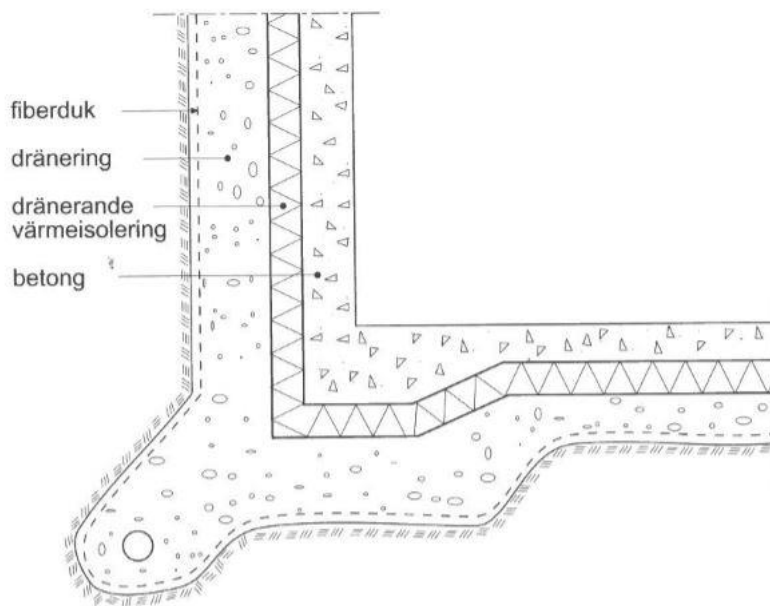
Öppen plintgrund är en grundkonstruktion där det inte behövs att några särskilda åtgärder vidtas jämfört med andra grundkonstruktioner för att säkerställa att den ska erhålla en god funktion ur fuktsynpunkt (Sandin 2010). De enda kraven som ställs är att det ska vara god lufttäthet och god värmeisolering i bjälklaget (Sandin 2010). Om marken är kapillärsugande skall matjordskiktet avlägsnas och ersättas med kapillärbrytande skikt. Dock behövs ingen dränering förutom där det finns en risk att vattnet kan bli stående under huset.

Det brukar inte uppstå några fuktskador på en helt öppen plintgrund, men det finns en risk att det kan förekomma mögel på blindbotten om den är bestående av trä. Under vissa omständigheter kan det vara hög luftfuktighet i utrymmet mellan bjälklaget och marken. När det är hög luftfuktighet kan elak lukt tränga in i huset och påverka inomhusklimatet. Men med god ventilation som det är med en helt öppen plintgrund bör inte det påverka inomhusmiljön (Arfvidsson et al. 2017).

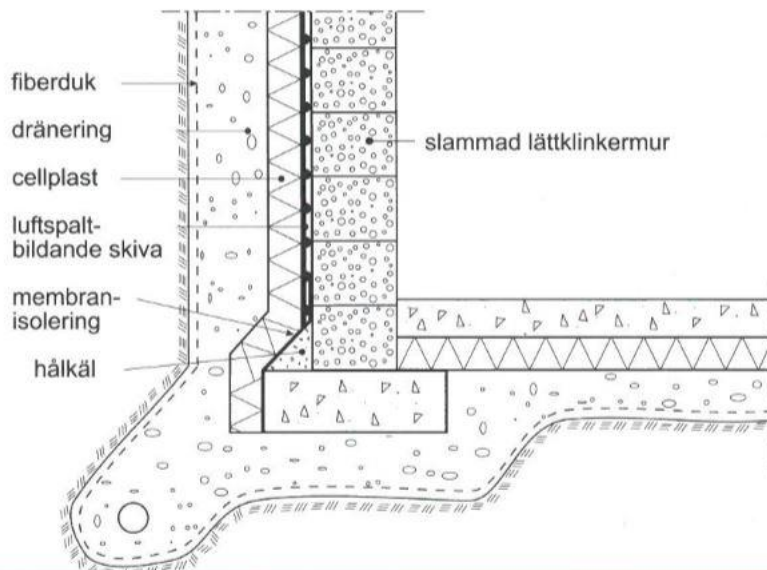
2.4 Källargrund

Källargrunden består av antingen betong eller murade block. Betongen kan utföras som platsgjuten alternativt som prefabricerad (se Figur 6). Källarytterväggen med murade block byggs av block bestående av betong, lättbetong eller lättklinkerbetong (se Figur 7). Källarväggen måste värmeisoleras för att uppnå ett önskat klimat inomhus. Ur fuktsynpunkt och för att uppnå energieffektivitets kraven bör värmeisoleringen placeras på utsidan av källarväggen. Principen för att värmeisolera på utsidan är samma som för platta på mark med en underliggande isolering (Arfvidsson et al. 2017).

Dock är värmemotståndet för jorden vid en källargolvet större jämfört med jorden vid en platta på mark grundkonstruktion. Det innebär då att krävs tjockare värmeisolering för att uppnå samma temperaturfördelning för isoleringens undersida och översida som vid en platta på mark (Arfvidsson et al. 2017). Annars är förutsättningar samma för bägge grundkonstruktionerna.



Figur 6- Källare med betong (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson, 2017)



Figur 7 Källare med lättklinker mur (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson, 2017)

I småhus kan det förekomma ytterväggar under marken i sluttningshus. Källare förekommer mest i större byggnader och kontorsbyggnader där man använder källaren som parkeringsyta och undercentraler (Arfvidsson et al. 2017). Annars byggs flerbostadshus utanför stadskärnan och många andra byggnader utan källare.

Förr i tiden var inte kraven särskilt höga på inomhusklimatet och fuktskyddet på grund av att källaren användes som förråd till bränsle, mat och cyklar. Men nu har källaren helt andra användningsområden såsom tvättstuga, bastu, samlingslokal, gillestugor, hobbyrum och till med ibland bostäder (Arfvidsson et al. 2017). Det innebär att det ska uppfylla samma krav på klimatet som i en vanlig bostad och lokal. Källarväggen utsätts för större påfrestningar än andra grundkonstruktioner på grund av den är helt eller delvis under mark. Det innebär att det är betydligt svårare att ta fram ett fungerande och beständigt fuktskydd. För att förhindra att vatten suges upp kapillärt i grundmuren placerar man ett kapillärbrytande skikt under källargolvet och på utsidan av grundsulan (Arfvidsson et al. 2017).

3 Värmeisoleringsmaterial

Värmeisoleringen i en byggnad ska huvudsakligen stänga ute kyla, vind och regn för att kunna bidra till ett behagligt inomhusklimat. Med en god isolering minskas husets energibehov och då blir även uppvärmningskostnaderna lägre. Vid val av värmeisoleringsmaterial och tjocklek bör en kalkyl upprättas där både kostnaderna för att aktuell uppvärmningsenergi och kostnaderna för att utföra isoleringsåtgärden beaktas. En liknande kalkyl ska upprättas för att upprätta en beräkning av den miljöpåverkan (till exempel utsläpp av CO₂) som varierande isoleringsmaterial och varierande tjocklekar ger. I en sådan kalkyl ersätts kostnaden i kronor med CO₂- utsläpp. Dock innehåller en sådan kalkyl betydligt fler antagande om energislag och lokala förutsättningar för transporter etcetera (Burström & Nilvér 2018).

Om värmeisoleringen är tillräckligt tjock och förblir hel under byggtiden samt att skarvar och genomföringar kan utföras på ett fuktsäkert vis funkar lösningen bra mot markfukt. För att dimensionera mot markfukt i ångfas räknas det med att markens relativa fuktighet ligger på 100 % ända upp till isoleringens undersida och att golvbeläggningen är helt diffusionstät. Om det inte uppstår en temperaturskillnad på 3-4 °C mellan mark och betongplatta kommer det leda till att RF i betongen blir 100 % efter en tid (Arfvidsson et al. 2017).

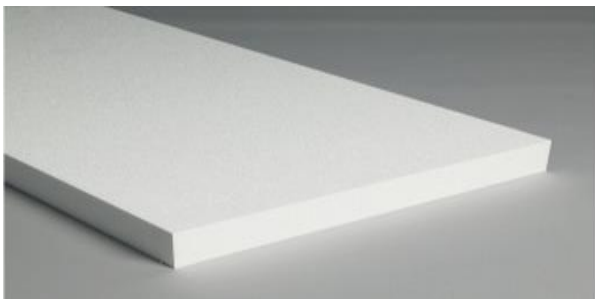
När värmeisoleringen placeras under betongplattan blir det en temperaturskillnad mellan marken och betongplattan. Det innebär att den relativa fuktigheten i betongen blir lägre. Temperaturförloppet man får över en värmeisolering är direkt proportionellt mot värmeflödet och mot isoleringens värmemotstånd (Arfvidsson et al. 2017).). För att kunna fastställa att en given konstruktion ligger på en acceptabel nivå ur ett fuktperspektiv måste de kritiska fuktillstånden vara kända för de ingående materialen (Arfvidsson et al. 2017).

Under vissa omständigheter råder det en viss osäkerhet om värmeisoleringen under grunden kommer vara tillräckligt ångtät mot markfukt i ångfas. Exempelvis breda byggnader eller betongplatta med inbyggd golvvärme. Vid breda byggnader kan marken bli varmare än betongplattan och det leder till att fuktvandringen vandrar upp mot betongplattan istället för att det ske neråt. En grundkonstruktion med inbyggd golvvärme brukar husägaren stänga av golvvärmen under sommartid och då kommer betongen kylas av till rumstemperatur. Det blir en större ånghalt i marken på grund av att värmeisolering värmt upp marken och då kommer att fuktvandringen ske från marken (Arfvidsson et al. 2017).

3.1 Cellplast

Cellplast är en termoplast som tillverkas genom att en lämplig plast expanderas. På så sätt bildas ett system av porer som både kan vara slutna eller öppna. Från ett värmeisolerings- och fuktperspektiv bör porerna vara slutna, men från en ljudabsorptionperspektiv bör porerna vara öppna. (Burström & Nilvér 2018). Värmeisoleringen som huvudsakligen används i en grundkonstruktion idag är cellplast. Orsaken till detta är att kostnaden för en grundkonstruktion blir lägre, skivorna är lätta och falsade. Det underlättar utläggningen samtidigt som skivorna förhåller sig till varandra på ett bra sätt. Det bör uppmärksammas att cellplast är relativt ånggenomsläpplig (Sandin 2010). Ett av cellplastens vanligaste användningsområden är som värme- och fuktisolering under platta på mark (Burström & Nilvér 2018). EPS skivor kan även användas i takkonstruktioner, väggelement, större grunder och lastbärande konstruktioner (Sundolitt 2020). Densiteten och isoleringsförmåga utgör kvalitetsklassen på en cellplast skiva.

Polymeren polystyren uppfanns 1938. I ett vardagligt tal brukar man säga frigolit. Företaget Dow Chemical Company har patent på varumärket Frigolit (Madehow 2020). Frigolit är det man kallar cellplast EPS. Cellplast har en vit kulör, se Figur 11.



Figur 8 Cellplast S80 (Xlbygg, 2020)

Polystyrencellplast framställs enligt två olika metoder, expanderad polystyren (EPS) eller extruderad polystyren (XPS). Cellplast EPS består av 91–94 % polystyren, 4–7 % pentan och 1 % brandskyddsmedel. Tillverkningen sker genom att små pärlor med tillsats av pentan utsätts för värme. Pärlan expanderar till en kula som består av 98 % luft. Kulorna smälts sedan samman till en skiva. Tillverkningen i själva verket är komplicerad, den är väldigt energikrävande samt både miljö – och hälsofarlig (Bokalders & Block 2014). Den kan släppa ut ämnena xylen och styren vid tillverkning och brand. Ämnena är både hormonförstörande och skadliga för vårt nervsystem (Bokalders & Block 2014). Dock avger inte en färdig cellplastisolering i princip några farliga gaser. Dess livslängd och isoleringsförmågan väcker oro när den används för att värmeisolera en grund eftersom cellplast EPS kan ta upp till 15 % vatten och

det innebär att cellplastens isoleringsförmåga kommer bli sämre med tiden (Bokalders & Block 2014).

Enligt Pfundstein, Gellert, Spitzner & Rudolphi (2007) kan man mäta en produkt resistans mot vattenånga. Den dimensionslösa indexen μ enligt standarden DIN EN 12086 används för att ange ett material resistans mot vattenångdiffusion (Pfundstein et al. 2007). Cellplastens index för vattenångdiffusionen ligger mellan 20-100 och att cellplast EPS absorberar 1-5 vol. % vatten under långtidsabsorption enligt standarden DIN EN 12087 (Pfundstein et al. 2007).

Enligt Brandskyddsföreningen (2020) är cellplast ett brandfarligt material som bidrar till en ökad brandrisk. Användningen av cellplast EPS har blivit allt vanligare, enligt Brandskyddsföreningen (2020) har användningen ökat med 98 % de senaste 10 åren. EPS används i husets klimatskal samt i sandwichelement (prefabricerade väggelement). Cellplast är en fara för brandkåren på grund av att materialet bidrar till ett snabbt brandförlopp (Brandskyddsföreningen 2020). Det finns flera fall där cellplast har haft katastrofala konsekvenser både ur ett samhälls- och ekonomiskt perspektiv (Brandskyddsföreningen, 2020). Lennart Månson, brandutredare vid räddningstjänsten Östra Götaland påstod i samband med en intervju med Sveriges radio (2011) att cellplast brinner lika bra som bensin och bör undvikas så mycket det bara går.

BBR delar in materialen efter följande kategorier: obrännbara, brännbara och svårantändliga material. Materialen klassas med hjälp av standardiserade provningsmetoder. Cellplast hamnar under klass E och för klass E gäller standardiserade testet SS-EN 11925 (Boverket 2020b). Klass E motsvarar lättantändligt material (Boverket 2020b). Ur brandsynpunkt är oskyddad EPS olämplig på grund av att den är lättantändlig, smälter och brinner under kraftig rökutveckling (Burström & Nilvér 2018).

Cellplast är ett poröst material med slutna porer och kan inte absorbera vatten kapillärt, men om ytan på cellplast skulle skadas finns det en möjlighet att vattnet kan sugas upp kapillärt (Plast - & kemiföretagen 2010). Det finns en möjlighet att det kan ske en fukttransport i cellplast EPS för att cellplast EPS är inte lika ogenomtränglig för fukt i ångfas jämfört med exempelvis cellglas och cellplast XPS. I Fukthandboken går det att avläsa att EPS har högre ånggenomsläpplighet än XPS och cellglas (Arfvidsson et al. 2017), se Tabell 1.

Tabell 1- Materialens ånggenomsläpplighet (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson, 2017)

Material	Ånggenomsläpplighet $\delta_v \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
Cellplast EPS	0,9-1,3
Cellplast XPS	0,17-0,23
Cellglas	0,00035

Cellplast är känslig för lösningsmedel och får därför inte komma i kontakt med en vätska som kan leda till att materialet förlorar sina egenskaper. Cellplast är mest känsligt för organiska lösningsmedel eftersom cellplast är ett organiskt material (Burström & Nilvér 2018). Enligt Plast- & Kemiföretagen (2010) kan inte cellplast EPS påverkas av svamp och mikroorganismer. Även om gnagare och insekter inte kan livnära sig på materialet utgör det ingen spärr mot sådana skadedjur.

