

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND

Division of Structural Engineering
Faculty of Engineering, LTH
P.O. Box 118
S-221 00 LUND
Sweden

Inverkan av översvämningar och förväntade höjda havsnivåer på enfamiljshus i kustnära områden i Malmö

The impact of floods and expected sea level rise on single family homes in coastal areas in Malmö

Tamer El-Haj

2015

Rapport TVBK-5239
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-15/5239-SE(100)

Examensarbete
Handledare: Miklos Molnar
Examinator: Eva Frühwald Hansson
Januari 2015

Förord

Detta examensarbete genomfördes på avdelningen för konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Omfattningen på arbetet är 30 högskolepoäng och det genomfördes under perioden september 2014 till januari 2015.

Jag vill tacka Miklos Molnar, Eva Frúhwald Hansson, Kikki Nillasdotter och alla andra som har varit till hjälp på LTH, ni har varit till stor hjälp under examensarbetet.

Jag vill även tacka familj och vänner som varit med som stöd under arbetets gång för att ha hjälpt mig att driva fram examensarbetet.

Abstract

The climate changes along with the rising sea levels and flooding that arises as an effect can be a threat to existing and planned buildings (IPCC, 2014). The aim of this thesis is to examine how existing single family buildings can be damaged by flooding, as well as to find problem solving suggestions on new constructions that can withstand flooding and storms. The purpose is also to evoke new ideas to companies and municipalities to start building with a sustainable approach with regard to flooding.

Malmö will with return period of 100 years, be flooded with a rising sea level to almost three meters that will lead to different forms of consequences, such as extensive damaging on single family buildings.

An investigation was made on two different houses in Malmö; the first house is a 1, 5 floor residential home from the 1980s without a basement; in addition, it is built with a wooden frame. The second house is a 2- floor residential home from the 1930s which has a basement and is built with bricks. These two houses were examined for the following three cases:

- Case 1- How is the house affected, if it is not waterproof?
- Case 2- How is the settlements and lifts on the house affected, if it is waterproof?
- Case 3- How is the water pressure on the house affected, if it is waterproof?

These cases are investigated for resistance, stability, and moisture damages.

The investigation shows that the 1, 5 floor residential home that is built with wooden frames, will have extensive damage due to flooding. The flooding will cause, amongst other things, the house to lift and become tilted; the woods' strength will decrease and the house collapses; likewise, moisture damages on the walls which will lead to the frames molded leading to mold growth.

The 2- floor residential home that is built with brick walls manages to cope better, since neither its stability nor the walls resistance is being threatened. However, the basement floor is exposed to lifting forces that can cause breakage. In addition, huge moisture damages on the house can occur.

A suggestion for future solutions is floating houses on the ground. This is made with the help of basements that are waterproofed concrete, which means that it can be lifted up with the help of lifting force from the water.

The conclusion is that the existing houses in Malmö are not flood adapted. Therefore, new constructions need to be adjusted to be able to manage flooding. The solution that is described in this thesis can be further researched on, and in collaborations with drain-installers and geotechnical engineers, etc., fluid houses on the ground can be developed as a solution.

Keyword: Climate change, flooding, rising sea level, single family houses, resistance, stability, moisture, damages, houses.

Sammanfattning

Klimatförändringarna med stigande havsnivåer och översvämningar som följd kan utgöra ett hot mot befintlig och planerad bebyggelse (IPCC, 2014). Syftet med examensarbetet är att undersöka hur befintliga enfamiljshus kan skadas av översvämningar, samt hitta lösningsförslag på nybyggnationer som kan klara av översvämningar och stormar. Syftet med detta är även att väcka nya tankar hos företag och kommuner om att börja bygga på ett hållbart sätt med hänsyn till översvämningar.

Malmö kommer med 100-års återkomsttid översvämmas med en havsnivåstigning på närmare tre meter som leder till konsekvenser i olika former, bland annat omfattande skador på enfamiljshus.

En undersökning på två olika villor i Malmö gjordes, den ena villan är en 1,5-plansvilla utan källare från 1980-talet som är byggd med en trästomme. Den andra är en 2-plansvilla med källare från 1930-talet som är byggd med murverk. Dessa villor undersöktes för följande tre fall:

- Fall 1 – Hur påverkas huset om det inte är vattentätt?
- Fall 2 – Hur påverkas sättningar och lyftkrafter på huset om det är vattentätt?
- Fall 3 – Hur påverkar vattentryck huset om det är vattentätt?

Dessa fall undersöks med hänsyn till bärförmåga, stabilitet och fuktskador.

Undersökningen visar att 1,5-plansvillan som är byggd med trästomme får omfattande skador av översvämningar. Översvämningen medför bland annat att huset lyfts och kan bli snedställt, trädets hållfasthet minskar och medför att huset kollapsar, väggarna fuktskadas och leder till att stommen får ett mögelangrepp.

2-plansvillan med murad stomme klarar sig bättre, eftersom varken dess totala stabilitet eller stommens bärförmåga hotas. Källargolvet däremot utsätts för lyftkrafter som kan orsaka brott. Även stora fuktskador i huset kan uppstå.

Ett förslag på en framtidslösning är flytande hus på marken. Det görs med hjälp av en källare av vattentät betong vilket innebär att den kan lyftas upp med hjälp av lyftkraften från vattnet.

Slutsatsen är att de befintliga husen inte är översvämninganpassade. Därför måste nybyggnationer anpassas till att klara av översvämningar. Lösningsförslaget som beskrivits i examensarbetet kan forskas vidare på och i samarbete med VA-installatörer och geotekniker, med mera, kan en helhetslösning på flytande hus på mark utvecklas.

Nyckelord: Klimatförändring, Översvämning, Stigande havsnivåer, Enfamiljshus, Bärförmåga, Stabilitet, Fuktskador, 1,5-plansvilla, 2-plansvilla.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SYFTE.....	1
1.3	PROBLEMFÖRMULERING.....	1
1.4	HYPOTES	2
1.5	AVGRÄNSNING	2
1.6	METOD.....	2
2	KLIMATFÖRÄNDRINGAR OCH DESS KONSEKVENSER I MALMÖ	3
2.1	KONSEKVENSER AV FÖRSTÄRKT VÄXTHUSEFFEKT	4
2.2	KLIMATPROBLEM I MALMÖ.....	5
2.2.1	<i>Havsvattennivån i Malmö</i>	6
2.2.2	<i>Kartläggning av havsnivån i Malmö</i>	7
2.3	GRUNDEVATTEN OCH JORDARTER.....	11
2.4	VIND	12
2.5	OLIKA LÖSNINGAR I OMVÄRLDEN	12
2.5.1	<i>Tillfälliga lösningar</i>	13
2.5.2	<i>Permanent lösningar</i>	14
3	METOD	16
4	ANALYS	18
4.1	DE LÄGST BELÄGNA BOSTADSOMRÅDEN.....	18
4.2	1,5-PLANSVILLA – UTAN KÄLLARE	19
4.2.1	<i>Fall 1</i>	20
4.2.2	<i>Fall 2</i>	23
4.2.3	<i>Fall 3</i>	24
4.3	2-PLANSVILLA – MED KÄLLARE	26
4.3.1	<i>Fall 1</i>	26
4.3.2	<i>Fall 2</i>	27
4.3.3	<i>Fall 3</i>	28
4.4	LÖSNINGSFÖRSLAG – FLYTANDE HUS PÅ MARK.....	28
5	DISKUSSION	33
6	SLUTSATS	35
7	KÄLLOR	36
	BILAGA 1 – JORDARTSKARTA	I
	BILAGA 2 – 1,5-PLANSVILLA	II
	BILAGA 3 – 2-PLANSVILLA	XI
	BILAGA 4 – HANDBERÄKNING	XIII
	1,5-PLANSVILLA	XIII
	FALL 1	XIII
	<i>Snölast</i>	XIII
	<i>Vindlast</i>	XIII
	<i>Vind mot tak</i>	XIII
	<i>Egentyngd av takstolar och bjälklagsbalkar</i>	XIV

<i>Dimensionerande laster</i>	XIV
<i>Dimensionerande last från tak</i>	XV
<i>Dimensionerande last på bjälklaget</i>	XVI
<i>Vindlast på fasadpelaren:</i>	XVII
KONTROLL AV PELARE VID OLIKA LASTFALL	XVIII
<i>Kontroll av tryckkraft – fasadpelare</i>	XIX
<i>Kontroll av tryck – mittenpelare</i>	XX
<i>Kontroll av momentkapaciteten för fasadpelare för klimatklass 3</i>	XXI
<i>Kontroll av tvärkraften</i>	XXII
KONTROLL AV SAMTIDIGT TRYCK OCH BÖJMOMENT FÖR FASADPELAREN	XXII
<i>Kontroll av vad som händer när mittenpelaren går sönder</i>	XXIII
<i>Kontroll av kapacitet vid en vattenmättnadsnivå på 1,5 meter i pelaren.</i>	XXIV
<i>Tryckkapacitet för fasadpelare vid cirka 1,5 meters vattennivå för klimatklass 1</i>	XXVI
<i>Tryckkapacitet för mittenpelare vid cirka 1,5 meters vattennivå för klimatklass 1</i>	XXVII
<i>Kontroll av fasadpelare vid samtidigt tryck och böjmoment då mittenpelare knäcks vid cirka 1,5 meters vattennivå</i>	XXIX
<i>Kontroll av kapacitet vid en vattenmättnadsnivå på 1,0 meter i pelaren.</i>	XXIX
<i>Kontroll av fasadpelare vid samtidigt tryck och böjmoment vid cirka 1,0 meters vattennivå</i>	XXXI
<i>Deformation i syll</i>	XXXII
<i>Uttorkningstid för träregel</i>	XXXIII
FALL 2	XXXIV
<i>Sättning</i>	XXXVII
<i>Effektiv bärförmåga</i>	XXXVIII
FALL 3	XXXIX
<i>Vågtryck</i>	XLI
2-PLANSVILLA	XLIII
<i>Vind på kortsida och långsida:</i>	XLIII
<i>Vind mot tak</i>	XLIII
FALL 1	XLIV
<i>Torkningstid</i>	XLIV
FALL 2	XLIV
<i>Bjälklagskontroll mot lyftkraft</i>	XLV
FALL 3	XLVII

1. Inledning

1 Inledning

I examensarbetet studeras vilka klimatförändringsproblem som kan orsaka bärande konstruktionsrelaterade svårigheter. Klimatförändringen kan bland annat innebära kraftiga översvämningar och starkare vindar. Examensarbetet kommer att ta hänsyn till framtida problem fram till år 2100.

1.1 Bakgrund

Det förväntas förekomma översvämningar i framtiden. Problemet är globalt och väntas bli ett större problem på grund av klimatförändringen. Al Gore (2006) menar att denna klimatförändring utgör ett hot mot mänskligheten eftersom ökande havsnivåer och effekter av intensivare stormar kommer att påverka oss alla. Byggnader kommer bland annat att förstöras genom starka vindar, vattenbelastningar och fuktproblem. Problemen förväntas växa och bli större i framtiden, speciellt med tanke på att det har byggts förhållandevis mycket i vattennära områden (Gore, 2006).

Orsaken till klimatförändringen är den förstärkta växthuseffekten, med andra ord, den globala uppvärmningen. Uppvärmning leder till att polarisen smälter och haven stiger. Detta i sin tur leder till att delar av kontinenterna översvämmas och hamnar under vattenytan (Naturvårdsverket, 2001).

Malmö har sedan tidigare inga stora förberedelser för framtida översvämningar (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008). Det kan bero på att det tidigare inte uppmärksammats några större problem med klimatförändringen. Men nu har det visat sig att intensivare nederbörd och översvämningar kan förväntas att förekomma allt mer i framtiden. Detta kommer leda till problem eftersom byggnaderna inte är anpassade till översvämningar och stormar (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008). Ett exempel på en redan inträffad översvämning är skyfallet i Malmö som inträffade 1 september 2014 (kvällsposten, 2014).

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka på vilket sätt enfamiljshus skadas av en översvämning, samt hitta ett lösningsförslag på nybyggnationer som kan klara av översvämningar och stormar eftersom det börjar bli aktuellt. Syftet med detta är även att försöka väcka nya tankar hos företag och kommuner om att bygga på ett långsiktigt och hållbart sätt med hänsyn till översvämningar.

1.3 Problemformulering

De frågor som kommer att undersökas i examensarbetet är följande:

- Vilka konsekvenser får översvämningar och starkare vindar för den bärande konstruktionen?
- Hur kan man utforma enfamiljshus som är översvännings- och stormanpassade?

1. Inledning

1.4 Hypotes

Eftersom klimatförändringen kommer medföra översvämningar är hypotesen att de befintliga byggnaderna kommer att drabbas av fuktproblem, erosionsproblem samt problem med bärförmåga och stabilitet. Byggnader kommer även att förstöras längs kustområdet.

1.5 Avgränsning

Examensarbetet kommer att omfatta Malmö stad med fokus på de områden som först kommer att översvämmas vid stigande havsnivå. Endast enfamiljshus kommer att undersökas. I examensarbetet läggs det inget fokus på el- och VA-installationer. Fokus läggs endast på den bärande byggkonstruktionen.

1.6 Metod

En kortfattad beskrivning av den metod som används är:

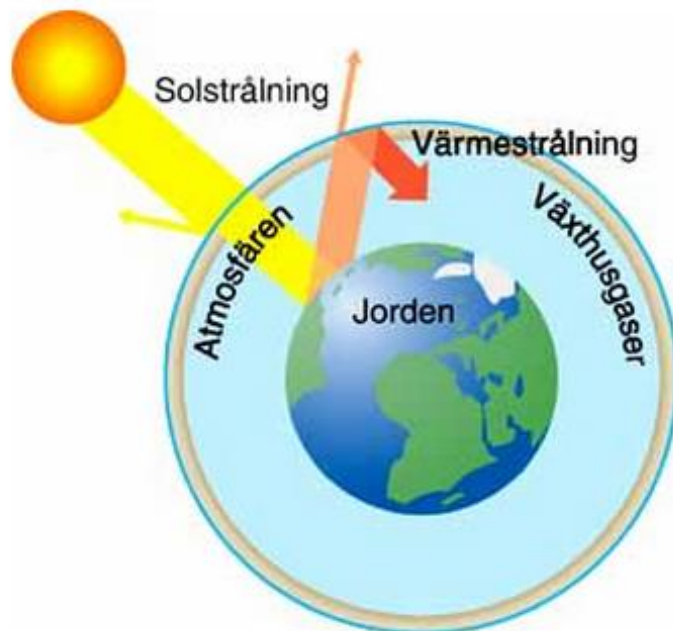
- Litteraturstudier om havsnivån, risken för ökande stormar samt olika lösningar som gjorts i omvärlden mot översvämningar.
- Intervjuer av personer som bland annat professorer och lärare på LTH på klinisk vattenresurslära, byggnadsmaterial, byggnadsmekanik, geologi och konstruktionstekniks avdelning.
- Analys av fuktkänslighet och tålighet mot klimatförändringar, analysen görs i form av beräkningar.
- Beräkning av bärförmåga och stabilitet vid översvänningsbelastad byggkonstruktion.

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö

2 Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö

Följande kapitel beskriver orsaken bakom det globala klimatproblemet och vad det innebär för Malmö kommun. Det som också kommer att tas upp är hur omvärlden valt att lösa sina klimatproblem.

Utan växthuseffekten hade det inte funnits liv på jorden. Medeltemperaturen hade varit -18 grader. Medeltemperaturen ligger idag på +15,6 grader vilket gör liv möjligt på jorden. Växthusprocessen fungerar på så sätt att de kortvågiga solstrålarna från solen tränger sig genom atmosfären och ner till jorden. De kortvågiga solstrålarna som strålar ner till jorden reflekteras antingen tillbaka av partiklar, moln och markytor, eller absorberas av jorden. De reflekterade kortvågiga solstrålarna övergår till långvågiga solstrålar, det vill säga infraröd strålning, som fångas upp av växthusgaser och värmer atmosfären. Den infraröda strålningen strålar i sin tur tillbaka ner till jorden och resten av värmestrålningen åker upp till rymden, se Figur 1 (Naturvårdsverket, 2001).



Figur 1 – Visar växthuseffekten (Skolvädernätet, 2014)

Det som ger upphov till den största delen, 80 %, av växthuseffekten är vattenånga, följt av koldioxid, metan, dikväveoxid, flourkarboner och ozon (Henriksson, 2000).

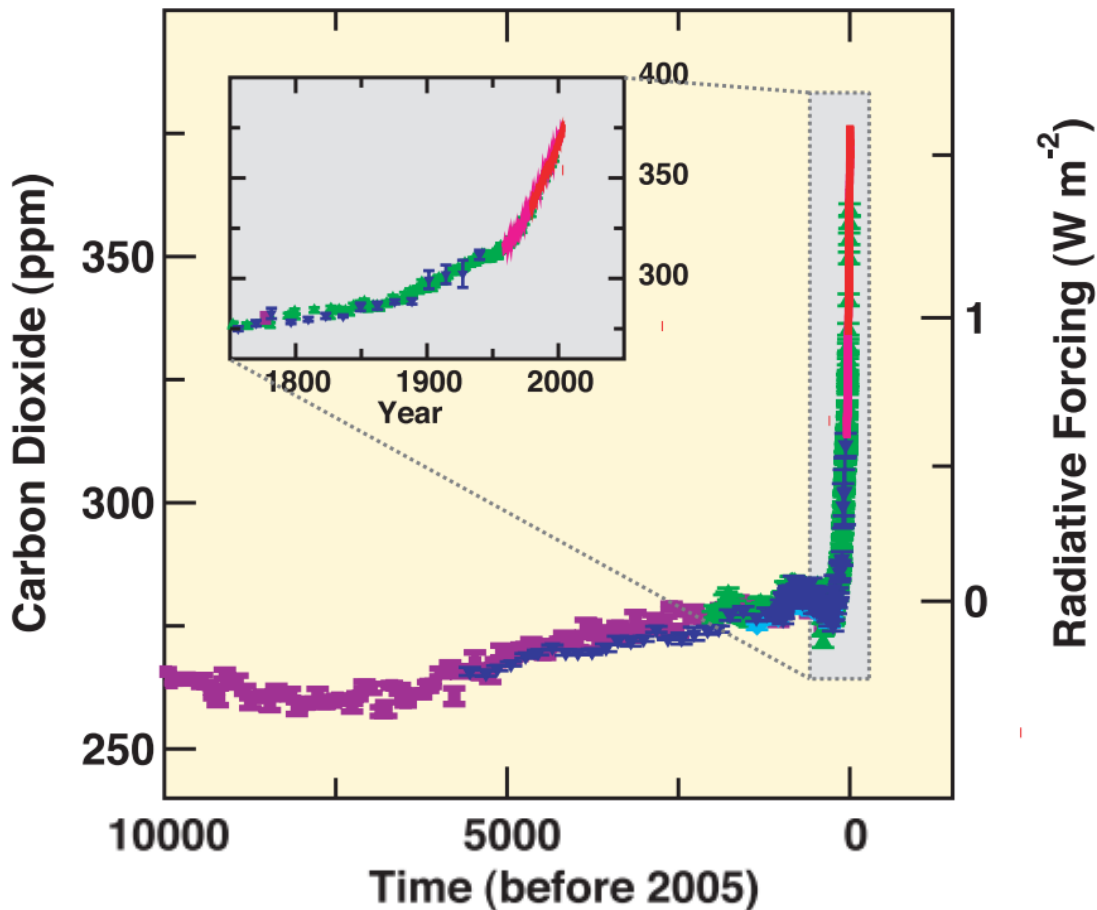
Vattenångan kan inte människan påverka. Därför pratas det mest om de koldioxider och andra växthusgaser som ökat drastiskt globalt. De senaste 200 åren har mängden koldioxid stigit med 30 % i atmosfären. Dessa växthusgaser har orsakat den globala uppvärmningen genom att de sätter sig i atmosfären och gör den tjockare. Det leder till att solstrålarna som reflekteras från jorden upp till den tjocka atmosfären bromsas in och reflekteras tillbaka till jorden vilket medför en förstärkt global uppvärmning. Koldioxiden som släppts ut kommer främst från förbränning av olja och kol som används av trafiken och industrin. Detta rubbar kolets kretslopp. Koldioxiden ökar eftersom produktionen ökar mer än vad haven och växtligheten kan ta upp, samt att det globalt huggs ner mer skogar än vad som återplanteras. Avverkningen

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö

medför att mindre kol binds från atmosfären vilket i sin tur leder till tjockare atmosfärsikt (Naturvårdsverket, 2001).

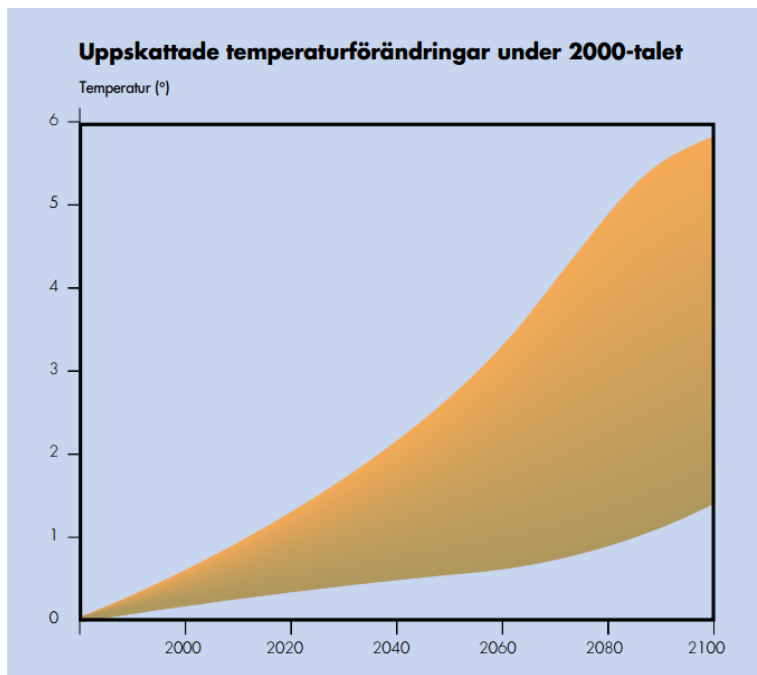
2.1 Konsekvenser av förstärkt växthuseffekt

Konsekvenserna av växthuseffekten är många. Det finns 0,035 % koldioxid i luften idag medan det för 200 år sedan fanns 0,028 %, vilket innebär cirka 20 – 30 % ökning. Det har visat sig att medeltemperaturen har ökat i takt med ökad koldioxidhalt. Medeltemperaturen har blivit 0,6 grader varmare sedan tidigt 1900-tal (Henriksson, 2000). Sedan 650 000 år tillbaka i tiden har koldioxidhalten aldrig överstigit 300ppm men de senaste 2000 åren har det ökat dramatiskt upp till 380ppm som man kan se i Figur 2 (IPCC, 2014). Även om all koldioxidutsläpp hade bromsats idag kommer medeltemperaturen fortsätta att öka avsevärt eftersom koldioxiden finns kvar i atmosfären och det skulle ta tid för avkyllningen och uppvärmningen att komma i balans igen (Naturvårdsverket, 2001).



Figur 2 – Visar koldioxidhalten i takt med åren (IPCC, 2014).