Eftersom cellplast används som värme-och fuktisolering i en grundkonstruktion kommer materialet utsättas för permanenta laster. Långtidslaster som ger upphov till krypdeformation i cellplasten skall beaktas. Krypningen bestäms av lastens storlek och varaktighet (Burström och Nilvér 2018).

Det har utförts tester på en cellplast EPS skiva med densiteten 25 kg/m³ enligt standarden SS-EN 1606 (Molnar & Gustavsson 2010). Testet gick ut på att bestämma krypdeformationen hos cellplasten vid tre olika tryckspänningar, 25, 50 resp. 75 kPa. Resultat påvisar att efter 60 000 timmar (ca 6,85 år) har det uppstått en krypdeformation på 1,75 % vid en konstant tryckspänning på 75 kPa och 0,75 % vid en konstant tryckspänning på 25 kPa. Enligt produktbladet för en EPS skiva 100 med densiteten 20 kg/m³ uppstår det 2 % krypdeformation vid en tillåten långtidslast på 30 kPa under ett tidsspann på 50 år. EPS skiva 100 används vanligtvis i en grundkonstruktion för en villa. Baserat på resultatet finns det en oro att cellplasten uppnådde en krypdeformation på 0,75 % vid en konstant tryckspänning på 25 kPa efter cirka 6,85 år (Molnar & Gustavsson, 2010). Det innebär att det finns en risk att cellplasten kommer att deformeras mer än vad som är tillåtet under det förväntade tidsförloppet.

3.2 Cellglas

Cellglas består av ett glasartat material med slutna celler med en diameter på 0,5-2,5 mm. Cellglas har vanligtvis en blåsvart kulör (se Figur 12) och lämpar sig för olika ändamål. Cellglas används för att isolera grundkonstruktioner och källarväggar utvändigt. Finns även som vägg och takelement. Cellglas kan även användas som fasadisolering och som invändig beklädnad i väggar, tak och golv (Foamglas, 2020).



Figur 9 Cellglas (Foamglas, 2020)

Cellglas tillverkas genom att man blandar återvunnet glas med mineraler och att det får smälta i en ugn. Därefter tillsätter man kolpulver och det får jäsa i gjutna formar. Det bildas miljontals små glasceller som bildar en sluten cellstruktur med 98 % hålrum. Vid tillverkningen går det åt mycket energi och materialet är dyrt (Bokalders & Block, 2014). Cellglas innehåller inte ozonförstörande skumgaser som CFC/H-CFC, HFA, brandhämmande medel, bindemedel och mjukningsmedel (VOC). Cellglas främsta egenskaper är att den är både diffusionstät och vattentät. Det innebär att materialet inte kommer binda någon fukt. Eftersom materialet inte kommer absorbera någon fukt förväntas cellglas ha en väldigt lång livstid (Bokalders & Block, 2014).

Cellglas huvudkomponent är glas och glas smälter inte förrän vid höga temperaturer, mellan 800-1500 °C (Burström & Nilvér 2018). Material delas in olika klasser beroende på om de är brandfarliga eller ej. Det baseras utifrån egenskaperna: om de är lättantändliga eller svårantändliga och materialen sprider branden vidare. Materialen som hamnar under klasserna A1 och A2 anses vara obrännbara (Burström & Nilvér, 2018). Cellglas hamnar under klassen A1 eftersom det inte kan brinna.

Cellglas är ett oorganiskt material som kan inte ruttna och står emot skadedjur. Cellglas kan inte lösas upp av organiska lösningsmedel och syror, men den är inte beständig mot fluorvätesyra. På grund av cellglasisoleringens slutna cellstruktur är den både vattentät och diffusionstät. Dessutom görs skarvarna mellan cellglasskivorna täta med bitumen (Bokalders & Block 2014). Materialet har enligt fukthandboken (2017) en ånggenomsläpplighet på $0,0035 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, vilket är betydligt lägre än cellplast EPS som har en ånggenomsläpplighet på $1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Cellglas är ett material med en väldigt hög tryckhållfasthet som är ytterst lämplig för att användas som lastbärande isolering i en grundkonstruktion (Bokalders & Block 2014).

3.3 Isoleringsmaterialens termiska egenskaper

Värme kan transporteras enligt tre principer, ledning, strålning och konvektion (Burström & Nilvér, 2018)

- Konvektion: Värmeutbyte som sker när en vätska eller gas strömmar förbi en yta och för värme från en varm yta till en kall yta.
- Strålning: Värmestrålning som sker är en form av elektromagnetisk energistrålning i ett specifik våglängdsintervall.
- Ledning: Värmeförning som sker när partiklar i ett medium förflyttas på grund av en temperaturskillnad.

Värmeledningsförmågan (λ), även kallad lambda värdet anges i enheten (W/mK). Värmeledningsförmågan definierar hur bra ett material leder värme. Ju lägre lambdavärde ett material har desto bättre isoleringsförmåga. Isoleringsmaterial med låg densitet och hög andel porer har bra isoleringsförmåga. Dock skall även värmetransporten som sker genom strålning och konvektion beaktas. Luft har ett väldigt lågt lambda värde, men inverkan av strålning och konvektion gör att det inte funkar i praktiken. Värmeisoleringsmaterialens cellstruktur eller former av fibrer gör att luften inte kan röra sig fritt och minskar därmed inverkan av konvektion och strålning. Värmeisoleringsmaterial innehåller ämnen som minskar strålningen i materialets porer. Till exempel finns det kol i cellplast som minskar strålningens påverkan (Burström & Nilvér, 2018). För att värmeisoleringen ska vara effektiv får det inte förekomma några luftrörelser i värmeisoleringen (Sandin, 2010).

Desto lägre lambda-värde desto lägre blir värmegenomgångskoefficienten, U-värdet (W/m²K) för en konstruktionsdel. U-värdet anger en konstruktions totala värmemotstånd (Sandin 2010). Den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten, U_m enligt SS-EN ISO 13789:2007 beskriver hur bra husets klimatskal isolerar. Boverket har ett krav på klimatskärmens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient, U_m . ska ligga på 0,4 W/m²K för småhus. Värden på U_m går att hitta i BBR tabell 9:2 (Isover, 2020b).

3.3.1 Cellplast EPS termiska egenskaper

Cellplast har ett lambda-värde som varierar mellan 0,033-0,036 W/mK (Arfvidsson et al. 2017). Det låga isoleringsvärdet kommer försämrats med tiden eftersom EPS upptar fukt när den används i en grundkonstruktion (Bokalders & Block 2014).

Värmeledningsförmågan för ett poröst material är ett sammanlagt resultat av påverkan från ledning, strålning och konvektion. Den deklarerade värmeledningsförmågan enligt Burström & Nilvér (2018) är inte praktisk tillämpbar på grund av att det inte har tagits hänsyn till att varje poröst material innehåller lite fukt i praktiken. Det deklarerade lambda-värdet har tagits fram vid provning. Den praktiska tillämpbara värmeledningsförmågan förväntas alltid vara högre än det deklarerade värdet (Burström & Nilvér, 2018).

Materialets fukttillstånd anpassar sig till omgivningens fukttillstånd. Materialet kan antingen avge eller uppta vatten för att hamna i jämvikt med sin omgivning. Eftersom marken alltid anses vara fuktmättad (RF= 100 %), kommer cellplasten uppta vatten för att hamna i jämvikt med marken. Markfukten i ångfas kan tränga sig in i materialets porer. En del av vattenångan kommer att binda till sig till porväggarna och då kommer ånghalten i porerna sjunka. Det kommer efter ett tag uppstå jämvikt mellan ånghalten i porerna och vattnet som är fixerad till porväggarna. Det kommer även uppstå jämvikt mellan porerna och den omgivande luften på grund av jämvikt av fukttillståndet som har uppstått i porerna och det bundna vattnet till porväggarna (Sandin 2010). Fuktutbytet som sker mellan fuktig luft och ett poröst material kallas för hygroskopisk fukt. Det hygroskopiska området ligger mellan 0 och 98 % relativ fuktighet. För att nå högre fuktnivåer tillförs fukten på ett annat sätt än via luften. Materialet kommer nå jämviktfukthalt efter att ha varit i ett klimat med konstant temperatur och ånghalt. Beroende på om materialet är hygroskopiskt eller inte kan det uppta fukt via luften på två olika sätt: Adsorption och kapillärkondensation (Sandin, 2010).

Adsorption är en princip där vattenmolekylerna binds till materialets yta. Ju högre RF desto fler vattenmolekyler är bundna till väggarna i porsystemet. Det adsorberade vattnet bidrar till materialets totala fukttillstånd trots att det adsorberade skiktet är mikroskopiskt. Detta beror på att porösa material har en stor inre yta. Kapillärkondensation sker när det adsorberade vatten bildar en krökt yta, så kallad menisk. Den konkava vattenytan har större attraktionskrafter än en plan yta och redan vid låga ånghalter i luften fäster vattenmolekylerna till materialets yta (Burström & Nilvér, 2018).

Både marken och cellplasten kommer ha olika fuktillstånd och därmed kommer det ske en omfördelning av fukten. Omfördelningen av fukten är beroende av fuktillståndet hos materialen då båda materialen kommer att sträva att hamna i jämvikt (Sandin 2010).

Cellplastens fuktegenskaper påverkas av porositeten, porstorleksfördelningen, struktur och kemisk sammansättning. Enligt fukthandboken (2017) står det att cellplast EPS inte kan absorbera vatten kapillärt trots att materialet har en stor del medelstora porer (se Tabell 2). Detta beror på att cellplast EPS består av slutna porer. Cellplast EPS har inte en lika sluten cellstruktur som exempelvis XPS och cellglas. Därför har EPS en högre permeabilitet för vattenånga (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson, 2017).

Tabell 2 Cellplast EPS egenskaper (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson, 2017)

Material	Densitet [Kg/m ³]	Total porositet	Porstorleksfördelningen			Maximal kapillär vattenabsorption
			<1nm %	1nm- 1mm %	>1mm %	
Cellplast EPS	20	98	1	70	27	0

3.3.2 Cellglasets termiska egenskaper

Cellglas har en högre värmeledningsförmåga än vad cellplast EPS har (se Tabell 3), men skillnaden är inte stor (Arfvidsson et al. 2017). Det innebär att initialt kommer cellglas ha en sämre isoleringsförmåga än cellplast EPS. Dock ska det även tas hänsyn till att cellglas har en lägre ånggenomsläpplighet än vad cellplast har. Pfundstein et al. (2007) hävdar att cellglasisoleringen resistans mot vattenångdiffusion är oändlig enligt standarden DIN EN 12086 och att den inte kan absorbera vatten överhuvudtaget enligt standarden DIN EN 12087. Det innebär att isoleringsförmåga hos cellglas kommer att förbli oförändrat under en lång tid jämfört med en cellplast EPS.

Tabell 3- Materialens värmeledningsförmåga (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson, 2017)

Material	Värmeledningsförmågan λ -(W/mK)
Cellplast EPS	0,033-0,036
Cellglas	0,039-0,045

Det har utförts HotDisk tester med hjälp av Hot Disk TPS 500 tester på cellglasisolering med dimensionerna 45x60x5.2 cm vid två olika tillfällen (Ryan, Kolzenburg, Vona, Heap, Russell, Badger, 2019). Hot Disk TPS testet gick ut på att en sensor placerades mellan två skikt av cellglasisolering och de termiska egenskaperna kunde beräknas utifrån temperaturutvecklingen som uppstod i sensorn. Experimentet gick ut på att ta fram värmeledningsförmågan och jämföra det med tillverkarens deklarerade värmeledningsförmåga. Vid ena testet låg temperaturen mellan 25-30 °C och vid det andra testet var temperaturen 150 °C. Det utfördes sex mätningar på ett fem minuters intervall för att säkerställa att det råder termisk jämvikt mellan mätningarna. Resultatet från mätningarna påvisar att värmeledningsförmågan är 9-20 % högre än vad tillverkarens deklarerade värmeledningsförmåga. Enligt Ryan et al (2019) kan det bero på att ytan mellan Hot Disk Sensor vars diameter är 6,2 mm och den ojämna ytan mellan provkropparna kan ha bidragit till att det framtagna värdet skiljer sig från det deklarerade värdet.

Ryan et al (2019) utförde även tester för att styrka cellglas ogenomtränglighet för vatten. Testerna utfördes genom transient pulse method och man använde samma provkroppar som användes i testerna ovan. Provkropparna utsattes för ett tryck på 1 MPa. Testet utfördes genom att provkropparna utsattes för ett vattentryck på 2000 mbar uppifrån och atmosfäriska förhållanden som vätsketryck nedifrån. Testet utfördes under natten och varade i 16 h för att undvika temperaturförändringarna som uppstår under dagtid. Under experimentet uppstod en förändring som låg under 10 % över vattenströms trycket, men enligt Ryan et al (2019) är den förändringen försumbar. I rapporten drog man slutsatsen att cellglas provkroppen var ogenomtränglig för vatten (Ryan et al 2019).

4 Miljöpåverkan hos byggnader

4.1 Livscykelanalyser

Det har gjorts ett flertal livscykelanalyser (LCA) av byggnader. En livscykelanalys är en metod att se på materials, produkters och byggmetoders yttre miljöpåverkan. I en LCA beräknar man vilken miljöpåverkan byggnaden har haft i form av energiåtgången samt utsläpp till mark, luft och vatten (Bokalders & Block, 2014). Det har funnits svårigheter att jämföra en LCA för en byggnad med en annan på grund av att beräkningarna oftast har utförts på olika sätt samt att det har varit otydligt vad som ska tas hänsyn till i de olika livscykelskedena och hur mycket av byggnaden som har inventerats (Larsson, Erlandsson, Malmqvist & Kellner, 2016). Därför har både de internationella och europeiska standardiseringsorganisationerna, International Organisation for Standardisation (ISO) respektive European Committee for Standardisation (CEN) arbetat med att ta fram ett standardiseringsarbete för att beräkningarna ska utföras på ett enhetligt sätt. CEN har tagit fram standarderna EN 15978 och EN 15804 för att genomföra beräkningar av miljöprestanda av byggnadsverk respektive byggprodukter. I en CEN-standard är byggnadens systemgränser uppdelade i så kallade livscykelsleden (A, B, C och D) som i sin tur är indelade i så kallade informationsmoduler (A1, A2 ..., B1, B2..., o.s.v.), se Figur 13. Modulerna A1-C4 beskriver byggnaders livscykel och täcker miljöpåverkan inom ramen för byggnadens påverkan. Medan modul D är en frivillig del där man tar upp parametrarna material -och energiåtervinning samt återanvändning. Modulerna A1-A3 täcker produktionskedet, man kallar det för ”från vagga till grind” (Svensk Betong, 2018b).