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö



Figur 3 – Uppskattade temperaturförändringar (Naturvårdsverket, 2001).

Enligt Figur 3 kommer medeltemperaturen fram till år 2100 att öka mellan 1,4 och 5,8 grader vilket innebär kraftiga klimatförändringar. Den nuvarande och den framtida uppvärmningen kommer att leda till smältning av polarisen och glaciärerna. Det leder i sin tur till stigande havsnivåer och därmed till att kustområden av kontinenterna sjunker under havet (Naturvårdsverket, 2001). Smältningen av glaciärerna kan orsaka att golfströmmen slutar fungera, vilket innebär att värmen från syd inte kan sprida sig vidare till norr och det orsakar att Nordeuropa och USA riskerar en långvarig och allvarlig nedkylning som kan resultera i att en ny istid skapas (Illustrerad vetenskap, 2003).

Det som påverkar havsnivåhöjningen är två faktorer: det ena är att havet kommer att expandera av uppvärmningen, och det andra är att landbaserad is, det vill säga glaciärer, kommer att smälta vilket leder till mer vatten i haven (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).

2.2 Klimatproblem i Malmö

Stadsbyggnadskontoret i Malmö har tagit fram data över hur Malmö kommun kommer att påverkas av klimatförändringarna fram till år 2100. Dessa data har stadsbyggnadskontoret hämtat från FN:s klimatpanel IPCC och översatt till Malmöförhållanden fram till år 2100. Enligt vissa forskare är IPCCs slutsatser alltför överdrivna, medan det finns andra forskare som menar att FN-panelen har varit alltför försiktiga och menar att det kommer bli värre än vad FN-panelen har räknat på. Med det menas att havsnivån skulle kunna vara antingen lägre än väntat eller mycket högre, och det är flera personer som påstått att havsnivån kommer att stiga mer än vad FN-panelen har räknat på (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).

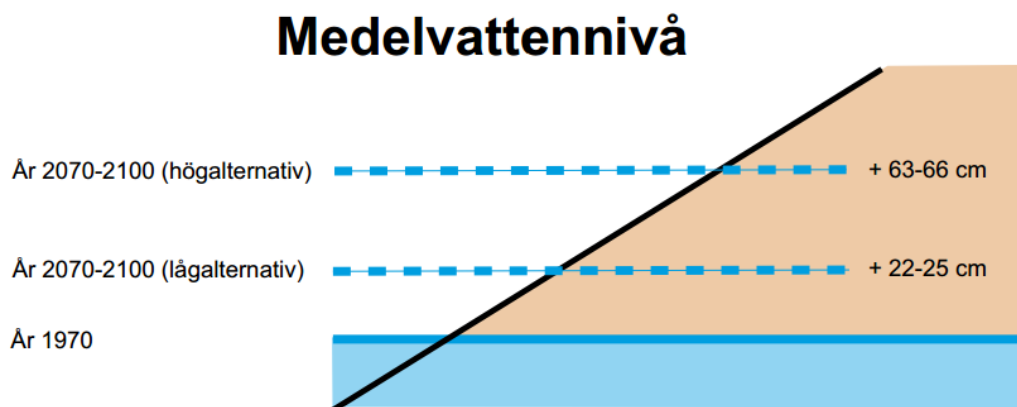
Malmö stadsbyggnadskontor har översatt IPCCs rapport till förhållandena i Malmö och räknat på att havsnivån runt kusten i Malmö kommer att höjas med 22–66cm. Dessa nivåer är endast medelvattennivåer. Vid högvattennivåer kan havsnivån stiga upp till tre meter enligt högalternativet och då är inte vågor inräknade. Att havsnivån kommer att stiga tre meter över

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö

dagens medelvattennivå innebär att delar av Malmö hamnar under vatten. Områden som delar av Malmös innerstad, Västra hamnen, Nyhamnen, Limhamns hamnområde och andra viktiga områden kommer att hamna under vatten. Det är stora områden som innehåller många bostäder, arbetsplatser och infrastrukturer som kan skadas vid dessa vattennivåer. Klimatförändringen kommer innebära att nederbördsförhållandena kommer att ändras i södra Sverige. På vintrarna kommer vi att få ökad nederbörd och på somrarna totalt minskad nederbörd, men då det regnar kommer det komma kraftigt regn. Extrema nederbördssituationer kommer att öka under hela året. Enligt Stadsbyggnadskontoret i Malmö kommer vindförhållandena i södra Sverige inte ändras så mycket. Men enligt Gore (2006) kommer det att bli intensivare och kraftigare stormar som väntar oss i världen.

2.2.1 Havsvattennivån i Malmö

Sedan 1930 har SMHI tagit fram data på havsvattennivåer där de utgått från RH70¹. Den högsta nivån är +140 cm som uppmättes år 1934. Därefter har höga vattennivåer mätts upp ett flertal gånger. Då har man fått värden över +100 cm. Det senaste tillfället var år 2003 då vattennivån nådde +133cm (Nerheim, 2007). Med IPCC:s scenario om högalternativet inom 100 års återkomsttid kan vattennivån ligga på +208 cm vilket är totalt 68 cm högre än vad det var under 1900 -talet. Denna beräkning är gjord med statistiska metoder som har ett 95 % konfidensintervall. Med det menas att intervallet ligger mellan +198 cm och +233, det vill säga att det finns 5 % sannolikhet att vattennivån hamnar utanför intervallet. Dessa beräkningar är som tidigare nämnt framtagna till år 2100 men havsnivån förväntas stiga ännu mer efter år 2100.



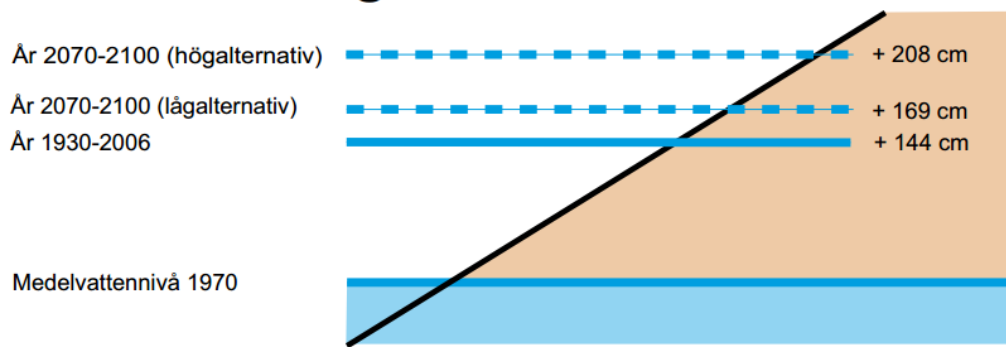
Figur 4 – Medelvattennivå i Klagshamn år 2070–2100 med RH70 som utgångspunkt. Figuren visar två alternativ, IPCC:s låg- respektive högalternativ (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).

Figur 4 ovan visar medelvattennivån i Klagshamn men den kan betraktas som giltig för centrala Malmö också. I Figur 4 och Figur 5 är inte vågorna inräknade i vattennivån. Risken för att högvatten och höga vågor inträffar samtidigt finns, och då räknas det med att vågorna medför en extra höjning på 0,5 meter. Det vill säga det totala vattenståndet för en 100 års återkomsttid blir närmare tre meter. För en 10 års återkomsttid blir vattennivån drygt två meter, se Figur 5. Dessa värden räknas efter RH70.

¹ RH70 är nollpunkten i havsytans medelnivå, mätt år 1970.

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö

Höga vattenstånd



Figur 5 – Figuren visar höga vattenstånd med 100 års återkomsttid i Klagshamn år 2070–2100 med RH70 som utgångspunkt. Låg-respektive högalternativ enligt IPCC (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).

I Tabell 1 kan man se att med en 10 års period inträffar en översvämning som kan nå drygt två meter och med en 100 års period kan översvämning nå närmare tre meter över 1900-talets medelvattennivå.

Tabell 1- Tabellen visar återkomsttiden för höga vattenstånd för framtidens klimat år 2070–2100. Höjdnivåerna anges i centimeter med RH70 som utgångspunkt, konfidensintervallen är 95 % (Nerheim, 2007).

Återkomsttid	2 år	10 år	50 år	100 år
Havsnivå (cm)	+157	+187	+203	+208
Konfidensintervall (cm)	151-163	180-196	194-223	198-233

2.2.2 Kartläggning av havsnivån i Malmö

Malmö har en 43 kilometer lång kustlinje och innanför kustlinjen finns det stränder och lågt belägna områden som med stor sannolikhet kommer att bli berörda av stigande havsnivåer. Stadsbyggnadskontoret i Malmö har tagit fram en karta över områden på översvämningar för 1 meter, 2 meter, 2,5 meter och 3 meter över havet (RH70). Gränsen på de översvämmade områdena är markerade med en röd linje.

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö



Figur 6 – Visar områden i Malmö som översvämmas vid en vattennivåstigning på en meter över havet (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).

I Figur 6 visas områden i Malmö som kommer att översvämmas om havsnivån stiger en meter (RH70). Om vattennivån stiger så mycket kommer det att leda till att 230 hektar mark kommer att ligga under havsytan. Dessa markområden som kommer att översvämmas är längs Bunkeflo-kusten. Två tredjedelar av denna mark är så kallad övrig mark (jordbruksmark, naturområden med mera), resten är park och grönområden. På dessa 230 hektar finns det inga vägar eller annan infrastruktur som är av större betydelse. Taxeringsvärdet för marken är lågt. Dock är Bunkeflo-kusten ett område som är Malmös mest värdefulla natur- och rekreationsområde.

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö



Figur 7 – Visar områden i Malmö som översvämmas vid en vattennivåstigning på två meter över havet (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).

I Figur 7 visas områden i Malmö som kommer att översvämmas om havsnivån stiger två meter (RH70). Vid två meters havsnivåstigning hamnar 580 hektar mark under vatten. I detta område ingår en bredare del av Bunkeflokosten, även delar av Limhamns hamn, Limhamnsfältet, Ribersborgstranden och delar av Slottsparken. Dessa områden innehåller förutom övrig mark och naturområden även 50 hektar industri- och bostadsmark i Bunkeflostrand och Limhamn. Tre kilometer järnväg och 12 kilometer gator kommer även att översvämmas från infrastrukturområdet. Taxeringsvärdet för dessa områden är närapå 1,2 miljarder kronor varav 700 miljoner kronor är för byggnader.

Figur 8 visar hur stora markområden som kommer att svämmas över vid en havsnivåstigning på 2,5 meter i Malmö. 1400 hektar mark kommer att svämmas över vid denna havsnivå, varav 100 hektar av dessa 1400 är stadsbebyggelse och närmare 450 hektar är industriområden. I dessa områden ingår småhusområdena väster om Klagshamnsvägen i Bunkeflostrand, Sibbarp, delar av Limhamns hamn- och industriområde, Rörsjöstad, Slottstaden samt hela Universitetsholmen och hamnområdet, även delar av Nyhamnen. Taxeringsvärdet för området ligger på 6,1 miljarder kronor varav 4 miljarder kronor är för bebyggelse. För Malmö är Universitetsholmen, Nyhamnen och Limhamns hamn viktiga utvecklingsområden för ny stadsbebyggelse.

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö



Figur 8 – Visar områden i Malmö som översvämmas vid en vattennivåstigning på två och en halv meter över havet (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).



Figur 9 – Visar områden i Malmö som översvämmas vid en vattennivåstigning på tre meter över havet (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö

Figur 9 visar den röda linjen för en havsnivå på tre meter. Detta fall på tre meter är klassad som det mest extrema fallet som kan komma att hända inom 100 år. Om havsnivån stiger tre meter kommer 2400 hektar mark att översvämmas. Till dessa områden hör all mark väster om Klagshmansvägen i Bunkeflo, de västligaste delarna av Limhamns industriområde, Limhamn och delar av Slottstaden, Slussen, Västra hamnen, Rörsjöstaden, hela övriga hamnområdet, bangårdsområdet, Centralstationen och Spillepengens industriområde vid Sege å. I dessa områden finns det 6 kilometer motorväg, 140 kilometer gator och 23 kilometer järnväg, infrastruktur som är väldigt betydande för Malmö. Taxeringsvärdet för området är 25 miljarder kronor varav 17 miljarder för bebyggelse. Vad gäller utbyggnadsområden är Västra hamnen, Nyhamnen och Limhamns hamn och industriområden några av Malmös viktigaste.

I nedanstående Tabell 2 och Tabell 3 kan man se mer detaljerad information om taxeringsvärden och hur mycket mark som kommer att översvämmas vid respektive vattennivå. Man kan även se att Malmö påverkas mest om havsnivån stiger 2–3 meter. Skillnaden mellan två och tre meter är cirka 1830 hektar.

Tabell 2– Markområden i Malmö som kommer att översvämmas vid respektive nivåskillnad (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).

Nivå över havet:	0–1 meter	0–2 meter	0–2,5 meter	0–3 meter
Areal (hektar)	229	579	1 392	2 372
varav: – stadsbebyggelse, bostäder mm	1	30	119	353
– industrimark	5	22	447	829
– park- och grönområden	65	194	310	505
– övrigt	158	333	516	685
Motorvägar och genomfartsleder (km)	0	0	1	6
Övriga gator (km)	0	12	70	141
Järnvägar (km)	0	3	7	23

Tabell 3– Taxeringsvärden vid de olika nivåskillnaderna (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).

Nivå över havet:	Antal taxeringsenheter				Tax.värde byggnader (mkr)				Taxeringsvärde mark (mkr)			
	0–1 m	0–2 m	0–2,5 m	0–3 m	0–1 m	0–2 m	0–2,5 m	0–3 m	0–1 m	0–2 m	0–2,5 m	0–3 m
Flerbostadshus, kontor mm	0	30	120	550	0	230	1 900	12 050	0	150	840	5 300
Småhus	10	410	1 380	2 300	0	430	1 210	2 120	0	340	970	1 660
Skolor, vård mm	0	20	80	180	-	-	-	-	-	-	-	-
Industri mm	0	30	170	420	0	10	950	2 820	0	0	310	850
Lantbruk	10	40	70	70	0	10	20	20	0	0	10	10
Totalt *	20	530	1 820	3 520	10	670	4 090	17 020	0	490	2 130	7 820

2.3 Grundvatten och jordarter

Med grundvatten menas den nederbörd som inte tas upp av växter eller avdunstras bort, och som istället rinner ner genom marken och fyller igen alla tomrum i jorden och berggrundens sprickor. Grundvatten som samlats i tomrummen rinner sedan ut i sjöar och vattendrag. Grundvatten kan fungera som dricksvatten åt människan. Det har filtrerats genom jordlagren och blivit rent (SMHI, Grundvatten, 2009).

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö

När medelvattennivån stiger kommer även grundvattennivån att stiga cirka lika mycket. Detta kan resultera i ett problem för bostäderna om grundvattennivån når husgrunden. De problem som kan uppstå är erosion och fuktskador, speciellt om vattnet kommer i kontakt med trä. Grundvattnet kan även orsaka en lyftkraft på husen, det vill säga att husen kan lyftas upp speciellt i de fall då husgrunden vilar på expanderat polystyren. Ett annat problem med grundvatten kan även vara att det kan uppstå sättningar i marken vilket kan medföra att huset lutar ifall ena kanten av huset sätter sig mer än resterande kanter.

Jordarter har en stor betydelse vid beräkning av sättningar. Det finns jordarter som medför en högre sättning som till exempel silt och det finns jordarter som inte sätter sig så mycket som till exempel sand. Grundvattenytan har också en påverkan på sättningen. När havsnivån stiger kommer även grundvattennivån att stiga och där kan det spela en stor roll vilken jordart som finns under husen, eftersom olika jordarter släpper igenom grundvatten olika fort. Till exempel går vattnet trögt igenom morän och lera, men mycket fortare genom grovkornig sand. Lättgenomtränglig jordart medför att grundvattnet kryper upp till husgrunden fortare.

Tjäle kan innebära ett problem beroende på vad det är för jordart. Olika jordarter binder olika mycket vatten och när vattnet i jordarten fryser till is expanderar vattnet och medför till att marken lyfts (Trafikverket, 2014). Detta lyft leder till en lyftkraft mot husgrunden om man inte har en kapillärbrytande jordart som till exempel makadam (Byggnadskontroll). Ett exempel på tjälfarlig jordart är silt.

Problemet med tjäle behöver inte vara löst för att man har en kapillärbrytande jordart. Till exempel om man har ett fall där grundvattenytan stigit så pass mycket att den har nått underkanten av husgrunden, och grundvattnet därefter fryser till is, kommer vattnet leda till att den expanderar. Det kan leda till att en lyftkraft uppstår mot husgrunden. Ifall detta sker kan sprickor och andra problem i husgrunden uppstå.

2.4 Vind

Enligt Stadsbyggnadskontoret i Malmö kommer vindförhållandena i Sverige inte att ändras mycket med tanke på klimatförändringen. Men flera stormar med höga vindhastigheter har förekommit de senaste åren. De maxvindar som förekommit har mätts på en höjd på 10 meter. Exempel på stormar med maxvindar som inträffats de senaste åren är, Gudrun (2005) 32 m/s, Per (2007) 26m/s, Simone (2013-10) 27 m/s och Sven (2013-12) 28 m/s för Malmö Kommun (SMHI, Sven var förhållandevis extremast vid Bohuskusten, 2014). Jämför man med boverkets författarsamling, EKS1 (Boverket, 2008), har de tagit fram en statistik där medelvindhastighet är 26 m/s. Det värdet är taget under 10 minuter på höjden 10 meter över markytan med råhetsfaktor 0,05. Medelvindhastigheten från Boverket är mindre än maxvindarna från uppmätta stormar, men eftersom man alltid lägger till säkerhetsfaktorer i konstruktionsberäkningar kommer beräkningarna i examensarbetet baseras på vindhastigheten från boverkets författarsamling.

2.5 Olika lösningar i omvärlden

Följande delkapitel beskriver olika lösningar mot översvämningar. De finns antingen tillfälliga lösningar eller permanenta lösningar som man kan göra.

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö

2.5.1 Tillfälliga lösningar

Figur 10 visar en tillfällig barriär som är fotograferad i Schweiz. Det är en plastslang som är fylld med vatten och läggs ut när högvatten hotar området. Detta system används när man vill undvika markanta förändringar i stadsbilden. Fördelen med tillfälligt skydd är att det bara används vid behov. Vid normala förhållanden kan skyddet tas bort och då påverkas inte stadsdelsbilden. Men då krävs det en hög beredskap. Figur 11 visar en monterbar barriär. Bilden är tagen vid Moldau, centrala Prag. Där förekommer det tillfälliga översvämningar, då gäller det att montera dit barriärerna när höga flöden väntas (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).



Figur 10 – Vattenfylld plastslang, läggs ut vid högvatten (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).



Figur 11 – Tillfällig monterbar barriär används vid höga vatten (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).

Figur 12 visar en monterbar lösning som man kan använda i hus som skydd mot tillfällig översvämning. Dörrar och fönster är oftast svagheter i hus där det kommer igenom mest vatten. En sådan här lösning kan vara bra för dörrar som inte är vattentäta. Däremot är en sådan lösning bara lönsam om väggarna är relativt vattentäta. Samt om avloppssystemet är anpassat för lösningen, det vill säga att det finns en backventil för att avloppsvatten inte kan trängas in bland annat i källaren. Lösningarna är tagna från företaget WHS i Tyskland.

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö



Figur 12 – Lösningar mot vattengenomtränglighet i hus ((WHS, 2014).

2.5.2 Permanenta lösningar

Figur 13 visar en annan typ av skydd som har gjorts i England och Holland. En så kallad hamnbarriär, de är väldigt stora och dessutom rörliga. De används för att skydda stora landområden vid extrema högvattensituationer. I Malmö kommer så stora barriärer inte behövas (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).



Figur 13 – Den stora rörliga Themsenbarriären i London och Deltaplanbarriären i Holland (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008).

En annan lösning som Amsterdam, Holland har gjort är att bygga husbåtar direkt på havet, se Figur 14. Den lösningen har blivit allt mer eftertraktad eftersom landet sedan medeltiden har haft problem med översvämningar. På den tiden har man klarat av problemen relativt bra. Men numera har klimatförändringen orsakat allt mer nederbörd och stigande havsnivåer. Det har gjort att folk som är bosatta i städerna har varit tvungna att evakuera tillfälligt vid de svårare fallen, samt att försäkringsbolagen har lagt ner allt mer pengar på skadorna. Därför har intresset för flytande hus väckts och det har börjats bygga allt fler husbåtar (Brostrand, 2007).

2. Klimatförändringar och dess konsekvenser i Malmö



Figur 14 – Flytande hus i Amsterdam (NorskStålforbund, 2014, Foto: John Gundlach).

3. Metod

3 Metod

Metoden för att kunna besvara frågeställningarna för examensarbetet är att först urskilja två områden som förväntas översvämmas mest, det vill säga två områden som är mest utsatta för risk för översvämning kommer att väljas. Ett typhus från respektive område kommer att väljas. De två områdena har olika topologier, vilket kommer att påverka typhusen på olika sätt. Beroende på vart husen befinner sig påverkas de olika. De två typhusen kommer även att bli jämförda med varandra och undersöka hur utsatta de är för respektive område. De olika områdena analyseras för jordarterna, markhöjderna och grundvattennivån som kommer att tryckas uppåt under markytan när havsnivån stiger. Dessa faktorer påverkar varje byggnadsområde på olika sätt. Efter det kommer det att undersökas hur de valda byggnationerna påverkas med hänsyn till fukt och bärförmåga av den förväntade klimatförändringen.

I Figur 7 ser man att de första husen som översvämmas ligger under 2-metersgränsen. Dessa hus kommer att vara de mest utsatta för översvämningar eftersom topologin för området är lägst belägen.

Från Sveriges lantbruksuniversitets hemsida kan man ladda ner en TIFF-fil som är en höjdkarta över Malmö (SLU, 2015). Höjdkartan är framtagen med laser där varje punkt är 2x2 meters noggrannhet det vill säga höjdskillnaderna är som kvadrater på kartan med längderna 2x2 meter. Från kartan kan ett program som heter ArcMap 10.2.2 (Esri, 2014) läsa av höjderna, se Figur 15. Med hjälp av ArcMap 10.2.2 (Esri, 2014) kan man undersöka vilka områden som ligger under två meter över havet. Det som är ljusgrått på Figur 15 motsvarar lägsta höjden och det som är grönt och ljusblått motsvarar högsta höjden. De områdena inringade med rött är de områden som ligger under två meter över havet, se Figur 16 och 17. Med hjälp av muspilen kan man klicka på punkten som man vill veta höjden på och då matar programmet ut den önskade höjden.

För de valda byggnaderna kommer en undersökning av konstruktions- och fuktproblem att göras. Även en analys av de fuktskador som kan tänkas uppkomma och hur man kan lösa dessa skador. Beräkningarna är baserade på mycket antagande med hänsyn till de värsta fallen som kan uppstå för att ta reda på om husen klarar sig.