Byggnadens livscykelinformation														Information utanför byggnadens livscykel		
A1-A3 Produktskede			A4-A5 Byggprocess		B1-B7 Driftskede							C1-C4 Slutskede				D Fördelar och belastningar utanför systemgränsen
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Råmaterial	Transport	Tillverkning	Transport	Bygg- och installationsprocesser	Användning/drift	Underhåll	Reparation	Utbyte	Renovering	Energianvändning	Vattenanvändning	Rivning	Transporter	Avfallshantering	Deponi	Återanvändnings-, renoverings- och återvinningspotential

Figur 10 Byggnader livscykelskeden och moduler enligt EN 15978 (Sweco, 2019)

4.1.1 LCA studier på byggnader i Sverige

Det har gjorts en LCA- studie av Svenska miljöinstitutet (Larsson et al 2016) i samarbete med Svenska Byggingustrier för att analysera klimatpåverkan från byggprocessen hos ett nyproducerat åttavåningshus med en stomme av trä och som är uppbyggt på ett källarplan, även kallat som Strandparken i studien. Studien kallas för Byggnaders Miljöpåverkan och har genomförts enligt EN 15978 och bygger på en tidigare studie av ett lågenergihus med betongstomme som är uppbyggt på en platta på mark, även kallat som Blå Jungfru. Alla delar av byggnadens livscykel har tagits med i analysen. I studien kunde man avläsa att byggproduktionen för lågenergihuset med en betongstomme hade en klimatpåverkan som stod för 350 kg CO₂-ekv/kg /m²A_{temp}, men då hade inte klimatpåverkan från markberedning och grundarbeten räknats med. Klimatbelastningen hade varit 50 % högre om klimatpåverkan från markberedning och grundarbeten hade räknats med (IVA, 2014). Det gick även att utläsa i studien att materialen i byggnaden stod för 84% av den totala klimatpåverkan och betong var det material som stod för 50 % av den totala miljöpåverkan (IVA, 2014). Flerbostadshuset med en trästomme hade en total klimatpåverkan på 298 kg CO₂-ekv/kg m² A_{temp} och då hade klimatpåverkan från markarbeten och grundläggningen beaktas. Av den totala klimatpåverkan stod mark -och grundläggningsarbete för 24 kg CO₂-ekv/kg /m² A_{temp}, det motsvarar 8% av byggprocessens klimatpåverkan. Mark- och grundläggningsarbete klimatpåverkan innefattar enbart klimatpåverkan som uppkommer vid dieselåtgången för anläggningsmaskinerna (modul A5) som användes för att utföra aktiviteterna som ingår i mark -och grundläggningsarbete. I studien ingick inte klimatpåverkan för materialen som ingår i grundläggningsarbetet. Kiilsgaard (2019) hävdar att produktionsskedet (modul A1-A3) för mark – och grundläggningsarbete bidrar med störst sannolikhet mest till klimatpåverkan. Enligt Larsson et al (2016) stod materialen för 78 % av den totala klimatpåverkan och att fabriksbetongen stod för 22 % av materialens klimatpåverkan. I studien framgick det att betongen i grunden, garage – och källarvåningen bidrog till den största andelen av klimatutsläppen. Det innebär att betongen även står för en stor del av klimatpåverkan i ett flerbostadshus även om byggnadens stomme är utav trä.

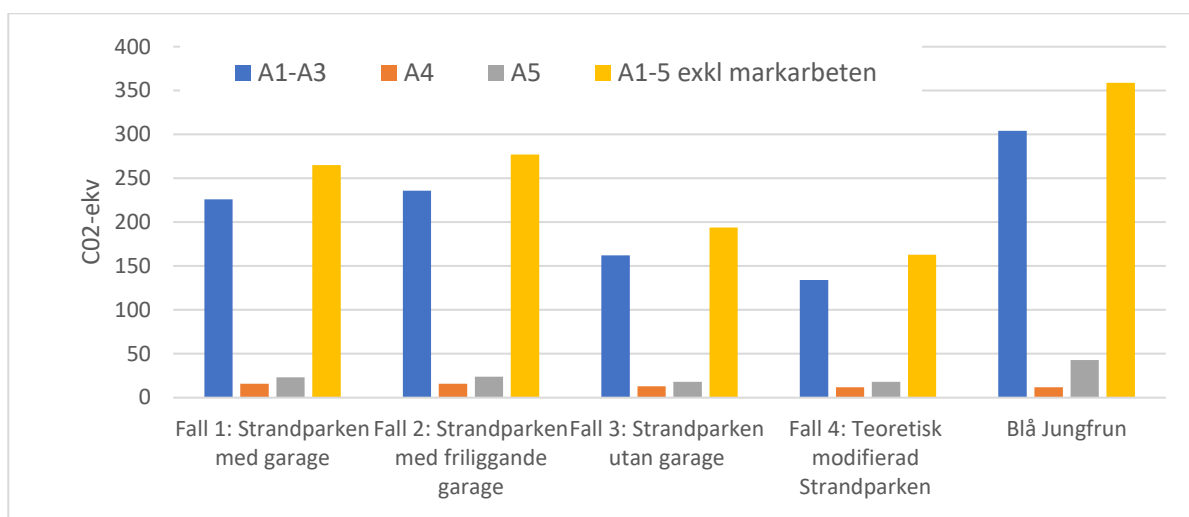
I studien har Larsson et al (2016) jämfört byggnadernas miljöpåverkan. För att göra en någorlunda rättvis bedömning har följande teoretiska åtgärder vidtagits:

- Karbonatisering av betong har inte räknats med
- Markarbeten ingår ej
- Strandparken modifierats efter platta på mark
- Strandparken har modifierats efter Blå Jungfruns energianvändning, vilket motsvarar 55 kWh/m² A_{temp}

Larsson et al (2016) har även i studien räknat på klimatpåverkan för byggprocessen i modulerna A1-A5, för fyra alternativa byggnadsutföranden. Detta har gjorts i syftet för att kunna bedöma garagets påverkan på den totala klimatpåverkan samt för att det ska vara möjligt att jämföra med byggnader utan garage (Larsson et al, 2016).

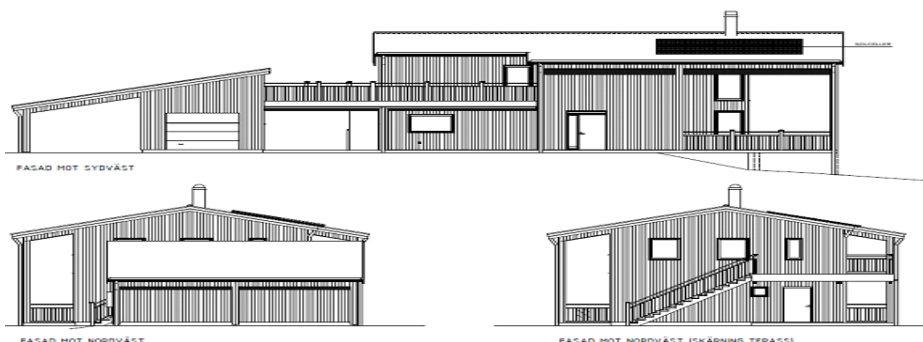
- Fall 1: Strandparken med garage (originalutförande)
- Fall 2: Strandparken med friliggande garage
- Fall 3: Strandparken utan garage
- Fall 4: Teoretiskt modifierad Strandparken med grundkonstruktionen platta på mark
- Blå Jungfru (räknat med klimatpåverkan för hissar trots att byggnaden inte har någon hiss)

Klimatpåverkan för modulerna A1-A5 exklusive markarbeten anges i kg CO₂-ekv/m² Atemp, se Figur 14. Enligt Figur 14 är klimatpåverkan från byggprocesserna (modul A1-A5) för Blå Jungfrun högre jämfört med de andra fyra fall i studien. Skillnaderna beror på mängderna betong i konstruktionerna enligt Larsson et al (2016). Studien påvisar att källarvåningen som uppfört i betong ger hög klimatpåverkan jämfört med en platta på mark vid uppbyggnaden av ett flerbostadshus. Detta påvisas i Figur 14 för fall 3, en hypotetisk byggnad som är uppbyggd på en källarvåning och fall 4, en hypotetisk byggnad som är uppbyggd på platta på mark. Enligt Figur 14 har fall 3 en större klimatpåverkan än fall 4. Grunden dimensioneras efter lasterna som den utsätts för och om grunden utsätts för mindre laster kan även dimensionerna på grunden bli lägre (Larsson et al, 2016).



Figur 11 Fallen i Byggnaders Miljöpåverkan och dess miljöpåverkan

Det har gjorts en LCA på en villa i Dalarna, se Figur 15. Den totala bruttoarean för huset (inkl. garaget) var 180 m³, själva husets bruttoarea var 150 m³. Under ett tidsspänn på 100 år förväntas huset släppa ut 39 ton CO₂-ekv för alla stadier av livscykel, det motsvarar 2 kg CO₂-ekv/m² år (Petrovic, Myhren, Zhang, Wallhagen, Eriksson, 2019). Det framgår i rapporten att det är under produktskedet (A1-A3) som lite över 50 % av byggnadens klimatpåverkan uppstår. Medan en rapport från Svensk Betong (2017d) hävdar beroende på livslängden uppkommer mellan 30-50 % av ett bostadshus totala klimatpåverkan i produktionsskedet. I LCA-studien framgår det även att grundkonstruktionen är den byggnadsdel av byggnaden som belastar miljön mest och att den står för 34 % av produktskedet (modul A1-A3) klimatpåverkan (Petrovic´ et al 2018), se Tabell 4. I studien går det att avläsa att betongen och cellplast EPS är de två materialen i grunden som bidrar mest till klimatpåverkan och av alla materialen i byggnaden är det betongen som har störst klimatpåverkan, se Tabell 5. Vid produktskedet (moduler A1-A3) av 21,8 m³ betong släpps det ut 268,68 kg CO₂-ekv/m³ (Petrovic´, et al 2019). Detta påvisar att materialen som ingår i en grundkonstruktion har störst klimatpåverkan med avseende på modulerna A1-A3. Det beror på att grunden i princip nästan helt är uppbyggd av betong.



Figur 12 "Dalarnas villa" (Petrovic 'et al 2019)

Tabell 4 Byggnadsdelarnas klimatpåverkan i "Dalarnas Villa" (Petrovic 'et al 2018)

Byggnadsdelar klimatpåverkan (A1-A3)	Andel (%)
Grundkonstruktion	34
Vertikal struktur och fasad	23
Horisontal struktur, balkar, vägg och tak	23
Annan struktur och material	21

Tabell 5 Materialtypers klimatpåverkan (Petrovic 'et al 2018)

Materialtypers klimatpåverkan	Andel (%)
Betong	29
Dörrar, väggar och delar	21
Trä	18
Gips, plast och cement	13
Isolering	10

4.1.2 Grundläggning

I Kiilsgaard (2019) rapport framgår det klimatdata för schaktnings- och fyllningsarbete, se Tabell 6. I grundläggningsarbetet ingår det i princip alltid schaktning av matjorden och fyllning av bergkross. Makadam är krossad sten och det som brukar användas vid husgrunder. Värdena som framgår i rapporten har tagits fram från olika studier och kan därmed inte jämföras med varandra på ett likvärdigt sätt (Kiilsgaard, 2019). Kiilsgaard (2019) hävdar att tillgången på data för klimatpåverkan från grundläggningsmetoder kan förbättras. Det saknas till exempel en tillräckligt omfattande data om grundkonstruktioner och

materialen som används i grundkonstruktionen för klimatpåverkan och där svenska förhållanden ingår. Det saknas tillräckligt med information om vilka arbetsmoment och material som ingår i respektive grundläggningsmetoder. En utförlig beskrivning av grundläggningsmetoder kan fungera som ett underlag för att bilda sig en bättre uppfattning för hur varje metod påverkar klimatet, vad som kan modifieras inom metoderna samt för att få en ökad förståelse i jämförelsen mellan olika grundläggningsmetoder klimatpåverkan. Kiilsgaard (2019) påstår att om det går att ta fram sådan data går det att påvisa vilken påverkan grundläggningsmetoder kommer att ha i en byggnads totala klimatkalkyl.

Tabell 6 Grundläggningsmetoder klimatpåverkan (Kiilsgaard, 2019)

Grundläggningsmetoder	kg CO2-ekv
Schakt jord	2,4 kg/m ³
Fyllning jord	2,4 kg/m ³
Fyllning bergkross	9 kg/m ³

Grundläggningen är en del av produktionsskedet som står för en stor andel av utsläppen (Sandanayake, Zhang och Setunge 2015). För att utföra dessa aktiviteter krävs det tunga maskiner och utrustning. Därav kan utsläppen för grundläggningsarbete bli lite högre än andra delar av produktionsskedet (Sandanayake, Zhang och Setunge 2015). Det skall även beaktas att utsläppen sker under en kortare tidsperiod jämfört med stommen. Dock har grundens miljöpåverkan försumrats i äldre studier och det finns ett flertal anledningar till det enligt Sandanayake, Zhang och Setunge (2015). En av de största orsakerna till att grundkonstruktionens miljöpåverkan har försumrats beror på det finns svårigheter med att samla information om byggarbetsplatsen (Sandanayake, 2015). Andra orsaker beror på att det kan vara svårt att få tillgång till byggarbetsplatsen, konstruktionshandlingar och information om tidsåtgången för varje aktivitet (Sandanayake, Zhang och Setunge 2015).

4.1.3 Platta på mark

Det har utförts en studie av Pujadas-Gispert, Sanjuan-Delmás & Josa (2018) där miljöpåverkan hos platta på mark i Barcelona skulle undersökas. Både prefabricerad och platsgjuten betongplatta. Studien utförde en livscykelanalys enligt standarderna ISO 14040 och ISO 14044. Produktskedet var en del som ingick i studien. Grunderna dimensionerades efter Eurokod 2 (EC2). Studien

påvisar att alla prefabricerade grundkonstruktioner har en större miljöpåverkan än alla platsgjutna grundkonstruktioner. Detta berodde delvis på att prefabricerad betong hade en högre cementshalt jämfört med en platsgjuten betong och dels krävdes det fler armeringsjärn vid högre hållfasthetsklasser (Pujadas-Gispert et al 2018).

Vid utvärdering av platta på mark kunde man konstatera att betong är den största faktorn till grundens miljöpåverkan (Pujadas-Gispert et al 2018). Stålet har dock högre klimatpåverkan än betong per kubikmeter, men eftersom platta på mark huvudsakligen utgörs av betong är betongen den största orsaken till grundens miljöpåverkan (Pujadas-Gispert et al. 2018). Betong tillsammans med armeringsjärn stod för upp till 95% av CO₂-ekv vid en platsgjuten platta på mark och runt omkring 85% av CO₂-ekv vid en prefabricerad grundkonstruktion med avseende på produktionsskedet (Pujadas-Gispert et al 2018). Skillnaden mellan växthusgasutsläppen beror på mängden betongen är större vid en platsgjuten platta på mark (Pujadas-Gispert et al 2018). Dock bidrog den prefabricerade grundkonstruktionen mer till klimatpåverkan för dem resterande delar av livscykeln som ingick i studien.