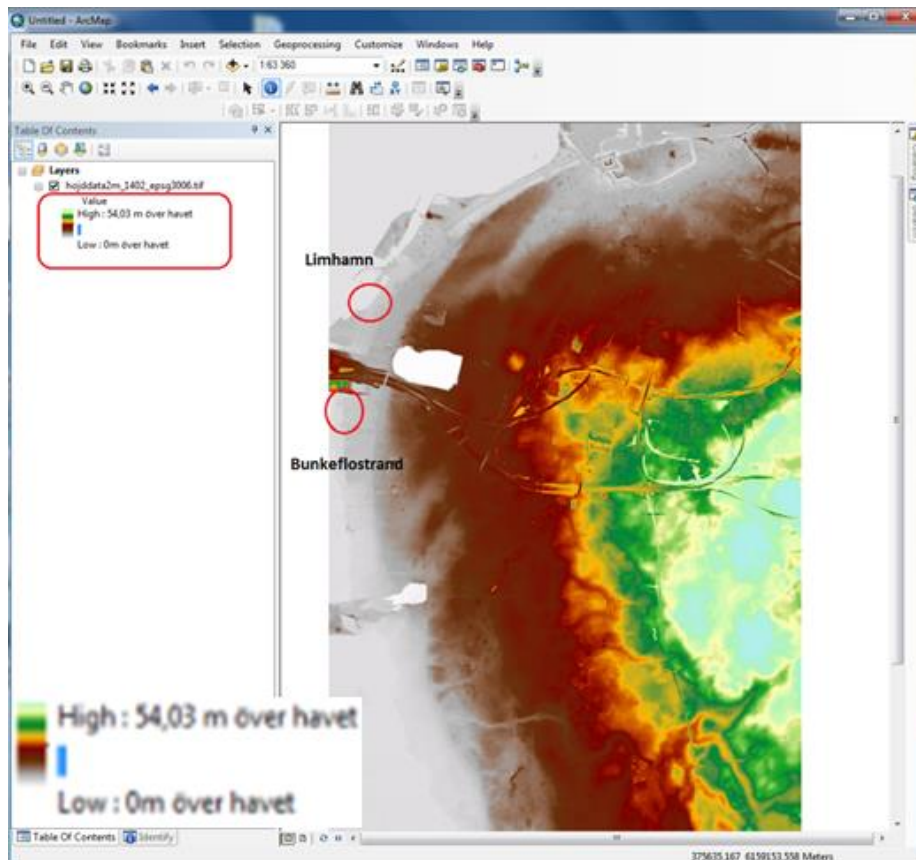
Undersökningen är indelad i tre olika fall där varje fall beskriver respektive problem som kommer att kontrolleras, och de är:

- Fall 1 – Hur påverkas huset om det inte är vattentätt?
- Fall 2 – Hur påverkas sättningar och lyftkraft på huset om det är vattentätt?
- Fall 3 – Hur påverkar vattentryck huset om det är vattentätt?

Samtliga formler som används i beräkningarna är hämtade från Regel- och formelsamlingen (Isaksson & Mårtensson, 2010). Dimensioneringen sker enligt Eurokod i brottgränstillstånd.

3. Metod

Snölast, vindlast och form- och reduceringsfaktorer hämtas ur Svensk standard, SS-EN 1991-1-14:2005 och Boverkets författningssamling, BFS 2013:10 EKS 9.



Figur 15 – ArcMap-programmet läser av höjderna från en TIFF-fil för Malmö (SLU, 2015).

4. Analys

4 Analys

4.1 De lägst belägna bostadsområdena

En undersökning har gjorts på vilka bostadsområden som är lägst belägna i Malmö med hjälp av ArcMap 10.2.2 (Esri, 2014). Det område som har lägst höjd är ett delområde i Bunkeflostrand som man kan se inom det rödmarkerade området i Figur 16. Till vänster om det röda området ligger Öresundsbron, se Figur 16. Den lägsta höjden enligt ArcMap-programmet är 1,35 meter över havet. Höjden på marken varierar som mest mellan cirka 1,3 och 1,8 meter över havet och vid röda gränslinjen är höjden 2 meter över havet.

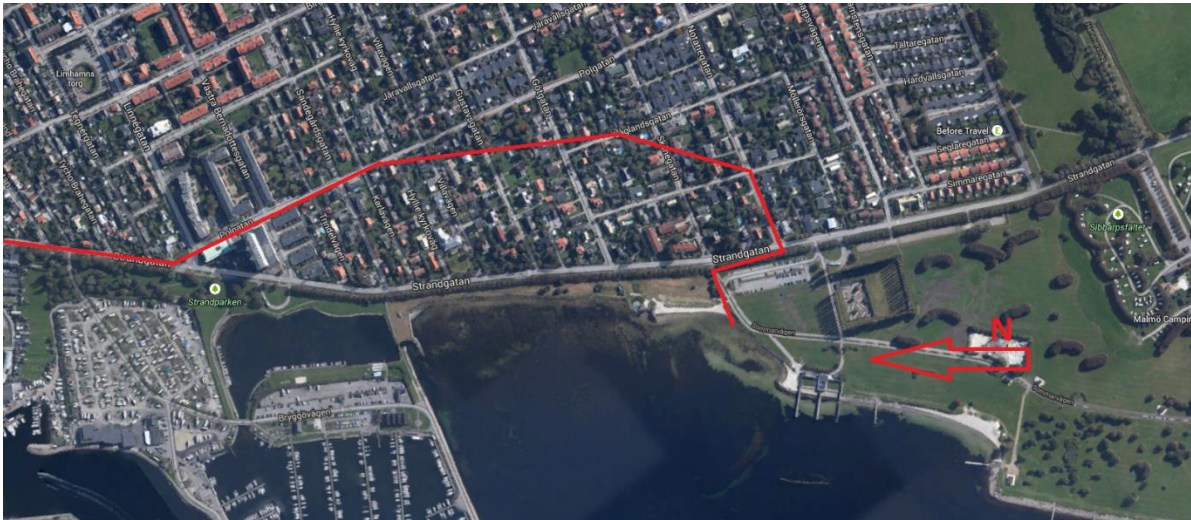


Figur 16 – Det rödmarkerade området, Bunkeflostrand, är de bostäder som ligger under 2 meter över havet (Google, 2014).

Jordarten för det inringade området är mestadels moränlera, men närmast havet kan det vara tunt eller osammanhängande ytlager av torv, se Bilaga 1.

Det andra topologiområdet som ligger under två meter över havet är ett delområde i Limhamn. Området är nära havet och ligger nära Sibbarp och Limhamns hamn, se Figur 17. Den röda linjen på bilden motsvarar tvåmetersgränsen. De mest förekommande höjderna för området är mellan cirka 1,5 och 1,8 meter över havet, vilket innebär att om havet stiger två meter översvämmas den lägsta marken med en halv meter. I området förekommer inte många typhus, de flesta villorna liknar inte varandra jämfört med Bunkeflostrand som har flera typhus. Jordarterna för området närmast havet är av fyllning medan moränlera eller lerig morän dominerar inåt landet, se Bilaga 1.

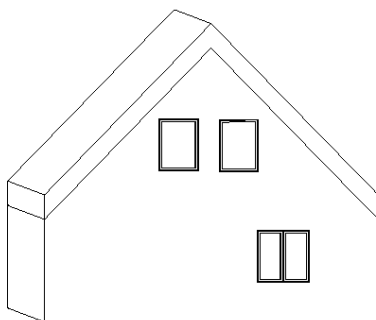
4. Analys



Figur 17 – Limhamn, nära Limhamns hamn och Sibbarp. Den röda linjen är tvåmetersgränsen (Google, 2014).

4.2 1,5-plansvilla – utan källare

Från de mest utsatta områdena som undersökts kommer en bostad att väljas för respektive område, det vill säga Limhamn och Bunkeflostrand. Det bestämdes genom att olika bostäder jämfördes, och en bostad som var lämpligast med hänsyn till ritningsinformation valdes. Det gjordes för att kunna utföra beräkningar på huset. Jämförelsen gjordes på byggnämnden i Malmö. I Bilaga 2 kan man se konstruktionsritningar för huset som valdes. Huset är en typbyggnad i området som är byggd 1986 och placerad i Bunkeflostrand. I Figur 18 kan man se en enkel skiss på huset. Villan är en vanlig 1,5-plansvilla utan källare. Stommen är av träreglar med tegelfasad. Husgrunden vilar på totalt 9 stycken betongfundament, se Bilaga 2, sida 4. Topologin för byggnaden är 1,5 meter över havet.



Figur 18 – Visar huset som har valts i Bunkeflostrand.

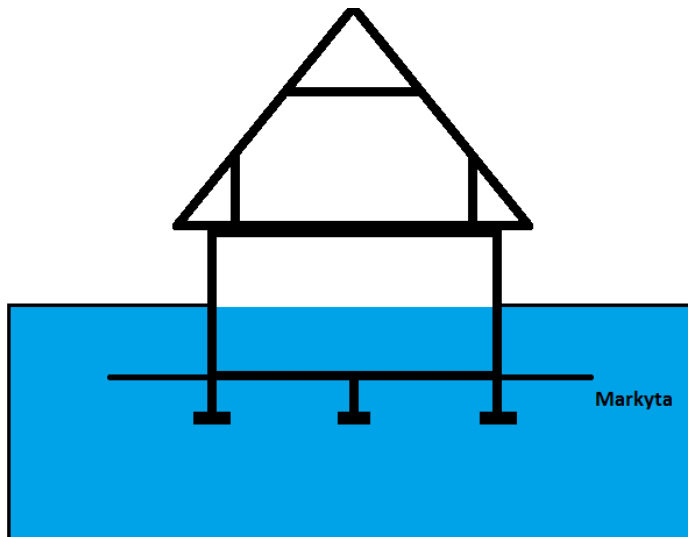
Ritningarna för huset finns som tidigare nämnts i Bilaga 2. Dessa ritningar kommer att studeras i tre olika fall, som redovisas nedan.

4. Analys

4.2.1 Fall 1

För fall 1 antas att huset inte är vattentätt, se Figur 19. Det antas för att undersöka vad som kan komma att hända då stommaterialet blir blött. Ett antagande görs också att fuktkvoten i stommen blir fibermättad vid respektive översvämning, det vill säga om det sker en översvämning på en meter antas träreglarna bli vattenmättade upp till en meter. Antagandet görs eftersom man räknar på det värsta fallet. Det är inte helt rimligt att trä kan bli vattenmättad vid en översvämning på 1,5 meter under några timmar. För att det skall bli helt verklighetsbaserat måste experiment utföras, det har det inte gjorts i detta examensarbete. Därför antas det värsta fallet att stommen blir vattenmättad upp till samma nivå som översvämningens höjd.

Det som kommer att räknas på är vad som händer om huset vattenfylls med 1–1,5 meter ovanför markytan. Kan det medföra att huset skadas så pass mycket att det inte går att rädda?

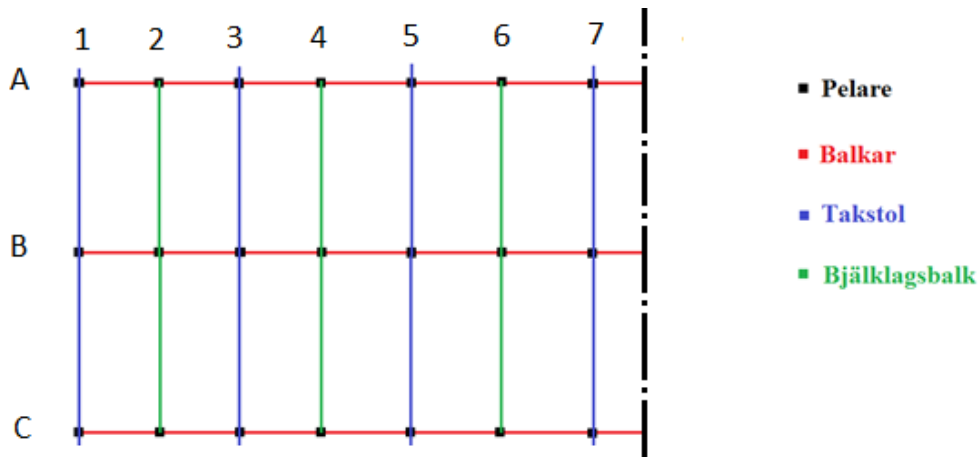


Figur 19 – Fall 1, huset är inte vattentätt.