Det är många som skulle kunna tro att en prefabricerad grundplatta skulle ha en mindre miljöpåverkan på grund av att tillverkningsprocessen i en fabrik är en mer kontrollerad process (Pujadas-Gispert et al 2018). Det går att kontrollera materialanvändningen, minska på spillmaterialet och reducera oförutsedda händelser som skulle ha en påverkan på tillverkningsprocessen (Pujadas-Gispert et al 2018). Enligt studien har en prefabricerad betongplatta en större miljöpåverkan och det beror på att prefabricerad element oftast inte finns i alla storlekar och utbudet på vissa storlekar är inte stort. Det leder oftast till att grundkonstruktionen blir överdimensionerad (Pujadas-Gispert et al 2018). Därför är det viktigt att ta hänsyn till tillgängliga storlekar och konstruktionssystem när man designar en grundkonstruktion så att mängden material och miljöpåverkan som medföljer reduceras (Pujadas-Gispert et al 2018).

4.1.4 Betong

Betong är ett av våra viktigaste byggnadsmaterial (Burström & Nilvér, 2018). Betong används framförallt i bärande konstruktioner och utsätts för stora påfrestningar i form av till exempel fukt och nötning. Betongens vanligaste användningsområden är husgrunder, fasader, industrigolv, vägar och broar (Burström & Nilvér, 2018). Huvudbeståndsdelarna i betong är cement, vatten, och ballast (sten, grus, sand). Tillsatsmaterial och tillsatsmedel används idag för att påverka betongens egenskaper.

En stor del av betongens koldioxidutsläpp uppkommer vid cementtillverkningen (Svensk Betong, 2020a). Av delmaterialen står cementet för ca 98-99 % av klimatpåverkan och av den totala klimatpåverkan som uppstår under produktionsskedet (modul A1-A3) står cementet för mer än 90% (Svensk Betong, 2018b). Tillverkningen av cement står för omkring 3-4 % av världens totala utsläpp (Svensk Betong, 2020a). Utsläppen från cementindustrin uppkommer från förbränning av de bränslen som krävs för tillverkningen och kalcineringsprocessen (Svensk betong, 2020a). Kalcineringsprocessen är den process där koldioxiden som finns bunden i kalkstenen frigörs vid upphettningen.

Det har vidtagits flera åtgärder för att minska betongens klimatpåverkan. Senaste 20 åren har koldioxidutsläppen minskat med 20 % för att man har tagit fram cement med längre andel cementklinker, energieffektiviserat tillverkningsprocessen och man har övergått från fossila bränslen till biobränslen vid tillverkning av cement (Svensk Betong, 2017c). Det har även gjorts flera framsteg med att ta fram alternativa bindemedel som slagg och flygaska för att minska på andelen cementklinker. Utvecklingen som har skett inom konstruktion, design och materialoptimering har lett till att det finns betong idag med lägre klimatpåverkan jämfört med konventionell betong (Svensk betong, 2017c). Klimatförbättrad betong har minst 10 % mindre klimatpåverkan jämfört med en standardbetong med samma funktion (Svensk betong, 2017c). Riksbyggen projekt BRF Viva är en optimerad betongkonstruktion där byggnaden är uppförd av klimatförbättrad betong och därmed har det lett till att det är cirka 30 % lägre koldioxidutsläpp under byggnadens livslängd jämfört med motsvarande byggnad om det inte hade vidtagits några åtgärder (Svensk betong, 2017c). Dock har inte koldioxidupptagen genom karbonatisering räknats med. Karbonatisering är en process där den färdiga betongen tar upp koldioxid genom att koldioxiden i luften reagerar med betongens kalciumhydroxid och bildar kalciumkarbonat (Svensk betong, 2020d).

Det finns en stor potential att minska betongens klimatpåverkan genom att använda resurssnål betongteknik (During, 2015). Även byggnader med alternativa stommaterial som massivträ kan få en lägre klimatpåverkan för en byggnads grund utgörs av betong (During, 2015). Den resurssnåla betongtekniken kan utvecklas genom att använda alternativa tillsatsmaterial som till exempel silikastoft istället för flygaska som är en restprodukt från kolkraftverk (During, 2015). Kvalitén på betongen utgörs av vattencementtalet (Vct) som är förhållandet mellan vatten och cement. Genom att använda tillsats av vattenreducerare kan man även minska på cementmängden i betongen och därmed leder det till en lägre miljöpåverkan (During, 2015). Dessutom används

för hög betongkvalitet vid en husbyggnad än kraven som ställs på hållfasthet och beständighet (During 2015).

4.1.5 Armeringsstål

Armering av stål finns i många olika former: stång, nät, tråd, lina etcetera. Stål har grundämnet järn som huvudbeståndsdel där kol är ett viktigt legeringsämne. Vid framställning av stål är seghärdning den dominerande metoden och detta beror på att seghärdad armering har både hög hållfasthet och god bock- och svetsbarhet (Burström & Nilvér, 2018). Armeringen klassificeras efter ytstruktur, sträckgränsvärde, svetsbarhet och seghet. Konstruktionsstål är en legering av bland annat järn, kol, mangan och kisel (Burström & Nilvér, 2018).

Det finns två olika sätt att tillverka stål på. Processerna skiljer sig åt beroende vilket råmaterial som används i tillverkningen. Råmaterial kan antingen vara järnmalmbaserad eller skrotbaserad (återvunnet stål) (SSAB, 2020). Järnmalmsföretaget SSAB stod under 2018 för 9,8 miljoner ton koldioxidutsläpp. 90 % av dessa uppstod i den järnmalmbaserade ståltillverkningen på företagets anläggningar och 98 % av den totala koldioxidutsläppen uppkom från metallurgiska processer (SSAB 2020). Metallurgiska processer är användningen av koks och kol som reduktionsmedel (SSAB, 2020). 90 % av SSABs globala koldioxidutsläpp är råvarubaserade och 10 % är bränslebaserade. SSABs masugnar är bland de mest effektiva i världen och det går inte att minska på utsläppen mer än det som har gjorts hittills med den nuvarande tekniken. Det finns ingen teknik tillgänglig idag som kan ersätta kol som råvara för stålproduktionen. Det innebär då att branschen gemensamt måste jobba på att ta fram tekniska lösningar där man minskar på utsläppen rejält (SSAB,2020).

4.1.6 Isoleringsmaterial

I Byggekologi (2014) finns det en jämförelse mellan olika isoleringsmaterial växthuseffekt, GWP (100) kg koldioxidekvivalenter/kg och ej förnybar energiåtgång/kg. Enligt Byggekologi (2014) släpper cellplast EPS ut 4,169 kg CO₂-ekv/kg och det krävs 98,90 MJ för att tillverka 1 kg EPS medan cellglas släpper ut 2,433kg CO₂-ekv och det krävs 40,99 MJ för att tillverka 1 kg cellglas. Det innebär att cellplast EPS släpper ut nästan dubbelt så mycket kg CO₂ -per kg material cellglasskiva och det krävs mer än dubbelt så mycket energi att tillverka cellplast EPS än cellglas (Bokalders & Block, 2014). Det är en skillnad mellan värdena i Byggekologi och värdena från respektive EPD:er. Det kan bero på att datan har tagits fram på olika sätt samt att EPD:er presenterar en specifik produkt. I Byggekologi står det inte specifikt vilken produkt eller om det är generellt värde för flera olika skivor av cellglas eller cellplast.

4.2 Miljövarudeklaration (EPD)

En produkts miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv anges i så kallade Environmental Product Declaration (EPD). EPD baseras på principerna i den internationella standarden för typ III miljödeklarationer, ISO 14025 (Bokalders & Block, 2014). En EPD informerar om en produkts miljöprestanda. Eftersom det inte finns standardiserade metoder för att beräkna miljöpåverkan av till exempel energiförbrukningen är det svårt att jämföra olika EPD:er. Men för att en EPD ska vara jämförbar med en annan miljövarudeklaration finns det produktspecifika regler (PCR) eller så behöver man ta fram dem. I standarden EN 150804 finns det riktlinjer på hur PCR för byggmaterialen ska tas fram (Bokalders & Block, 2014). Det finns programoperatör, som exempelvis EPD Norge och Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) som följer standarden ISO 14025 som tar fram och publicerar EPD:er. Enligt den internationella standarden, ISO 14025 ska miljövarudeklarationen utföras av en extern part och ge en transparent och jämförbar information om produkters miljöprestanda.

Det har gjorts en studie av Hill, Norton & Dibdiakova (2017), där olika EPD:er för olika isoleringsmaterial som följer standarden EN 15084 har jämförts. En EPD som följer standarden EN 15084 delar upp en produkts livscykel i flera olika stadier. Studien jämförde enbart livscykelstadierna: A1 (tillgång av råvaror), A2 (transport) och A3 (tillverkning). Detta berodde på att livscykelanalys datan som finns tillgänglig är mest pålitlig för dessa parametrar (Hill, Norton & Dibdiakova, 2017). Hill et al (2017) anser att modulerna A1-A3 är mest pålitliga på grund av att datan för dessa parametrar har tagits fram utan att göra några antaganden om livslängd, underhåll och anordning som hade bidragit till en viss osäkerhet kring produkternas värden. Studien anser att produkternas Global Warming Potential (GWP) och energiåtgången, både förnybar och icke-förnybar är två miljöparametrar som är tillräckligt pålitliga för att jämföra. Enligt Hill et al (2017) kan man inte bara jämföra produkternas EPD:er även om produkterna har följt samma standard, EN 15084. Det beror på att det finns viss skillnad mellan databaserna, metod och antagande. Det är därför det är viktigt att sätta upp kriterier som ska följas.

Två EPD:er för materialen cellplast EPS och cellglas, som har utförts enligt EN 15084 presenteras i Tabell 7. Materialens klimatpåverkan med avseende på modulerna A1-A3 och energiåtgång (både icke-förnybar och förnybar) presenteras i tabellen. Värdena för cellplast EPS har hämtats från en EPD för en Sundolitt EPS som är en sorts cellplast EPS. Värdena för cellglas har hämtats från en EPD för en Foamglas T4+ som är en sorts cellglas. I Bilaga 1 finns EPD:erna för respektive material. Enligt Tabell 7 släpper en cellplast EPS av typen Sundolitt EPS 80 ut 73,8 kg CO₂-ekv mindre än en cellglasisolering av typen Foamglas T4+. Samtidigt krävs det cirka 1,83 gånger så mycket energi under

produktionsskedet (modul A1-A3) för en cellglasisolering av typen Foamglas T4+ jämfört med en cellplast EPS av typen Sundolitt EPS 80.

Tabell 7- Materialens GWP och energiåtgång

Produkt	EPD	Programoperatör	λ (W/mK)	GWP kg CO ₂ - ekv/m ³ (A1-A3)	Energiåtgång (MJ/m ³)
Cellglas	EPD-PCE-2013258.1 BA1-DE	IBU	0,041	151,8	3392,5
Cellplast EPS	NEPD-322-185-NO	EPD-Norge	0,038	78	1856

4.2.1 EPD för grundkonstruktionen platta på mark med standardbetong

Materialens EPD:er har hämtats från Byggsektorns miljöberäkningsverktyg (BM 1.0), NCC Industry AB och Polyolefins Group, se Tabell 8. Samtliga EPD:er följer standarden EN 15804. Produkternas klimatpåverkan avser enbart produktskedet (A1-A3). EPD:er som har hämtats från EPD-Norge anges i så kallad deklarations nummer, se Tabell 8. EPD. Betongens data är en generisk data för en husbyggnadsbetong med ett betongrecept för hållfasthetsklass C30/37, vct 0,58. Värdet är representativt för den svenska marknaden av denna kvalitet och med en mix av de bindemedelstyper som används (BM 1.0 2020).

Tabell 8 Platta på mark med standardbetong klimatpåverkan med avseende på modulerna A1-A3

Material	Klimatpåverkan (Kg CO ₂ -ekv/kg)	Referens
Betong C30/37	0,117	BM 1.0
Armeringsnät Ø 8s150	0,579	BM 1.0
Armering Ø 10 s400	0,9246	BM 1.0
Ø 12	0,9246	BM 1.0
Ø 12- B 600 + 600	0,9246	BM 1.0
Cellplast S100	3,9	BM 1.0
Makadam	0,00384	NCC Industry AB
Fiberduk	2,0	Polyolefins Group, 2008)

4.2.2 EPD för grundkonstruktionen platta på mark med klimatförbättrad betong

Materialens EPD:er, förutom den klimatförbättrade betongen har hämtats från samma referenser som avsnitt 4.2.1. Den klimatförbättrade betongen är från Sydsten AB där en del av cementet har ersatts med slagg. Betongen består av 7 % slagg. Det finns ingen tillgänglig EPD för en konventionell betong med kvalitetsklassen C30/37 från samma leverantör. Det hade gett studien en mer enhetlig jämförelse.

Tabell 9 Platta på mark med klimatförbättrad betong klimatpåverkan med avseende på modulerna A1-A3

Material	Klimatpåverkan (Kg CO ₂ -ekv/kg)	Referens
Betong C30/37	0,0893	NEPD-2134-965-SE
Armeringsnät 8 S150	0,579	BM 1.0
Armering Ø 10s400	0,9246	BM 1.0
Ø 12	0,9246	BM 1.0
Ø 12- B 600 + 600	0,9246	BM 1.0
Cellplast S100	3,9	BM 1.0
Makadam 16/32 mm	0,00384	NCC Industry AB
Fiberduk	2,0	Polyolefins Group, 2008)

4.2.3 EPD för grundkonstruktionen platta på mark med cellglasisolering

Materialens EPD:er har hämtats från programoperatören Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Byggsektorns miljöberäkningsverktyg (BM 1.0) och NCC Industry AB se Tabell 10. Samtliga EPD:er följer standarden EN 15804. Produkternas klimatpåverkan avser enbart produktskedet (A1-A3). EPD: n som har hämtats från IBU anges i så kallad deklara-tions nummer.

Tabell 10 Platta på mark med klimatförbättrad betong klimatpåverkan med avseende på modulerna A1- A3

Material	Klimatpåverkan (Kg CO ₂ -ekv/kg)	Referens
Betong C30/37	0,117	BM 1.0
Armeringsnät Ø 8s150	0,579	BM 1.0
Armering Ø 10 s400	0,9246	BM 1.0
Ø 12	0,9246	BM 1.0
Ø 12- B 600 + 600	0,9246	BM 1.0
Cellglas	1.32	EPD-PCE-2013258.IBA1-DE
Makadam	0,00384	NCC Industry AB
Fiberduk	2,0	Polyolefins Group, 2008)

4.3 Återanvändning/ återvinning

Byggsektorn ger upphov till en stor mängd avfall. Byggbranschen står för cirka 27 % av Sveriges totala mängd avfall och nästan 40 % av landets farliga avfall (Bokalders & Block, 2014). EU har tagit fram ett avfallsdirektiv där senast år 2020 ska minst 70% av icke-farligt bygg- och rivningsavfall återanvändas/återvinnas. Enligt Bokalders & Block (2014) återanvänds/återvinns omkring 60 %. Naturvårdsverket (2019c) hävdar att Bygg -och rivningsavfallets mängd och farlighet måste minska för att uppnå de nationella miljö kvalitetsmålen, god bebyggd miljö och giftfri miljö (Naturvårdsverket, 2019c).