Husets väggar, takstol och ovanvåning bjälklag består av träreglar, men bottenvånings bjälklag, det vill säga grundbjälklaget består av Erge-bjälklag som är betong, se Bilaga 2. Inga beräkningar utförs på betongen eftersom betong inte kommer att skadas av vattnet för att betong är beständigt. Dock skadas betong av saltvatten men det är inget som räknas på i detta examensarbete.

I Figur 20 nedan ser man en förenkling av husstommen, den förklarar att varje takstol och bjälklagsbalk inte ligger på samma pelare. Takstolarna ligger istället precis ovanpå pelare med udda nummer och bjälklagsbalkar ligger på pelare med jämna nummer.

4. Analys



Figur 20 – Förenkling av husstommen i övre bjälklagsplan.

I Bilaga 4, sida XIII–XXXII visas endast beräkningar för träreglarnas bärförmåga i olika nivåer av blöta tillstånd. De nivåerna är vid en helt vattenmättad pelare, en vattenmättad pelare upp till 1,5 meter från botten och en vattenmättad pelare upp till 1 meter från botten.

I konstruktionsritningarna redogörs inte för vilken klimatklass som använts. Därför antas det två olika klimatklasser: 1 och 3. För klimatklass 1 beskrivs att fuktkvoten inte överstiger 12 %. Om fuktkvoten i träet uppnår med fibermättnadspunkten sjunker hållfastheten med 56 % vid tryck i fiberriktningen, och 51 % för tryck som är vinkelrätt mot fiberriktningen. För klimatklass 3 beskrivs det att fuktkvoten överstiger 20 %. Om fuktkvoten i träet uppnår fibermättnadspunkten från en fuktkvot på 20 % innebär det att hållfastheten sjunker med 37 % vid tryck i fiberriktningen, och 26 % för tryck som är vinkelrätt mot fiberriktningen (Burström, 2007).

Beräkningarna har visat att mittenpelarna för husstommen (stomlinje B, Figur 20) knäcks när pelarna blir vattenmättade vid alla tidigare nämnda vattenmättnadsnivåer. Det leder till att lasten kommer fördela sig helt till fasadpelarna (stomlinje A och C) istället. Därför visar Tabell 4 utnyttjandegraden för endast fasadpelarna vid olika lastfall och klimatklasser.

Eftersom alla pelarna inte utsätts för samma laster (se Figur 20) visar Tabell 4 olika lastfall med bokstäverna:

A – Lasten som påverkar pelarna kommer från *takstolarna* med ett dimensionerande lastfall: vind som huvudlast och snö som övrig last.

B – Lasten som påverkar pelarna kommer från *bjälklaget* och vind från sidan med ett lastfall: Nyttig last som huvud last och vind som övrig last.

C – Lasten som påverkar pelarna kommer från *bjälklaget* och vind från sidan med ett lastfall: Vind som huvud last och nyttig last som övrig last.

4. Analys

Tabell 4- Tabellen visa resultaten för olika lastfall och klimatklasser vid olika vattenmättnadsnivåer.

Fasadpelare när mittenpelare knäcks			
Vattenmättnadsnivå	Klimatklass	Lastfall	Utnyttjandegrad vid samtidigt tryck och moment [%]:
2,4 m	1	A	142 →Brott
2,4 m	1	B	96
2,4 m	1	C	133 →Brott
2,4 m	3	A	120 →Brott
2,4 m	3	B	82
2,4 m	3	C	106 →Brott
1,5 m	1	A	109 →Brott
1,5 m	1	B	59
1,5 m	1	C	102 →Risk för brott
1,5 m	3	A	98
1,5 m	3	B	59
1,5 m	3	C	91
Kommentar: Nedan beräknades två olika snitt i träregeln, mitten och vid 1 meter, eftersom den svagaste hållfastheten är just där. I mitten är träregeln torr och vid 1 meter är gränsen mellan torrt och blött, se Figur 33 i Bilaga 4.			
Snitt i mitten (torrt)			
1,0 m	1	A	69
1,0 m	1	B	47
1,0 m	1	C	62,4
1,0 m	3	A	73,5
1,0 m	3	B	44,5
1,0 m	3	C	67,5
Snitt vid 1 meter (blött)			
1,0 m	1	A	79
1,0 m	1	B	49,7
1,0 m	1	C	72,6
1,0 m	3	A	78
1,0 m	3	B	45,8
1,0 m	3	C	71,7

Tabell 4 redovisar att om pelarna blir helt vattenmättade leder det till att hela huset kollapsar med A och C. Om pelarna blir vattenmättade upp till 1,5 meter leder det till att huset kollapsar om man räknar med klimatklass 1 vid lastfall A, men finns en risk för kollaps vid lastfall C. Räknar man med klimatklass 3 klarar sig huset. Om vattenmättnadsnivån däremot når 1 meter av pelarna klarar huset sig med beräkningar utförts med klimatklass 1 och 3. Dessa resultat från tabellen innebär att huset tillåter en vattenmättnadsnivå en bit under 1,5 meter, allt över den vattenmättnadsnivån ger ett brott och medför att huset kan rasa.

En kontroll för deformation i syllen gjordes. Syllen antogs helt vattenmättad. Beräkningarna redovisas i Bilaga 4 sida XXXII. Lasterna från fasadpelarna i stomlinje A och C ger syllen en deformation på 0,13 mm. Lasterna från mittenpelarna (stomlinje B) ger syllen en deformation

4. Analys

på 0,54 mm. Med dessa deformationer händer inte mycket med huset i helhet, möjligtvis kan det ske väldigt små sprickor i väggarna.

Om man istället antar att huset inte rasar men fortfarande översvämmas med 1,5 meter blir isoleringen och vind-pappen i väggarna helt vattenmättade och gipsskivan kommer att förstöras. Eftersom det är plastfolie bakom gipsskivan kommer väggen bara att kunna torkas utåt, det vill säga mot tegelfasaden, se Bilaga 2 sida II. Det kommer innebära att man kommer att få riva ner isoleringen, pappen och gipset för att kunna låta träet torka och ifall man gör det kommer uttorkningstiden för detta att ligga på cirka 15 veckor, se Bilaga 4, sida XXXIII. Men enligt Nilsson (2007) kommer trä att mögla om den relativa fuktigheten överstiger 80 % under 12 veckor. Eftersom det tar 15 veckor för träregeln att torka från 100 % i relativ fuktighet till 80 % kommer träet mest troligt att hinna mögla.

En konsekvens av detta är att man alternativt får riva huset och bygga nytt, vilket inte är så sannolikt att man gör eftersom det medför stora kostnader. Mer sannolikt är att en reparation av huset görs. Det kan mest troligt ske genom att riva ner nedre delen av väggen där träreglarna har möglat. Väggen som består av tegelfasad och regler stämpas upp för att huset skall stå kvar. Det gör man för att kunna såga ner den möglade biten av reglarna och för att kunna plocka ner den nedre tegelfasaden. Tegelfasaden plockas ner för att kunna riva ner fasadskivan och pappen, se Bilaga 2 sida II. Efter att man åtgärdat den möglade delen av reglarna kan återuppbyggnaden av väggen göras genom att först lägga dit vind-pappen, tegelfasaden utifrån och därefter isolering och gipsskiva inifrån.

Ett annat alternativ ifall man inte vill behålla den gamla strukturen på väggen är att man river ner hela tegelfasaden, stämpar upp huset och åtgärdar den möglade delen av regeln. Därefter byggs väggen ut med mer isolering som ersätter tegelfasaden och en vattentät skivfasad i form av betongskiva med puts monteras fast som fasad. Det kan vara en lösning nästa gång huset utsätts för översvämning. Då kan huset klara sig utan större skador.

4.2.2 Fall 2

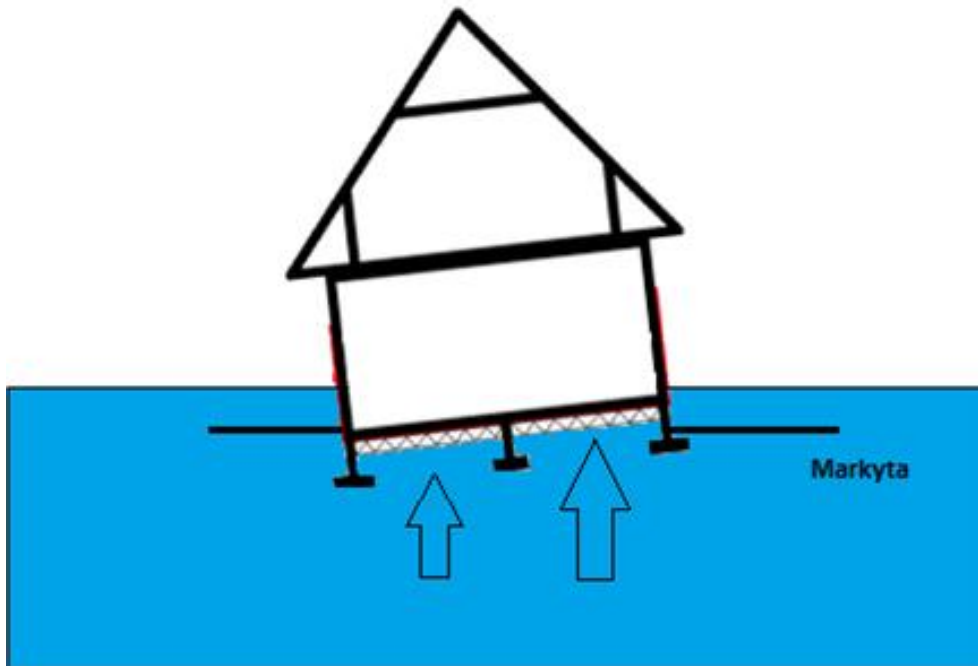
I fall 2 antas det att huset är vattentätt men tilläggs att det finns cellplast under huset (se Figur 21) eftersom det börjar bli allt mer vanligt att bygga med cellplast under husgrunden.

Att huset i ett verkligt perspektiv är helt vattentätt är inte sannolikt. Antagandet görs i syfte att väcka frågor inför framtida nybebyggelse som eventuellt tål vatten bättre. Huset kan också uppfattas som tät ifall vattnet stiger snabbt och inte hinner sippra in i huset.

Det som kommer att undersökas i fall 2 är följande:

- a) Ifall lyftkraften från endast cellplasten är så pass stor att huset lyfts, observera att vattennivån blir så hög att endast cellplasten är involverad.
- b) Ifall vattennivån på 1,5 meter leder till att lyftkraften är så pass stor att huset lyfts.
- c) Ifall porvattentrycket från moränleran medför att huset lyfts.