För att uppfylla kraven behöver byggbranschen sortera avfallet på ett säkert sätt. Det leder till att byggbranschen kan öka återanvändningen och materialåtervinningen samt minska mängderna som deponeras och samla in farligt avfall på ett kontrollerat sätt (Naturvårdsverket, 2019c).

Avfallshierarkin är en prioriteringsordning för lagstiftning och politik på avfallsområdet:

1. Farligt avfall
2. Återanvända
3. Materialåtervinna
4. Energiåtervinning
5. Deponi

Exempel på farligt avfall som ska omhändertas är isoleringsmaterial som innehåller ozonnedbrytande ämnen som CFC och HCFC. Om en produkt har en CFC-halt som ligger över 1 % betraktas den som ett farligt avfall och transporteras till en anläggning som tar hand om den (Naturvårdsverket 2016d). Det går att förebygga uppkomsten av farligt avfall genom att redan i projekteringsfasen vidtar åtgärder genom att välja material som kan återanvändas eller återvinnas (Bokalders & Block 2014).

Återvinna byggnadsmaterial kan spara energi samt minska användningen av icke-förnybara resurser. Beroende på återvinningsformen kan potentiellt mellan 20-40 % energi sparas (Thormark, 2001). Data som finns tillgänglig tyder på att energin man sparar genom att återvinna är lika med energin som krävs för uppvärmningen av 180 000 -220 000 villor (Thormark, 2001). Genom att ta utvärdera byggnadsmaterial och dess återvinningsform finns det stora möjligheter att spara på energin. Beroende på återvinningsformen kan mycket energi sparas. Den potentiella energin som sparas genom att återanvända är lite högre än återvinning av materialen samt att det leder till att det blir lägre klimatutsläpp (Thormark 2001).

4.3.1 Betong

Det finns möjligheter till att återvinna betong. Restmaterial från industriella processer kan återvinnas som ballast eller tillsatsmaterial i ny betong. Eftersom betongen inte innehåller några utfasningsämnen eller hälso- och miljöskadliga ämnen kan 100 % av betongen återvinnas (Svensk Betong, 2017d). Krossad betong kan även användas som material till obundna överbyggnadslager, underbyggnad och andra fyllningsmassor, till exempel bullervallar.

Det finns två olika typer av krossad betong (Svensk Betong, 2020e):

- Restbetong: Överbliven betong som fått hårdna sedan krossats. Betongen innehåller ingen andra ämnen än cement och ballast och kan normalt anses vara fri från miljöbelastande ämnen.
- Rivningsbetong: Kasserad betong som krossats. Vid krossningen måste armeringen först frigöras från betongen. Rivningsbetongen kan innehålla rester av bland annat rivningsavfall (brandskydd, värmeisolering, skumplast, elinstallationer, fogmassor, rör etcetera). Det innebär att det är ett arbete i sig att beakta vart materialet ska användas och eventuell risk för lakning av farliga ämnen.

4.3.2 Armering

SSAB (2020b) hävdar att stålet är det mest återvunna industriella materialet och att stålet är unikt på grund av att det går att återvinna stålet hur många gånger som helst utan att den förlorar sina egenskaper. Det finns även möjlighet att restprodukter som har bildats i järn- och ståltillverkningen kan återcirkuleras för att ersätta nya råvaror. Återvunnet stål kan ersätta en del av järnmalmens råvara i ståltillverkningen (SSAB 2020b).

4.3.3 Cellplast

Cellplast EPS som innehåller CFC klassas som farligt avfall. Cellplast som inte innehåller CFC och om den är hel och fri från skador kan den återanvändas eller materialåtervinnas (Bokalders & Block, 2014). Däremot om skivan är i någon form skadad eller oren kan den energiutvinnas eftersom cellplast EPS anses vara ett brännbart avfall. Dock innehåller cellplast hormonstörande ämnen som anses vara utfasningsämne (Bokalders & Block 2014).

4.3.4 Cellglas

Cellglas består huvudsakligen av återvunnet glas. Cellglasisolering består mer än 60 % av återvunnet glas (Foamglas 2020). Eftersom cellglas inte innehåller någon ozonnedbrytande ämnen som CFC och HCFC och inga miljöskadliga flamskyddsmedel kan den återanvändas (Foamglas 2020). Den kan återanvändas som markfyllnadsmaterial i vägar och järnvägsbankar samt som isolerande granulat, så kallad skumglas. Skumglas är krossad cellglasgrus som tillverkas av återvunnet glas eller krossat cellglas som smälts ned och jästs. Det vanligaste användningsområdet för hasopor är som bärlager vid vägbyggen (Bokalders & Block 2014).

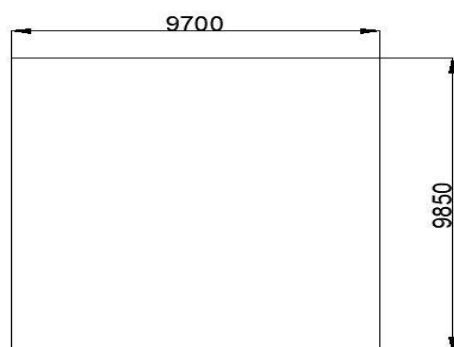
5 Casestudie

5.1 Referensobjekt

I casestudien jämförs klimatpåverkan från konventionell platta på mark med tre andra grundkonstruktioner, som utvecklats för att minska klimatpåverkan.

Syftet med casestudien är att undersöka klimatpåverkan med avseende på modulerna A1-A3 för materialen i olika grundkonstruktioner. Hill et al (2017) anser att modulerna A1- A3 är mest pålitliga på grund av att datan för dessa parametrerar tagits fram utan att göra några antaganden om livslängd, underhåll och anordning som hade bidragit till en viss osäkerhet kring klimatpåverkan. Av ovannämnd anledning så kommer det i analysen av referensobjekt att endast undersöka klimatpåverkan med avseende på modulerna A1-A3. De andra delarna (A4-5, B, C och D) av grundkonstruktionens klimatpåverkan kommer inte att tas hänsyn till i analysen.

Måtten för grundkonstruktionerna i den här studien är 9,85 x 9,7 m 95,5 (m²) se Figur 16, vilket är normala mått för en villa i Sverige.



Figur 13 Referensobjektets utformning. Mått anges i mm

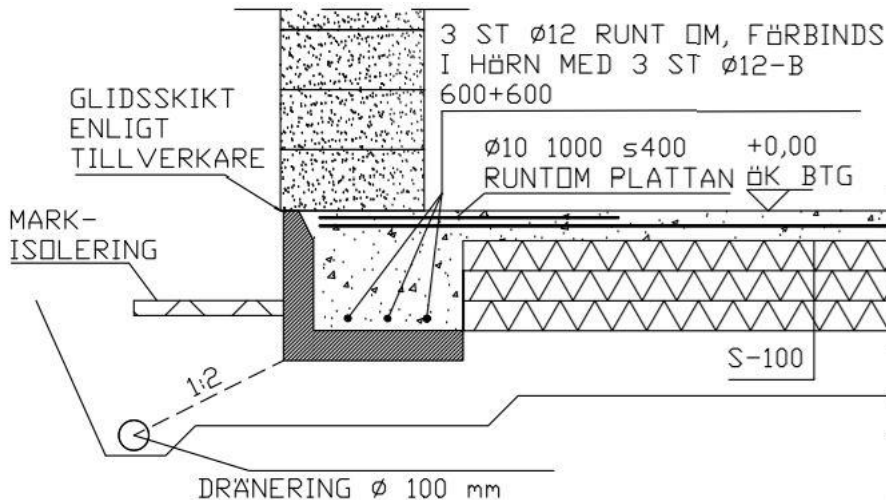
De tre grundkonstruktionerna som ingår i det här referensobjektet är:

- Grundkonstruktion A -Traditionell platta på mark med konventionell betong
- Grundkonstruktion B- Traditionell platta på mark med klimatförbättrad betong
- Grundkonstruktion C- Traditionell platta på mark med cellglasisolering

Grundkonstruktionernas klimatberäkningar har genomförts i ett jämförande syfte. Studien ska påvisa vilken skillnad det blir i klimatpåverkan om den konventionella betongen byts ut mot klimatförbättrad betong samt vilken skillnad det blir i klimatpåverkan om cellplast byts ut mot cellglas.

5.1.1 Detaljlösning för Grundkonstruktionerna A-C

Figur 17 visar en detaljlösning på en platta på mark med dess ingående material. Dimensionerna för armeringen som används i grundkonstruktionen framgår i Figur 17. De ingående materialen redovisas i punktform. Detaljlösningen gäller för den traditionella platta på mark klimatförbättrad betong och standardbetong (Grundkonstruktion A & B). Detaljlösningen gäller även för Grundkonstruktion C, men skillnaden är att cellplasten har bytts ut mot cellglas.



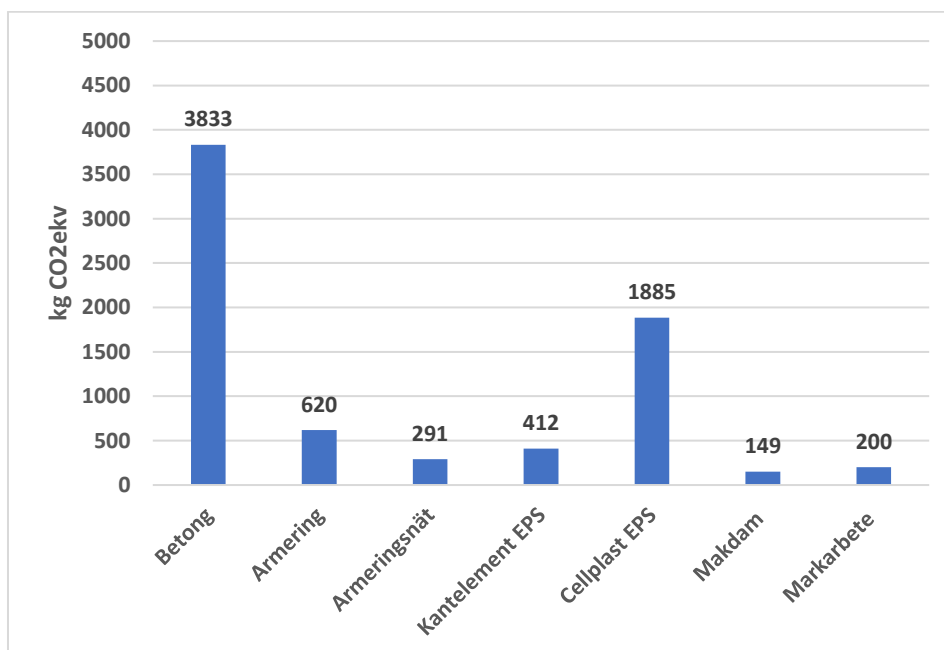
Figur 14 Detaljlösning på en platta på mark för en villgrund (SEZ Byggkonsult AB)

- Betongplatta 100 mm (C30/37)
- Kantbalk 400x400 mm
- Kantelement 500x 500x100
- Armeringsnät 8150
- Armering Ø 10 1000 s400
- Armering 12 ST Ø 12
- Armering 12 ST Ø 12- B s600+600
- Cellplast 3x100
- 200 mm makadam

5.2 Utsläpp av konstruktionerna A1-A3

5.2.1 Grundkonstruktion A - Traditionell platta på mark med konventionell betong

I Figur 18 presenteras kg CO₂-ekv för de olika beståndsdelarna som ingår i Grundkonstruktion A samt markarbete. Värdena nedan anger klimatpåverkan för en grundkonstruktion med en area på 95,545 m² (9,85x9,7). Mängdberäkningar av materialen redovisas i Bilaga 3. Materialens klimatpåverkan har hämtats från EPD: er samt Byggsektorns miljöberäkningsverktyg, dessa värden anges i tabell 8.

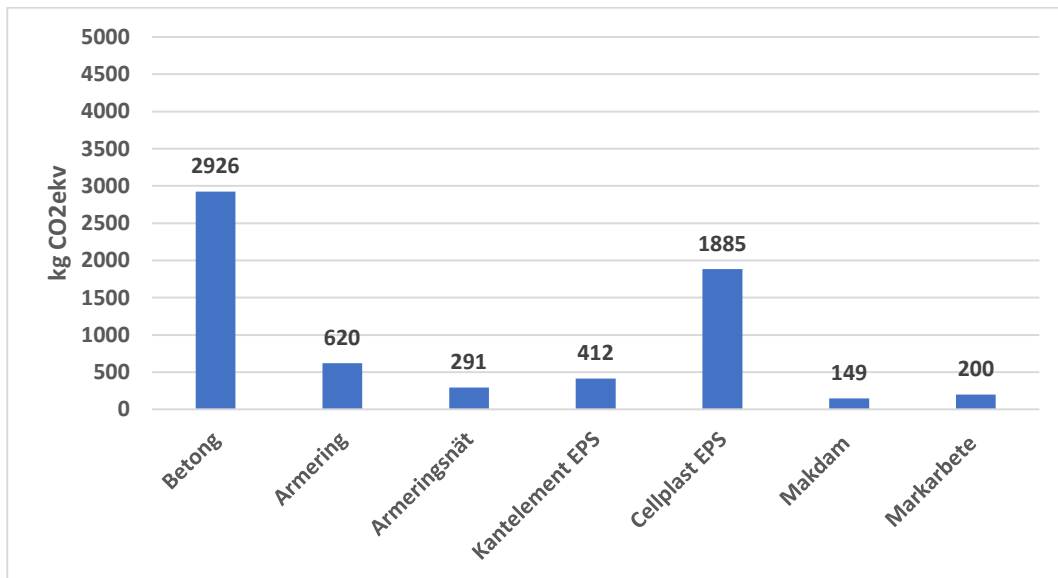


Figur 15 Grundkonstruktion A, platta på mark. Klimatpåverkan med avseende på modulerna A1-A3

I Figur 18 går det att avläsa att betongen utgör den övervägande del av klimatpåverkan, cirka 52 %. Cellplast är den beståndsdel som står för näst mest av den klimatpåverkan, cirka 31 %. De andra beståndsdelarna utgör cirka 17 % av grundkonstruktionens klimatpåverkan.

5.2.2 Grundkonstruktion B - Traditionell platta på mark med klimatförbättrad betong

I Figur 19 presenteras kg CO₂-ekv för de olika beståndsdelarna som ingår i Grundkonstruktion B samt markarbete. Värdena nedan anger klimatpåverkan för en grundkonstruktion med en area på 95,545 m² (9,85x9,7). Mängdberäkningar av materialen redovisas i Bilaga 3. Materialens klimatpåverkan har hämtats från EPD:er samt Byggsektorns miljöberäkningsverktyg, dessa värden anges i Tabell 9.