4. Analys



Figur 21 – Fall 2, lyftkraft och sättning

a) Tjockleken på cellplasten under huset antogs vara 250 millimeter. Beräkningarna resulterade i att lyftkraften från cellplasten inte bidrog till att huset lyfts. Dock gav cellplasten en lyftkraft på cirka $2/5$ av husets tyngd, se Bilaga 4 på sida XXXIV.

b) Om man lyckas täta huset så pass mycket att det inte kommer in något vatten i huset resulterar det i tydliga beräkningar att huset lyfts helt klart på grund av lyftkraften från vattnet, se Bilaga 4 på sida XXXIV.

c) I beräkningarna i Bilaga 4, sida XXXVII redovisas att den effektiva bärförmågan från jorden inte påverkas av vattennivåstigning, det vill säga att brott i jorden inte uppstår oavsett vattennivå. Beräkningarna visar att om vattnet stiger till markytan kommer huset att lyftas med cirka 6 millimeter. Siffrorna är baserade på ett antagande för en ödometermodul på 6 MPa. Antagandet på ödometermodulen gjordes eftersom inga prover har tagits på jorden. Därför kan upplyftningen av huset med stor sannolikhet variera 1 – 10 millimeter men som tidigare nämnt ger beräkningarna i Bilaga 4 på sidan XXXVII att huset lyfts med cirka 6 millimeter. Lyftet av huset kan medföra antingen att alla plintar lyfts lika mycket, eller att bara vissa plintar lyfts och kan leda till att huset kan stå snett med en skillnad på cirka 6 millimeter. Härleder detta leder det till att installationer och anslutningar kan skadas. Ett exempel på detta kan vara att en VA-anslutning går sönder och kan orsaka stora läckor innan man hinner åtgärda den. Eftersom installationer har avgränsats i examensarbetet fördjupas inte dessa problem.

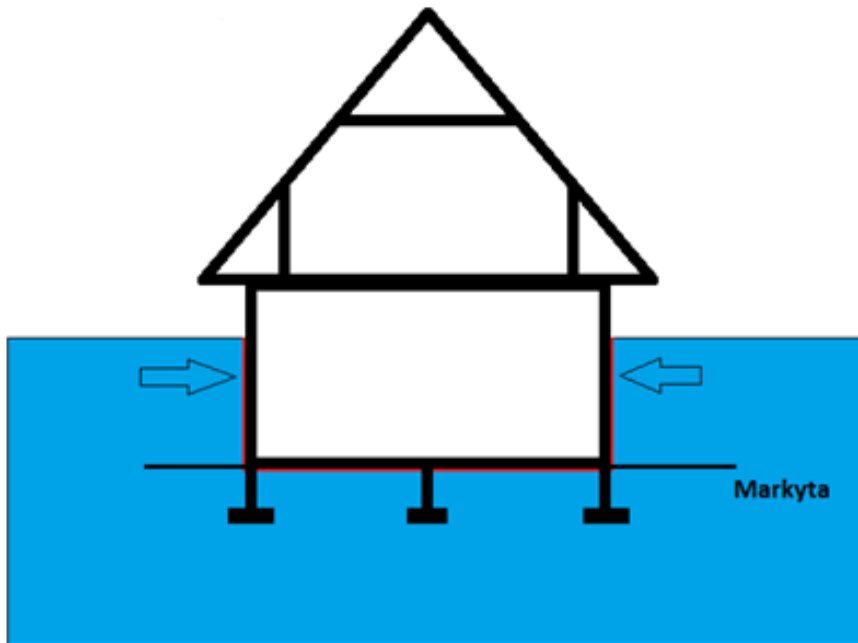
4.2.3 Fall 3

För fall 3 antas att huset är vattentätt runtom, se Figur 22. För beräkningens skull antas att huset inte utsätts för någon lyftkraft och att det inte uppstår någon sättning i marken. Dessa

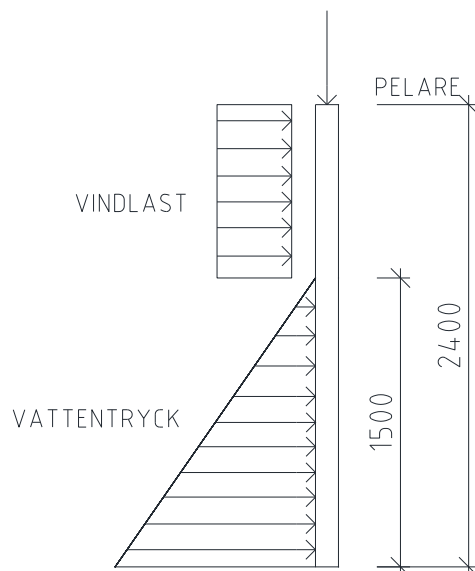
4. Analys

antaganden är inte sannolika i praktiken, men de görs för att kunna räkna på om konstruktionen och andra konstruktioner som är utförda på liknande sätt klarar av vattentryck och vindar som kan inträffa samtidigt.

Beräkningarna som kommer att utföras är ifall pelarna klarar av vattentrycket som kommer att stiga upp till 1,5 meter och en samtidig vindlast, se Figur 23.



Figur 22 – Fall 3, vattentätt hus



Figur 23 – Figuren visar pelare som utsätts för vattentryck och vindlast.

Beräkningarna på vattentrycket har gjorts i Bilaga 4, sida XXXIX. Beräkningarna visar att ifall pelarna utsätts för ett vattentryck på 1,5 meter med en samtidig vindlast leder detta till att

4. Analys

pelarna knäcks, det vill säga huset rasar samman. Det som gör att pelarna knäcks är till största delen tvärkraften men också momentet.

Beräknas det hur hög vattennivån får lov att vara innan pelarna knäcks resulterar beräkningarna i en vattennivå på 0,8 meter. Överstiger vattennivån 0,8 meter är det tvärkraftskapaciteten som ger vika först.

4.2.3.1 Vågkraft

Vid stormar och översvämmat vatten kan det uppstå vågor som kan slå till mot husen. Det finns två olika typer av vågor: brytande vågor och reflekterande vågor. Beräkningarna redovisas i Bilaga 4, sida XLI. Beräkningar har gjorts på brytande vågor eftersom det var av störst intresse på grund av att de ger en mycket större kraft. För att en våg skall bli brytande krävs det att vågens höjd är 4/5 av vattnets stående höjd. I det här fallet är vågen 70cm och den stående vattenhöjden är 80cm, totalt blir de 1,5 meter. Beräkningar visar med antaganden att vågens kraft blir cirka 42 kN/m. Med hänsyn till vind och stående vattenhöjd medför det till att pelarna knäcks och huset rasar.

Om man istället skulle räkna ut hur mycket den totala vattenhöjden får lov att vara innan pelarna knäcks blir den enligt beräkningarna totalt 45cm varav 20cm är våghöjden. Stiger vattennivån mer än den höjden leder det till att pelarna knäcks.

4.3 2-plansvilla – med källare

Eftersom det inte fanns lämpliga typhus med källare i Limhamnområdet valdes ett 2-plans typhus med källare från 1930-talet, se Bilaga 3. Typhuset ligger på en markhöjd på 2 meter över havet på ett avstånd på 200 meter från havet.

Huset är kvadratisk med längderna 9 m. Höjden på hela huset från grunden tillnocken är 8,5 meter. Källarväggarna är av betong med en tjocklek på cirka 35 centimeter. Väggarna på plan ett och två är av massivt tegelmurverk, det vill säga stommen är av tegel med en ungefärlig tjocklek på 35 centimeter. Bjälklagen är gjutna av betong och har en tjocklek på cirka 20 centimeter. Taket är ett flackt tak med en lutning på 15 grader.

För huset räknas det på alla tre fall som tidigare har nämnts, det vill säga:

- Vad som händer när huset blir vattenfyllt
- Om huset utsätts för en lyftkraft eller om marken sätter sig
- Om konstruktionen tål vattentrycket ifall huset är vattentätt

4.3.1 Fall 1

Stommaterialet för huset är av tegel och betong som inte är känsliga för vatten. Det innebär att hållfastheten inte kommer att påverkas mycket. Däremot kommer armeringen i betongen rosta om det kommer in saltvatten i betongen vilket kan leda till beständighetsproblem och nedsatt bärförmåga.

Eftersom markytan ligger på 2 meter ovanför havet kan huset översvämmas med som maximalt 1 meter. Följderna av en sådan översvämning leder till att hela källaren blir översvämmad och första våningen blir också översvämmad med cirka 20 centimeter. Detta

4. Analys

medför att väggarna, golvet och taket i källaren skadas av fukt, samt att golvet och en del av väggarna i första våningen får fuktskador. Skadorna medför att ytskikten på golv, undertak och väggar förstörs vilket leder till att det kommer att behöva rivs ner.

Vattnet som rinner in i källaren rinner mest troligt genom källarfönstren och genom tegelväggarna på plan ett. Det innebär att när vattnet väl har fyllt källaren kan det sedan inte rinna ut. Eftersom källarväggarna är av betong som oftast är vattentäta kommer man att bli tvungen till att pumpa ut vattnet, det handlar om en volym på cirka 150 m³, vilket ger ytterligare en kostnad.

Murverkets egenskaper är att det är kraftigt kapillärsugande vilket medför att salt kommer in i murverket (Burström, 2007). En konsekvens av detta kan vara att man har åtgärdat de ytskikten på insidan av rummen som har skadats av översvämning innan murverket har torkat helt från vatten och salter. Det leder i sin tur till att när uttorkning sker kommer salter ut ur tegelväggarna och förstör därefter de nya ytskikten på väggarna, vilket kommer att leda till att man får lägga ett nytt ytskikt.

Ifall hela källaren översvämmas antas det att bara en del av väggarna blir blöta. Ett antagande görs att 60 millimeter av väggarna blir blöta inifrån och endast torkas enkelsidigt. I Bilaga 4 sida XLIV, redovisas det att torkningstiden från 100 % relativ fuktighet till 75 % är drygt 2 månader om man höjer temperaturen till 30 grader i källaren.

4.3.2 Fall 2

Källaren för huset ligger cirka 1,5 meter under marken vilket leder till att grundvattennivån kommer att vara ungefär vid fundamentet. Därför kommer grundvattenstigning inte ha någon inverkan på den effektiva bärförmågan från jorden, vilket har bevisats i kapitel 4.2.2. För sättningen kommer huset inte att lyftas heller eftersom grundvattenytan redan ligger ungefär vid fundamentet.

För att räkna på en lyftkraft på huset görs följande antagande att hela huset är vattentätt för beräkningens skull trots att det inte är sannolikt för det studerade huset. Huset översvämmas med 1 meter ovanför marken vilket innebär att den indränkta höjden på huset med källare blir 2,55 meter. Beräkningarna i Bilaga 4 sida XLIV, visar att den karakteristiska lyftkraften ger ett värde på 2,026 MN. Vilket ger att huset inte lyfts. Det dimensionerande lastfallet är vattentryck som huvudlast. Lyftkraften ger en återstående vikt på huset på 373 kN, det vill säga om lyftkraften varit 373 kN större hade huset lyfts. För att huset skall lyftas behöver vattennivån vara 35cm högre.

En annan kontroll som görs är källarbjälklaget. Det bjälklag som kontrolleras är det i garaget, eftersom det är störst och löper störst risk, se Bilaga 3. Problem som kan uppstå är att bjälklaget inte klarar av att hålla emot lyftkraften som trycker uppåt. Den mest troliga och största lyftkraft som kan uppstå är när vattennivån ligger precis under källarfönstren. Eftersom fönstren med stor sannolikhet inte är vattentäta beräknas det att vattennivån ligger cirka 20 centimeter ovanför marken. Den totala vattennivåhöjd som ger upphov till en lyftkraft är 1,7 meter från undersidan av husgrunden. Lyftkraften på huset är 25 kN/m². Källarbjälklaget antas vara armerat i underkant med Ø8 s150. Därför kommer bjälklaget att spricka i ovankant

4. Analys

på grund av lyftkraften nerifrån. Även om armeringen hade varit i ovankant kommer bjälklaget enligt beräkningarna i Bilaga 4 sida XLV, inte att hålla emot lyftkraften, det vill säga momentkapaciteten är lägre än lyftkraften och leder till brott.

Ifall man vill dimensionera mot en sådan lyftkraft får man enligt beräkningarna i Bilaga 4, XLV dimensionera med $\emptyset 8$ s65 i båda riktningar. Armeringen med den dimensionen läggs i ovankant för att inte spricka samt för att vattentrycket inte skall brytas igenom.