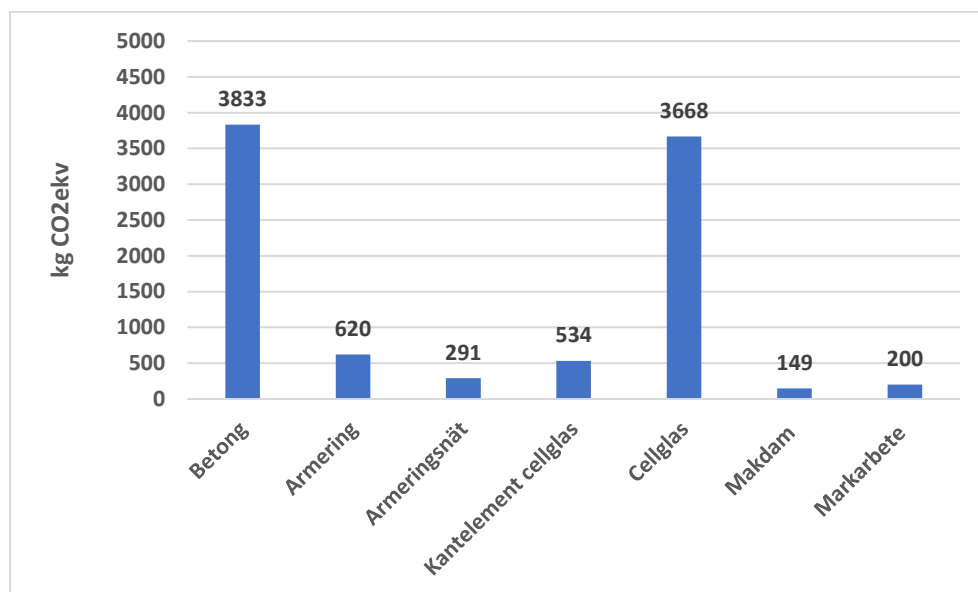


Figur 16 Grundkonstruktion B, platta på mark med klimatförbättrad betong. Klimatpåverkan med avseende på modulerna A1-A3

I Figur 19 går det att avläsa att det har blivit en viss minskning av betongens klimatpåverkan, cirka 907, 5 kg CO₂-ekv mindre i en platta på mark med klimatförbättrad betong jämfört med en platta på mark med standardbetong. Även om det har vidtagits flera åtgärder för att minska på betongens klimatpåverkan har det blott lett till en minskning på cirka 12 % i den här studien.

5.2.3 Grundkonstruktion C - Traditionell platta på mark med cellglasisolering

I Figur 20 presenteras kg CO₂-ekv för de olika beståndsdelarna som ingår i Grundkonstruktion C samt markarbete. Värdena nedan anger klimatpåverkan för en grundkonstruktion med en area på 95,545 m² (9,85x9,7). Mängdberäkningar av materialen redovisas i Bilaga 4. Materialens klimatpåverkan har hämtats från EPD: er samt Byggsektorns miljöberäkningsverktyg, dessa värden anges i Tabell 10.



Figur 17 Grundkonstruktion C, platta på mark med cellglasisolering. Klimatpåverkan med avseende på modulerna A1-A3

I Figur 20 går det att avläsa att betongen och cellglasisoleringen utgör den övervägande delen av grundens klimatpåverkan. Betongen står för ca 41 % av grundkonstruktionens klimatpåverkan och cellglasisoleringen står för ca 45 av grundkonstruktionens klimatpåverkan.

6 Diskussion

6.1 Metoddiskussion

Grundtanken med det här examensarbetet var att jag skulle genomföra labbförsök på både cellplast och cellglas EPS i syfte att ta reda på materialens värmeledningsförmåga vid olika fuktnivåer. Labbförsöken hade gett en bättre insikt över materialens isoleringsförmåga eftersom materialen hade testats enligt samma metod. Men eftersom labbförsöken inte kunde ingå som del av mitt examensarbete på grund av coronapandemin har jag fått förlita mig på andra källor och studier.

I Sverige saknas det till exempel tillräckliga data om grundkonstruktioner, material, vilka arbetsmoment och maskiner som ingår för varje grundläggningsmetod där svenska förhållanden ingår (Kiilsgaard, 2019). Fokus borde ligga på att ta fram sådan data för att främst kunna göra en jämförelse mellan olika grundkonstruktioner på ett enhetligt sätt och för att veta hur stor påverkan en grundkonstruktion har på den totala klimatpåverkan. Även om standarderna EN 15978 och EN 15804 finns för att genomföra beräkningar av miljöprestanda av byggnadsverk respektive byggprodukter kan det råda viss skillnad mellan databaserna, metod och antagande (Hill et al 2017). Det innebär att det uppstår en viss osäkerhet när klimatpåverkan för ett byggnadsverk jämför med en annan.

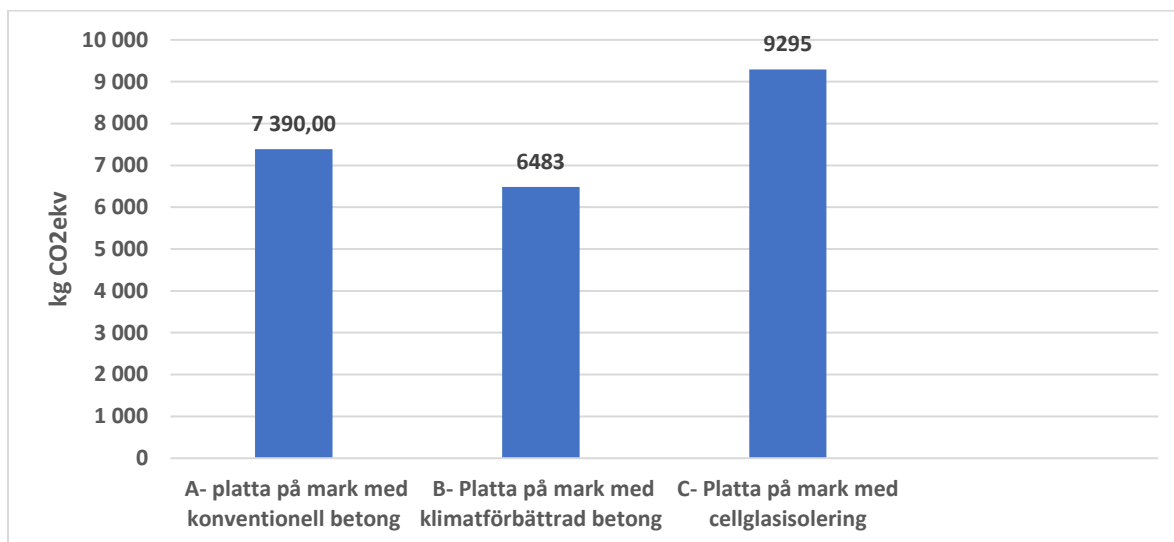
EPD: erna för materialen i casestudien har hämtats från olika leverantörer och programoperatörer samt att det inte finns EPD:er för specifika material och det har lett till att det har gjorts antagande av material som faller under samma materialkategori. Det innebär att indatan kan skilja sig från andra liknande studier.

6.2 Resultatdiskussion

6.2.1 Koldioxidutsläpp från materialproduktion (A1-A3)

Studier som har genomförts de senaste åren påvisar att ekonomi är avgörande vid val av grundläggningsmetoder (Bergman, 2018). Men från och med 1 januari 2022 är det krav på att byggherren ska upprätta och lämna in en klimatdeklaration vid uppförande av en nybyggnad (Boverket, 2020c). Det infördes för att minska klimatpåverkan vid uppförande av byggnader. Det innebär att klimatpåverkan kommer vara en avgörande faktor vid val av grundläggning och material längre fram i tiden.

I Figur 21 redovisas en jämförelse över grundkonstruktionernas klimatpåverkan för en grundkonstruktion som är dimensionerad efter en area på 95,545 m² (9,85x 9,7).



Figur 18 Jämförelse mellan grundkonstruktionernas koldioxidutsläpp från materialproduktion (A1-A3). Ingen hänsyn tagen till materialens livslängd och hållbarhet.

Ur Figur 21 går det utläsa att Grundkonstruktion C släpper ut 1905 CO₂-ekv mer än Grundkonstruktion A och 2812 CO₂-ekv mer än Grundkonstruktion B under produktskedet (A1-A3). Grundkonstruktion B släpper ut 907 mindre CO₂-ekv än grundkonstruktion A, det motsvarar ca 12%. Den största bidragande faktorn var betongen i Grundkonstruktion A och B. Betongen stod för ca 52 % av klimatpåverkan för Grundkonstruktion A och ca 45% av klimatpåverkan för Grundkonstruktion B. Betongen var den näst största bidragande faktorn för Grundkonstruktion C. Betongen stod för ca 41 % av klimatpåverkan för Grundkonstruktion C.

Det är därför byggbranschen jobbar på att ta fram lösningar för att minska betongens inverkan på klimatet. Hittills har flertalet åtgärder vidtagits, bland

annat i tillverkningsprocessen av cementet för att minska på klimatpåverkan eftersom cementet står för mer än 90 % av betongen klimatpåverkan med avseende på modulerna A1-A3.

Enligt LCA som utfördes på villan i Dalarna gick det att fastställa att det var under modulerna A1- A3 över 50 % CO₂-ekv uppkom, medan rapporten från Svensk Betong (2017 d) hävdar att det är mellan 30-50 % beroende på livslängden. Studien påvisade även att grundkonstruktionen var den byggnadsdel som bidrog mest till klimatpåverkan för modulerna A1-A3. Grundkonstruktionen stod för 34 % av klimatpåverkan för modulerna A1-A3.

Om villan i Dalarna som beskrevs i avsnitt 4.1.1 hade byggts med en grundläggning med klimatförbättrad betong istället för den traditionella platta på mark hade den totala klimatpåverkan för modulerna A1-A3 varit mindre. Baserat på värdena från LCA studien på villan i Dalarna hade det potentiellt lett till en minskning mellan 468-780 CO₂-ekv på byggnadens totala klimatutsläpp under ett förväntat livslängd på 100 år om grunden hade utförts med klimatförbättrad betong istället för konventionell betong.

Det finns ett till alternativ till platta på mark som kan bli aktuellt lite längre fram i tiden och det är grundläggning med trä. Principen för grundläggning i trä bygger på att det läggs först ett lager cellplast och därefter tätskiktet, sedan ett nytt lager cellplast och till sist den bärande trägrunden som är av massiv trä (Bennewitz 2020). Trägrunden är ett koncept som lämpar sig för småhus och mindre flerbostadshus upp till tre eller fyra våningar och ger ett lägre klimatavtryck än en traditionell platta på mark (Bennewitz 2020). Om grunden utförs korrekt minskar risken för fuktskador (Bennewitz 2020).

6.2.2 Återanvända/Återvinna

Anna Ryberg, hållbarhetschef hos Derome har sagt att ” Återbruk och cirkularitet en viktig del i att nå de högt ställda klimatmålen inom byggbranschen” (Koljernnordic 2020b). Cellglasskivorna kan återanvändas som markfyllnadsmaterial och isolerande granulat, så kallade hasopor. Cellplast EPS som innehåller CFC klassas som farligt avfall (Bokalders & Block 2014). Cellplast som inte innehåller CFC och om skivan är hel och fri från skador kan återanvändas (Bokalders & Block 2014).

Det är lite omständigt att återanvända/återvinna materialen i en traditionell platta på mark eftersom armeringen måste först frigöras från betongen och därefter kan betongen krossas. Dessutom kan betongen innehålla rester från bland annat rivningsavfall brandskydd, värmeisolering, skumplast, elinstallationer, fogmassor, rör etcetera. Det innebär att det krävs att beaktning

av vart materialet ska användas och eventuell risk för lakning av farliga ämnen (Svensk Betong, 2020e).

Cellglas kan föras tillbaka till tillverkningsprocessen och återvinnas. Det går att återvinna betongen och armeringen. Betongen kan krossas och användas som ballast i ny betong eller som fyllnadsmaterial. Armeringen kan återvinnas och ersätta en del av järnmalm som råvara i ståltillverkningen. Stålet är unikt på grund av att det kan återvinnas hur många gånger som helst utan att den förlorar dess egenskaper dessutom är stålet det mest återvunna industriella materialet (SSAB 2020).

6.2.3 Jämförelse mellan cellplast EPS och cellglas

I det här kapitlet görs en jämförelse mellan cellplast EPS och cellglas utifrån en rad parametrar för att kunna bedöma deras egenskaper i förhållande till varandra.

Vatten-diffusion och absorption

På grund av cellglasets slutna cellstruktur är den både vattentät och diffusionstät. Enligt Pfundstein et al. (2007) är cellglasets resistans oändlig mot vattenångdiffusion och den kan inte absorbera vatten överhuvudtaget. Cellplast EPS kan ta upp till 15 % vatten enligt (Bokalders & Block, 2014). Medan Pfundstein et al. 2007 hävdar att cellplastens index för vattenångdiffusion ligger mellan 20-100 och cellplast EPS absorberar 1-5 vol.% under långtidsabsorption. Det innebär att cellglas står bättre emot markfukt i vätske- och ångfas.

Isoleringsegenskaper

Cellglas har en högre deklarerad värmeledningsförmåga än cellplast EPS (0,041 > 0,038). Men eftersom cellglas förväntas bibehålla sin isoleringsförmåga över tid medan cellplast isoleringsförmåga kommer att försämrats med tiden eftersom den kommer uppta vatten (Bokalders & Block, 2014). Cellglas förväntas isolera bättre över tid.

Beständighet

Cellglas är ett oorganiskt material som inte kan ruttna, står emot skadedjur, kan inte lösas upp av organiska lösningsmedel och syror. Däremot är cellplast ett organiskt material som är känsligt för organiska lösningsmedel och utgör ingen spärr mot skadedjur som gnagare och insekter (Plast- och kemiföretagen 2010).

Hållfasthet

Cellglas har en hög tryckhållfasthet och kan användas som lastbärande isolering (Bokalders & Block 2014). Molnar & Gustavsson (2010) hänvisar i deras rapport där man utfört tester på en cellplast EPS skiva. Utifrån deras

rapport finns det en viss oro över att det kommer att uppstå en större krypdeformation än vad som är tillåtet under dess livslängd.

Livslängd

Baserat på äldre studier och källor gällande livslängden hos cellglas är att cellglaset förväntas ha en lång livslängd och i nuläget finns det ingenting som tyder på att det finns några begränsningar för hur lång livstid den förväntas ha. Enligt Koljernordic (2020) garanteras det att cellglas isolerförmåga kommer att hålla i minst 50 år. Medan det finns oroligheter över cellplast EPS livslängd och isolerförmåga eftersom cellplast EPS kan ta upp till 15 % vatten enligt Bokalders & Block (2014). Cellglas förväntas ha en längre livslängd jämfört med cellplast EPS i en grundkonstruktion.

Brand

Cellplast är ett brandfarligt material som bidrar till en ökad brandrisk (Brandskyddsföreningen 2020). Enligt BBR hamnar cellplast EPS under Klass E för att det är ett lättantändligt material som smälter och brinner under kraftig rökutveckling (Burström & Nilvér 2018). Medan cellglas hamnar under klassen A1 eftersom det inte kan brinna och orsakar inte en spridning av branden. Ur brandsynpunkt är cellglas ett bättre alternativ än cellplast.

Framtiden

Troligtvis kommer cellglas vara mer förekommande som värmeisolering i grundläggning på grund av det är oorganiskt material som är både vattentät och diffusionstät. Högre initiala kostnader på cellglas jämfört med cellplast EPS kan påverka investeringsviljan i att välja cellglas som grundläggningmaterial hos entreprenörer eller beställare.

7 Slutsats

Syftet med det här examensarbetet är att kunna svara på följande frågor:

- Vilken av grundläggningsmetoderna har störst klimatbelastning?
- Vilken av materialen har störst potential till återanvändning/återvinning?
- Vilket av isoleringsmaterialen har bäst termiska egenskaper?

Betongen är det material som bidrar mest till klimatpåverkan vid en traditionell platta på mark. Man kunde utifrån LCA-studien som genomfördes på ”Dalarnas villa” att grundkonstruktionen är en byggnadsdel som står för en stor del av klimatutsläppen under byggproduktionsskedet (A1-A3). Detta beror på att grundkonstruktionen platta på mark som är vanligast vid grundläggning av småhus består till stor del av betong. Beroende på hur mycket grundkonstruktionens klimatpåverkan kan minskas kommer det även ha en viss inverkan på den totala klimatpåverkan. Det har dock inte gjorts tillräckliga många livscykelanalyser på småhus i Sverige för att fastställa hur stor minskningen kommer att bli. Grundkonstruktion B hade lägst klimatpåverkan med avseende på modulerna A1-A3.

Litteraturstudierna indikerar på att cellglas har bättre möjligheter till återanvändning/ återvinning jämfört med de andra materialen i grundkonstruktionerna.

I Tabell 7 går det att utläsa att den totala energiförbrukningen, alltså både förnybar energiförbrukning och icke-förnybar energiförbrukningen, är 1,83 gånger större för cellglasisolering av typen Foamglas T4+ jämfört med cellplast EPS under produktskedet (A1-A3). Detta innebär att cellglasisolering har större påverkan på miljön under produktskedet (A1-A3) ur ett energiförbrukningsperspektiv. I Bilaga 1 EPD:er går det att utläsa att användningen av sekundära material i cellglasisolering av typen Foamglas T4+ är 49 %, vilket kan jämföras med värdet för användningen av sekundära material i cellplastisolering av typen Sundolitt som 0 %. Det vill säga att medan Foamglas till nästan hälften består av återvunnet material så består cellplastisolering av typen Sundolitt endast av jungfruligt material vilket är negativt ur ett cirkulärt perspektiv.

Cellglaset förväntas dessutom bibehålla sina goda isoleringsegenskaper bättre över tid jämfört med vad cellplast förväntas göra. Detta beror på att det inte kan ske en fukttransport i cellglas enligt tillverkarna, medan det finns en möjlighet att det kan ske en fukttransport i cellplast EPS

I Sverige har det gjorts livscykelanalyser (LCA) av byggnader respektive byggprodukter enligt standarderna EN 15978 och EN 15804, men dock kan det råda viss skillnad mellan databaserna, metod och antagande. Det saknas tillräckliga data om grundkonstruktioner, material, vilka arbetsmoment och maskiner som ingår vid varje grundläggningsmetoder där svenska förhållanden ingår. Byggbranschen jobbar på att ta fram en databas för att kunna göra enhetlig jämförelse mellan grundkonstruktioner, för att kunna avgöra hur stor klimatpåverkan en grundkonstruktion har jämfört med en hel byggnad samt för att veta vilka åtgärder som kan vidtas för att göra betydande minskningar på klimatpåverkan.

Förslag till fortsatta studier

- Undersöka den tekniska livslängden hos isoleringsmaterialen.
- Gör en djupgående analys av grundkonstruktionerna med en utförlig beskrivning av arbetsmoment, material och resurseffektivitet.

8 Referenser

Almquist, K., Svensson, J. (2010). *Platta på mark för passivhus- Fuktsäkerhet och värmeisolerande förmåga*. Examensarbete, Institutionen Byggnadsvetenskaper/ Byggnadskonstruktion. Lund: Lunds Tekniska Högskola

Arfvidsson, J., Harderup, L.E, Samuelsson, I (2017). *Fukthandbok*. Stockholm, AB Svensk Byggtjänst, 4: a upplagan, ISBN: 978-91-7333-823-3.

Bennewitz, E. (2020). *Stort intresse för grundläggning med trä*. *Byggindustrin*, 5 mars. Hämtad från: <https://www.byggindustrin.se/artikel/nyhet/stort-intresse-grundlaggning-med-tra-29278>

Bergman, S. (2018). *Livscykelanalys för grundläggning av byggnader*. Examensarbete, Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser. Luleå: Luleå tekniska universitet <http://tu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1252929/FULLTEXT01.pdf>

Bokalders & Block (2014). *Byggekologi*. Stockholm, Svensk Byggtjänst AB, 3: a upplagan, ISBN: 978-91-7333-626-0.

Boverket (2020a). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. Hämtad från 2020-03-10 från: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>

Boverket (2020b). *Klimatdeklaration vid uppförande av byggnad*. Hämtad 2020-05-02 från: <https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/klimatdeklaration/>

Brandskyddsföreningen (2020). *Fakta om cellplastbränder*. Hämtad 2020-03-11 från: <https://www.brandskyddsforeningen.se/brandsakerhet/byggsektorn/cellplast/fakta-om-cellplastbrander/>

Burström, P.G. & Nilvér, K (2018). *Byggnadsmaterial*. Lund, Studentlitteratur AB, 3: a upplagan, ISBN: 978-91-44-05755-2.

During, O. (2015). *Miljöbedömning av husstomme i trä jämfört med stomme i resurssnål betongteknik.*

<https://www.e-magin.se/paper/2h6m91dr/paper/1#/paper/2h6m91dr/51>

Foamglas (2020). *Produkter.* Hämtad 2020-03-12 från:

<https://www.foamglas.com/sv-se>

Grundmäklarna (2017). *Grundboken-skapa rätt förutsättningar.* Hämtad

2020-05-07 från: [https://www.grundmaklarna.se/wp-](https://www.grundmaklarna.se/wp-content/uploads/2017/07/Grundboken-2016_HR_2-2.pdf)

[content/uploads/2017/07/Grundboken-2016_HR_2-2.pdf](https://www.grundmaklarna.se/wp-content/uploads/2017/07/Grundboken-2016_HR_2-2.pdf)

Hill, C., Norton, A. & Dibdiakova, J. (2017). A comparison of the environmental impacts of different categories of insulation materials. *Energy and Buildings*. Vol. 162: 12-20

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817334679>

IVA (2018). *Klimatpåverkan från byggprocessen.*

<https://www.iva.se/globalassets/rapporter/ett-energieffektivt-samhalle/201406-iva-energieffektivisering-rapport9-i1.pdf>

Isover (2020a). *Platta på mark-yttervägg.* Hämtad 2020-03-10 från

<https://www.isover.se/solutions/k208-platta-pa-mark-yttervagg>

Isover (2020b). *Krav på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient.* Hämtad

2020-03-12 från: <https://www.isover.se/krav-pa-genomsnittlig-varmegenomgangskoefficient>

Kiilsgaard, R. (2019). *Förutsättningar att bedöma klimatpåverkan från grundläggning och grundkonstruktioner.* Statens geotekniska institut

<https://www.swedgeo.se/contentassets/9feca5bb630e43ac9593b2f0ea78315c/rappport-klimatpaverkan-grundlaggning-2019.pdf>

Koljernordic.se (2020). *Produkter.* Hämtad 2020-04-24 från:

<https://www.koljernordic.se/Produkter.php>

Koljernordic.se (2020b). *Återvunnet glas blir grund till fossilfri förskola.* Hämtad 2020-05-01:

<http://www.mynewsdesk.com/se/koljern/pressreleases/aatervunnet-glas-blir-grund-till-fossilfri-foerskola-2994641>

Larsson, M., Erlandsson, M, Malmqvist, T. & Kellner, J. (2017). Byggandets klimatpåverkan- *Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme*

<https://www.ivl.se/download/18.29aef808155c0d7f05063/1467900250997/B2260.pdf>

Madehow (2020). *Expanded polystyrene foam (EPF)*. Hämtad 2020-03-11

från: <http://www.madehow.com/Volume-1/Expanded-Polystyrene-Foam-EPF.html>

Mólnar, M & Gustavsson, T (2010). *L-Element problematisk grundläggning för murade väggar*. Bygg och teknik, nr 2 ss.49-52

<http://www.konstruktioner.se/pdf/L-element.pdf>

Mård (2014). *Koljerntechniken*. Hämtad 2020-04-20 från:

https://belglas.files.wordpress.com/2014/06/ake_koljern_tekniken.pdf

Naturvårdsverket (2019a). *Handlingsplan för att nå Sveriges klimatmål*.

<http://www.naturvardsverket.se/klimatmal>

Naturvårdsverket (2019b). *Bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan*.

Hämtad från 2020-03-10 från:

<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Bygg--och-fastighetssektorns-klimatpaverkan/>

Naturvårdsverket (2019c). *Lagar och regler om avfall*.

<https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Avfall/Lagar-och-regler-om-avfall/>

Naturvårdsverket (2016). *Isoleringsmaterial kan vara farligt avfall*.

<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-8757-9.pdf?pid=17366>

Petrovic´, B., Myhren, J.A, Zhang, X., Wallhagen, M & Eriksson, O. (2019). Life Cycle Assessment of Building Materials for a Single-family House in Sweden. *Energy Procedia*. Vol. 158: 3547-3552

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219309579>

Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, M.H., & Rudolphi, A (2007). *Insulating Materials*. Munich, Architektur-Dokumentation GmbH & Co KG. ISBN: 978-3-7643-8654-2

https://books.google.se/books?hl=sv&lr=&id=4VzRAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&ots=TyXxhsgBKR&sig=vPWaL4YJbxWOj9-3Podd6RaWaRQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Plast - & Kemiföretagen (2010). *EPS i grund och mark*.

<https://www.ikem.se/globalassets/huvudsajt/dokumentfiler/sectorgrupper/eps-bygg/grundboken.pdf>

Pujadas-Gispert, E., Sanjuan-Delmás, D, & Josa, A (2018). Environmental analysis of building shallow foundations: The influence of prefabrication, typology and structural design codes. *Journal of Cleaner Production*, Vol.186:407-417

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618307662#bib6>

Ryan, Kolzenburg, Vona, Heap & Russel, 2018. A proxy for magmatic foams: Foamglas, a closed-cell glass insulation. *Journal of Non-Crystalline Solids:X*. Vol.1: 100001

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590159118300013>

Sandanayake, M., Zhang, G och Setunge, S. (2015). Environmental emissions at foundation construction stage of buildings- Two case studies. *Building and Environment*. Vol.95: 189-198

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315301104>

Sandin, K. (2010) *Praktisk byggnadsfysik*. Lund, 1: a upplagan Studentlitteratur AB. ISBN: 978-91-44-05991-4.

Svensk Betong (2020a). *Koldioxidutsläpp*. Hämtad 2020-04-24 från:

https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/miljo-och-hallbarhet/koldioxidutslapp?fbclid=IwAR0bR_7KILZVBKPDp6TvJYqM-_S9SL62fsgl-F9WoQHm4O_IPuHdEqd98bY

Svensk Betong (2018b). *Svensk Betongs EPD'er*. Hämtad 2020-04-24 från:

https://www.svenskbetong.se/images/Kraftsamling_-_Material/Faktablad/SvenskBetong_Faktablad_A4_SvenskBetongsEPDer.pdf?fbclid=IwAR1QheNwbk4OyuiMp_1AzZgnLK2no2t7yTNPgztde9_9YMA3mrKcODGp7CI

Svensk Betong (2017c). *Betong och klimat- En rapport om arbetet för klimatneutral betong*. <https://www.svenskbetong.se/klimatrapport>

Svensk Betong (2020d). *Karbonatisering*. Hämtad 2020-04-24 från: <https://www.svenskbetong.se/hallbarhet/karbonatisering>

Svensk Betong (2020e). *Återvinning*. Hämtad från: 2020-04-25: <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-platsgjutet/hallbart-byggande/bestandighet-och-livslangd-2>

Svensk Betong (2017d). *Betong och klimat*. http://thomasbetong.se/images/docs/Environment/Rapport%20Betong_och_klimat_Thomas%20Betong.pdf

Svenska Miljöinstitutet (2020). *Byggsektorns miljöberäkningsverktyg*. Hämtad 2020-04-20 från: <https://www.ivl.se/sidor/vara-omraden/miljodata/byggsektorns-miljoberakningsverktyg.html>

Sveriges radio (2011). *Stor brandfara med frigolit i byggnader*. Hämtad 2020-03-12 från: <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=160&artikel=4625789>

SSAB (2020a). *Kolidoxideffektivitet*. Hämtad 2020-04-24 från: https://www.ssab.se/ssab-koncern/hallbarhet/hallbar-verksamhet/koldio-ideffektivitet-ssab?fbclid=IwAR1fuzUb3uVJ-OrJlkaaQykHoA3c_6A4J89-9P8s_shqkohhF3jFD2dLwjc

SSAB (2020b). *SSAB i den cirkulära ekonomin*. Hämtad 2020-04-24 från: <https://www.ssab.se/ssab-koncern/hallbarhet/hallbart-erbjudande/ssab-i-den-cirkulara-ekonomin>

Sundolitt (2020). *Produktguide*. Hämtad 2020-03-11 från: https://img.bygg hemma.se/pfiles/Produktguide%20Sundolitt%20Cellplast.pdf_0086eb51-9e65-4e74-8e31-4807ee51dee2.pdf

Thormark, C. (2001). Conservation of energy and natural resources by recycling building waste. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 33(2): 113-130
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344901000787#BIB6>

Bilaga 1 EPD:er

Cellglas (Foamglas EPD). Den deklarerade enheten är 1 kg.

5. LCA: Results

The environmental impacts of the coated product "FOAMGLAS® T4+" are to be assessed with the help of a plus-factor in the amount of 13%. This plus-factor was calculated on the basis of the GWP and PENRT. This can therefore be relatively safely used for GWP and PENRT. There may be greater uncertainty with the other indicators. Environmental effects caused by installation losses are not included in the LCA results, since these depend on the construction project and thus vary. To calculate the additional environmental burdens caused by the production and disposal of these installation losses, the LCA results for a specific installation loss can be calculated (e.g. installation loss 3%, multiplication of the LCA results by 1.03).

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X = INCLUDED IN LCA; MND = MODULE NOT DECLARED)

PRODUCT STAGE			CONSTRUCTION PROCESS STAGE		USE STAGE								END OF LIFE STAGE				BENEFITS AND LOADS BEYOND THE SYSTEM BOUNDARIES
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport from the gate to the site	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling-potential	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	X	X	

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT: 1 kg FOAMGLAS® T4+

Parameter	Unit	A1-A3	A4	A5	C4	D
Global warming potential	[kg CO ₂ -Eq.]	1.32E+0	1.68E-2	1.21E-2	1.35E-2	-5.36E-3
Depletion potential of the stratospheric ozone layer	[kg CFC11-Eq.]	2.40E-11	8.04E-14	1.46E-14	1.84E-13	-6.26E-12
Acidification potential of land and water	[kg SO ₂ -Eq.]	2.92E-3	7.69E-5	2.97E-6	8.62E-5	-6.16E-6
Eutrophication potential	[kg (PO ₄) ³ -Eq.]	3.59E-4	1.76E-5	2.37E-7	1.18E-5	-8.78E-7
Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants	[kg ethene-Eq.]	2.25E-4	-2.48E-5	1.62E-7	8.09E-6	-8.57E-7
Abiotic depletion potential for non-fossil resources	[kg Sb-Eq.]	7.05E-6	6.33E-10	1.74E-9	5.10E-9	-3.84E-10
Abiotic depletion potential for fossil resources	[MJ]	2.00E+1	2.32E-1	5.64E-3	1.78E-1	-8.73E-2

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE: 1 kg FOAMGLAS® T4+

Parameter	Unit	A1-A3	A4	A5	C4	D
Renewable primary energy as energy carrier	[MJ]	9.00E+0	9.13E-3	5.86E-4	1.54E-2	-5.24E-3
Renewable primary energy resources as material utilization	[MJ]	0.00E+0	-	-	-	-
Total use of renewable primary energy resources	[MJ]	9.00E+0	9.13E-3	5.86E-4	1.54E-2	-5.24E-3
Non-renewable primary energy as energy carrier	[MJ]	2.05E+1	2.32E-1	6.42E-3	1.86E-1	-1.21E-1
Non-renewable primary energy as material utilization	[MJ]	0.00E+0	-	-	-	-
Total use of non-renewable primary energy resources	[MJ]	2.05E+1	2.32E-1	6.42E-3	1.86E-1	-1.21E-1
Use of secondary material	[kg]	4.90E-1	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0
Use of renewable secondary fuels	[MJ]	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0
Use of non-renewable secondary fuels	[MJ]	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0
Use of net fresh water	[m ³]	1.53E-2	6.44E-6	2.97E-5	-7.11E-4	-1.33E-5

EPD Cellplast EPS (Sundolitt EPS 80)

Den deklarerade enheten är 1 m² med tjockleken 38 mm.

LCA: Resultater

Resultatene er beregnet ved hjelp av programvaren SimaPro 8.0.2 (Pré 2014). Miljøeffekter er beregnet ved hjelp av karakteriseringsmetoder som beskrevet i PCR og i EN 15804 i en egenutviklet karakteriseringsmodell basert på CML-IA.

Systemgrenser (X = inkludert, MID = modul ikke deklareret, MIR = modul ikke relevant)

Produktfase			Konstruksjon installasjon fase		Bruksfase								Sluttfase			Etter endt levetid
Råmatten seler	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjon installasjon fase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk-gjenvinning-resirkulering-potensiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	X	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MID	X	X	X	X

Miljøpåvirkning *

Parameter	Unit	A1-A3	A4	A5		C2	C3	C4	D
GWP	kg CO ₂ -ekv	2,2	5,7E-03	0,023		6,9E-03	0,93	1,9E-03	-0,80
ODP	kg CFC11-ekv	6,2E-08	9,3E-10	2,7E-11		1,0E-09	6,6E-09	4,9E-11	-2,4E-08
POCP	kg C ₂ H ₄ -ekv	0,012	5,2E-06	7,1E-07		1,6E-05	4,9E-05	6,3E-07	-8,3E-04
AP	kg SO ₂ -ekv	7,1E-03	1,8E-05	2,3E-06		3,1E-05	1,9E-04	1,2E-06	-3,0E-03
EP	kg PO ₄ ³⁻ -ekv	8,3E-04	4,8E-06	4,2E-06		7,0E-06	1,9E-04	9,0E-05	-2,7E-04
ADPM	kg Sb-ekv	5,7E-07	3,1E-08	1,7E-03		6,5E-09	2,1E-07	4,6E-10	-1,7E-07
ADPE	MJ	52	0,092	4,8E-06		0,10	0,67	4,8E-03	-19

* Det er noe variasjon i energi- og materialbruk hos de ulike produsentene, både med tanke på typer og mengder. Det gir også litt ulike resultater og størst forskjell mellom de ulike produsentene finnes i kategorien EP hvor det er rett i overkant av 20 % forskjell mellom største og minste resultat.

GWP Globalt oppvarmingspotensial; **ODP** Potensial for nedbryting av stratosfærisk ozon; **POCP** Potensial for fotokjemisk oksidantdannelse; **AP** Forsureningspotensial for kilder på land og vann; **EP** Overgjødslingspotensial; **ADPM** Abiotisk uttømmingspotensial for ikke-fossile ressurser; **ADPE** Abiotisk uttømmingspotensial for fossile ressurser

Ressursbruk

Parameter	Unit	A1-A3	A4	A5		C2	C3	C4	D
FPEE	MJ	0,88	1,0E-03	4,0E-05		4,7E-04	8,2E-03	7,5E-05	-3,7
FPEM	MJ	0,026	1,1E-04	5,8E-09		4,7E-05	9,0E-04	5,8E-06	-0,026
TFE	MJ	0,91	1,1E-03	4,0E-05		5,2E-04	9,1E-03	8,0E-05	-3,7
IFPE	MJ	27	0,072	1,7E-03		8,4E-02	5,0E-01	3,7E-03	-10
IFPM	MJ	25	-	-		-	-	-	-
TIFE	MJ	52	0,072	1,7E-03		8,4E-02	5,0E-01	3,7E-03	-10
SM	kg	-	-	-		-	-	-	-
FSB	MJ	-	-	-		-	-	-	-
IFSB	MJ	-	-	-		-	-	-	-
V	m ³	0,15	4,9E-05	1,1E-05		2,7E-05	6,7E-04	5,8E-06	-0,034

FPEE Fornybar primærenergi brukt som energibærer; **FPEM** Fornybar primærenergi brukt som råmateriale; **TFE** Total bruk av fornybar primærenergi; **IFPE** Ikke fornybar primærenergi brukt som energibærer; **IFPM** Ikke fornybar primærenergi brukt som råmateriale; **TIFE** Total bruk av ikke fornybar primærenergi; **SM** Bruk av sekundære materialer; **FSB** Bruk av fornybart sekundære brensel; **IFSB** Bruk av ikke fornybart sekundære brensel; **V** Netto bruk av ferskvann

Bilaga 2 Materialens densiteter

Material	Densitet (kg/m ³)	Källa
Betong	2358	BM 1.0
Armering	7850	Byggnadsmaterial (2018)
Makadam	1400	NCC Industry AB
Cellplast	20	Sundolitt
Cellplast kantelement	30	Sundolitt
Cellglas	115	Foamglas

Bilaga 3 Mängberäkning för Grundkonstruktion A & B

Husets mått är 9,85x9,7. Detaljlösningen för grundkonstruktionen redovisas i Figur 17. Materialens densiteter redovisas i Bilaga 3

Markarbete

Husets mått +1 m varje sida x (grundkonstruktionens totala tjocklek-sockelhöjden):

$$V = 11,85 \cdot 11,7 \cdot (0,7 - 0,1) = 83,19 m^3$$

Makadam

Tjockleken på makadamskiktet: 0,2 m

$$V = 11,85 \cdot 11,7 \cdot 0,2 = 27,73 m^3$$
$$m = p \cdot V = 1400 \cdot 27,73 = 38\,820,61 \text{ kg}$$

Betong

Platta

Volymen har beräknats enligt följande princip:
(Husets mått- kantbalkens dimensioner) x tjockleken på betongplattan:

$$V = (9,85 - 0,4 - 0,4) \cdot (9,7 - 0,4 - 0,4) \cdot 0,1 = 8,06 m^3$$

Kantbalk

Kantbalkens dimensioner: 0,4x0,4x0,4

$$A = 9,85 \cdot 9,7 - 9,05 \cdot 8,9 = 15 m^2$$
$$V = 15 \cdot 0,4 = 6 m^3$$

Betongens volym har beräknats enligt följande princip: Plattans volym + kantbalkens volym – totala armeringens volym – armeringsnätets volym

$$V_{tot} = 6 + 8,0545 - 0,09 - 0,07 = 13,8945 m^3$$
$$m = p \cdot V = 2358 \cdot 13,8945 = 32\,763 \text{ kg}$$

Cellplast

Tjockleken på cellplastskiktet: 3x100

$$V = 9,05 \cdot 8,9 \cdot 0,3 = 24,16 \text{ m}^3$$

$$m = \rho \cdot V = 20 \cdot 24,16 = 483,27 \text{ kg}$$

Kantelement

Kantelementets dimensioner: 0,5x0,5x0,1. Kantelement är utformad som en L-profil.

$$A = (0,5 \cdot 0,5) - (0,4 \cdot 0,4) = 0,09 \text{ m}^2$$

$$L = 9,85 \cdot 2 + 9,7 \cdot 2 = 39,1 \text{ m}$$

$$V = 0,09 \cdot 39,1 = 3,52 \text{ m}^3$$

$$m = \rho \cdot V = 30 \cdot 3,52 = 105,57 \text{ kg}$$

Armering

Ø 10 1000 s400

$$A = \pi \cdot 0,005^2 = 7,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$L = \frac{1000}{400} (9,05 \cdot 2 + 8,9 \cdot 2) = 89,95 \text{ m}$$

$$V = 7,85 \cdot 10^{-4} \cdot 89,95 = 0,07 \text{ m}^3$$

Ø 12

$$A = \pi \cdot 0,006^2 = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Längden har beräknats enligt följande princip:

3 Ø 12 längsgående i husets riktningar x husets mått:

$$L = 6 \cdot 9,85 + 6 \cdot 9,7 = 117,3 \text{ m}$$

$$V = 1,13 \cdot 10^{-4} \cdot 117,3 = 0,01 \text{ m}^3$$

Ø 12- B 600+600

$$A = \pi \cdot 0,006^2 = 1,13 \cdot 10^{-4} m^2$$

Längden har beräknats utifrån att det är 3 B-järn i husets hörn:

$$L = (3 \times (0,6 + 0,6))4 = 14,4m$$

$$V = 1,131 \cdot 10^{-4} \cdot 14,4 = 0,002 m^3$$

Armeringens totala volym:

$$V_{tot} = 0,07065 + 0,0133 + 0,00163 = 0,09 m^3$$

$$m = p \cdot V = 7850 \cdot 0,0855 = 671,18 \text{ kg}$$

Armeringsnät Ø8150

c/c avståndet för nätet är 150 mm.

Längden för armeringsnätet har multiplicerats med 2 för att nätet går i två riktningar.

$$L = \left(\frac{1000}{150} \cdot 9,85 \cdot 9,7 \right) 2 = 1274 m$$

$$A = \pi \cdot 0,004^2 = 5,027 \cdot 10^{-5} m^2$$

$$V = 5,027 \cdot 10^{-5} \cdot 1274 = 0,07 m^3$$

$$m = p \cdot V = 7850 \cdot 0,07 = 502,4 \text{ kg}$$

Bilaga 4 Mängdberäkning för Grundkonstruktion C

Beräkningarna för Grundkonstruktion C är detsamma som Grundkonstruktion A & B. Den enda skillnaden är cellplast har bytts ut mot cellglas

Markarbete

Husets mått +1 m varje sida x (materialens totala tjocklek- sockelhöjden)

$$V = 11,85 \cdot 11,7 \cdot (0,7 - 0,1) = 83,19 m^3$$

Makadam

Tjockleken på makadamskiktet: 0,2 m

$$V = 11,85 \cdot 11,7 \cdot 0,2 = 27,73 m^3$$
$$m = p \cdot V = 1400 \cdot 27,73 = 38\,820,61 \text{ kg}$$

Betong

Platta

Volymen har beräknats enligt följande princip:
(Husets mått- kantbalkens dimensioner) x tjockleken på betongplattan:

$$V = (9,85 - 0,4 - 0,4) \cdot (9,7 - 0,4 - 0,4) \cdot 0,1 = 8,06 m^3$$

Kantbalk

Kantbalkens dimensioner: 0,4x0,4x0,4

$$A = 9,85 \cdot 9,7 - 9,05 \cdot 8,9 = 15 m^2$$
$$V = 15 \cdot 0,4 = 6 m^3$$

Betongens volym har beräknats enligt följande princip: Plattans volym + kantbalkens volym – totala armeringens volym – armeringsnätets volym

$$V_{tot} = 6 + 8,0545 - 0,09 - 0,07 = 13,8945 m^3$$
$$m = p \cdot V = 2358 \cdot 13,8945 = 32\,763 \text{ kg}$$

Cellglas

Tjockleken på cellglasskiktet: 3x100

$$V = 9,05 \cdot 8,9 \cdot 0,3 = 24,16 \text{ m}^3$$

$$m = p \cdot V = 115 \cdot 24,16 = 2778,4 \text{ kg}$$

Kantelement

Kantelementets dimensioner: 0,5x0,5x0,1. Kantelement är utformad som en L-profil

$$A = (0,5 \cdot 0,5) - (0,4 \cdot 0,4) = 0,09 \text{ m}^2$$

$$L = 9,85 \cdot 2 + 9,7 \cdot 2 = 39,1 \text{ m}$$

$$V = 0,09 \cdot 39,1 = 3,52 \text{ m}^3$$

$$m = p \cdot V = 30 \cdot 3,52 = 105,57 \text{ kg}$$

Armering

Ø 10 1000 s400

$$A = \pi \cdot 0,005^2 = 7,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$L = \frac{1000}{400} (9,05 \cdot 2 + 8,9 \cdot 2) = 89,95 \text{ m}$$

$$V = 7,85 \cdot 10^{-4} \cdot 89,95 = 0,07 \text{ m}^3$$

Ø 12

$$A = \pi \cdot 0,006^2 = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Längden har beräknats enligt följande princip:

3 Ø 12 längsgående i husets riktningar x husets mått

$$L = 6 \cdot 9,85 + 6 \cdot 9,7 = 117,3 \text{ m}$$

$$V = 1,13 \cdot 10^{-4} \cdot 117,3 = 0,01 \text{ m}^3$$

Ø 12- B 600+600

$$A = \pi \cdot 0,006^2 = 1,13 \cdot 10^{-4} m^2$$

Längden har beräknats utifrån att det är 3 B-järn i husets hörn.

$$L = 14,4 m$$

$$V = 1,131 \cdot 10^{-4} \cdot 14,4 = 0,002 m^3$$

Armeringens totala volym:

$$V_{tot} = 0,07065 + 0,0133 + 0,00163 = 0,09 m^3$$

$$m = \rho \cdot V = 7850 \cdot 0,0855 = 671,18 \text{ kg}$$

Armeringsnät Ø8150

c/c avståndet för nätet är 150 mm.

Längden för armeringsnätet har multiplicerats med 2 för att nätet går i två riktningar.

$$L = \left(\frac{1000}{150} \cdot 9,85 \cdot 9,7 \right) 2 = 1274 m$$

$$A = \pi \cdot 0,004^2 = 5,027 \cdot 10^{-5} m^2$$

$$V = 5,027 \cdot 10^{-5} \cdot 1274 = 0,07 m^3$$

$$m = \rho \cdot V = 7850 \cdot 0,07 = 502,4 \text{ kg}$$