4.3.3 Fall 3

I detta fall kontrolleras det ifall huset klarar sig mot vind, vattentryck och brytande vågor som uppstår. För att en våg skall bli brytande krävs det att vågens höjd är minst 4/5 av vattnets stående höjd. I detta fall är vågen 45cm hög och ligger på en stillastående vattennivå på 55cm. Det vill säga den totala vattennivån blir cirka 1 meter med vågor inräknat. I Bilaga 4 sida XLVII, visar beräkningarna att vågorna ger en kraft på cirka 13kN/m. Med hänsyn till vattentrycket kontrolleras väggen. I beräkningarna har källarväggen som är av betong räknats som en pelare istället med tvärsnittet 35x35 cm med antagande om att armeringen för tvärkraften är $\emptyset 12$ s150 och för momentet 5 st $\emptyset 12$ i den dragna sidan. Kontrollen ger att väggen klarar sig, det vill säga inget brott uppstår.

4.4 Lösningförslag – flytande hus på mark

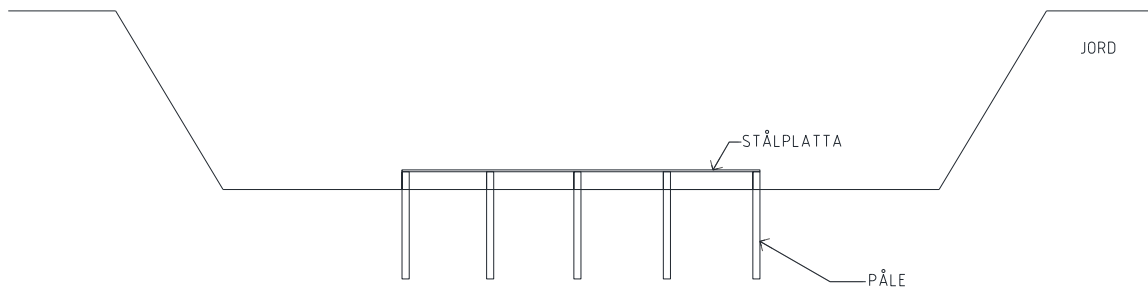
Det kan finnas olika lösningar som klarar av att stå emot översvämningar som till exempel flytande hus. Men i vissa delar av världen kan det vara svårt att få bygglov för flytande hus på havet. I Sverige idag får man inte heller bygga under 2,5 meter över havet och kommunerna i Skåne kommer att ändra det till att det inte får byggas under 3 meter i framtiden (Malmö stadsbyggnadskontor, 2008). En lösning på detta kan vara att bygga ett hållbart framtidshus som klarar av översvämningar utan några större problem. Förslag på lösning kan vara flytande hus på mark. Dessa kan byggas överallt och tillämpas speciellt vid havsnära områden.

Lösningförslaget som beskrivs i examensarbetet är endast tankar och idéer och baseras inte mycket på vetenskap.

För att huset skall kunna flyta måste huset först och främst vara helt vattentätt, något som man kan lösa med vattentät betong. För att betong skall klassas som vattentätt måste den ha en vct-halt under 0,6 (Burström, 2007). Därför kan man använda betong med vct-halt på 0,36 för säkerhets skull (betong.se, 2012). En lägre vct-halt leder till en högre hållfasthet, vilket är bra eftersom det ger mindre dimensioner för betongplattan och väggarna. Husets egentyngd minskar och det blir lättare att lyftas (betong.se, 2012).

Utförandet av huset kan ske enligt följande sätt, beskrivningen görs med figurer och förklaringar.

4. Analys



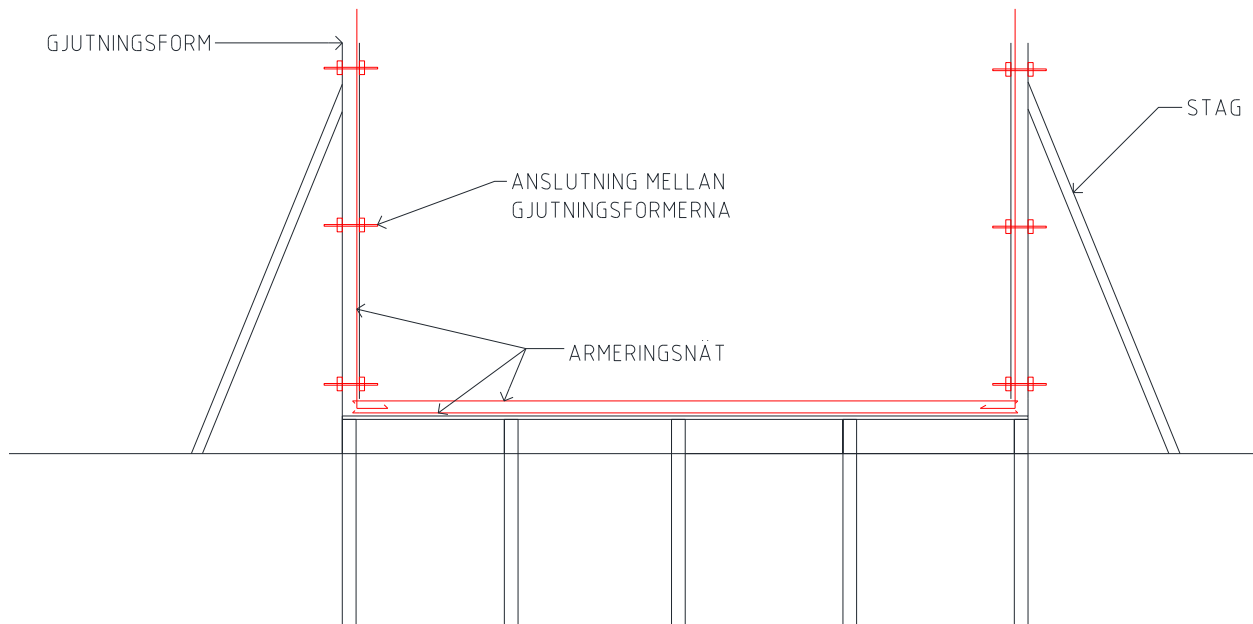
Figur 24 – Visar utgrävning av jorden samt pålning och stålplattan.

Utgrävning av jordarten görs först för att sedan slå ner pålar i nedre marken se Figur 24. Pålarna är till för att avskilja jorden från huset eftersom när en översvämning sker så kan vattnet rinna ner under huset och i sin tur lyfta upp huset.

Stålplattan som man ser i Figur 24 skall ligga över hela ytan det vill säga över alla pålar där huset sedan skall stå. Stålplattan skall vara enhetlig, det vill säga inga hål eller springor får finnas, det kan man utföra genom att svetsa ihop mindre plattor över hela ytan. Anledningen till att det skall finnas en stålplatta över hela ytan är för att det inte skall finnas en vidhäftning mellan pålarna och huset när grunden skall gjutas. Samt för att stålplattan skall kunna bära upp den gjutna betongen för att betongen inte skall rinna ner mellan pålarna. Trä används inte eftersom det kan mögla och avge lukter.

Svårigheten med en enhetlig stålplatta är bland annat svetsningen, det kan vara svårt att svetsa ihop alla plattor, speciellt om plattorna är stora. Det kan man lösa med en mindre lyftanordning som håller upp plattan medan man svetsar. En annan svårighet är också maskinerna som slår ner pålarna. Deras räckvidd kanske inte klarar av att slå ner de från den högre marknivån, det vill säga utanför det utgrävda området. Istället kan man hissa ner maskinerna men då måste man ha en lyftkran vilket är rätt svårt att skaffa om arbetsområdet är begränsat. Alternativt kan man schakta ner lutningen från ena sidan så pass mycket att man kan låta maskinen köras ner istället.

4. Analys



Figur 25 - Visar hur gjutningsformen kan se ut.

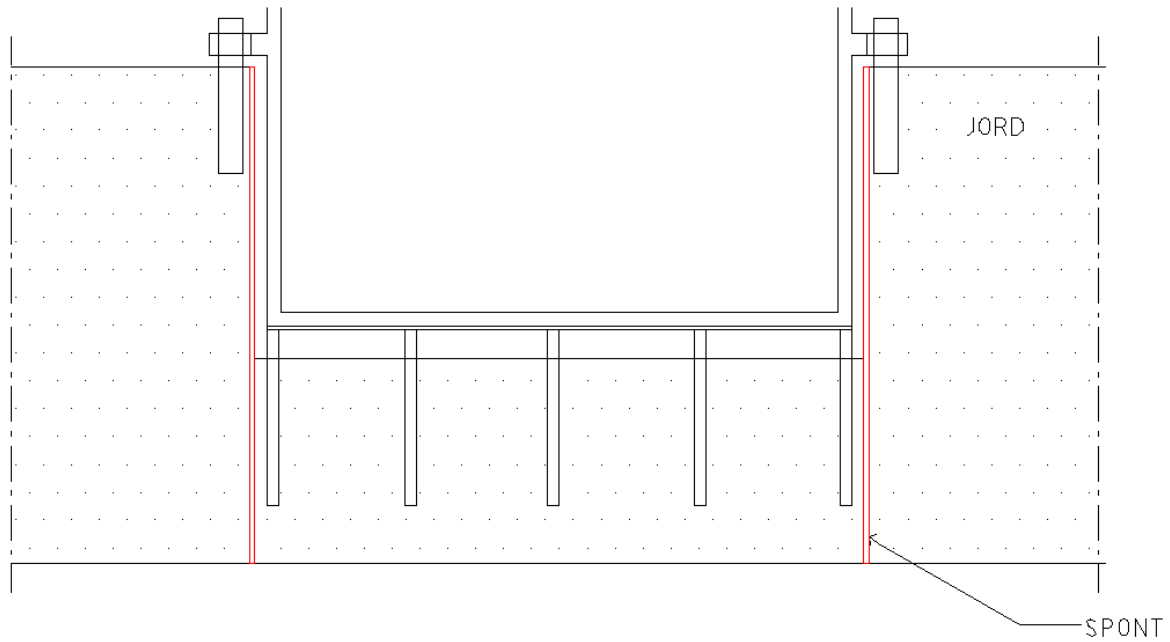
Efter att pålar slagits ner och en enhetlig stålplatta finns över hela ytan monteras gjutningsformen. Ett exempel på hur formen kan se ut ser man i Figur 25. Formen kan bestå av formplywood som används för gjutning i betong (Bygghemma.se, 2015). Formen ansluts med varandra och förstärks med träreglar. För att stabilisera formen kan man staga upp väggarna med träreglar från utsidan, se Figur 25.

Dimensioneringen av husgrunden görs efter lyftkraft och nyttig last, det vill säga betongen armeras i ovankant och underkant. Väggarna dimensioneras efter vattentryck och vågor som kan uppkomma.

När gjutning i formen görs skall man se till att betongen är enhetlig, det vill säga inga springor eller hål få uppstå någonstans. Först gjuter man i väggarna och låter de fyllas upp. Som Figur 25 visar så går "innerväggen" av gjutningsformen inte enda ner till stålplattan. Det gör den inte eftersom väggen och betongplattan skall vara enhetliga. Det vill säga när väggarna gjuts kommer betongen "läcka" vidare och fylla en del av plattan. Efter att man fyllt igen väggarna så gjuter man färdigt betongplattan. När gjutningsprocessen sker är det viktigt att man gjuter färdigt allt på samma gång för att låta betongen vara helgjuten.

Problem som kan uppstå med gjutningsformen är den höga höjden på väggen samt anslutningarna. Det kan vara svårt att gjuta i den höga höjden. För att komma åt toppen på gjutningsformen kan man få använda en lift maskin. Ett annat problem kan vara att fästa gjutningsformen med stålplattan, det kan man lösa med träreglar som stärker och spänner fast gjutningsformen tillsammans med stålplattan.

4. Analys

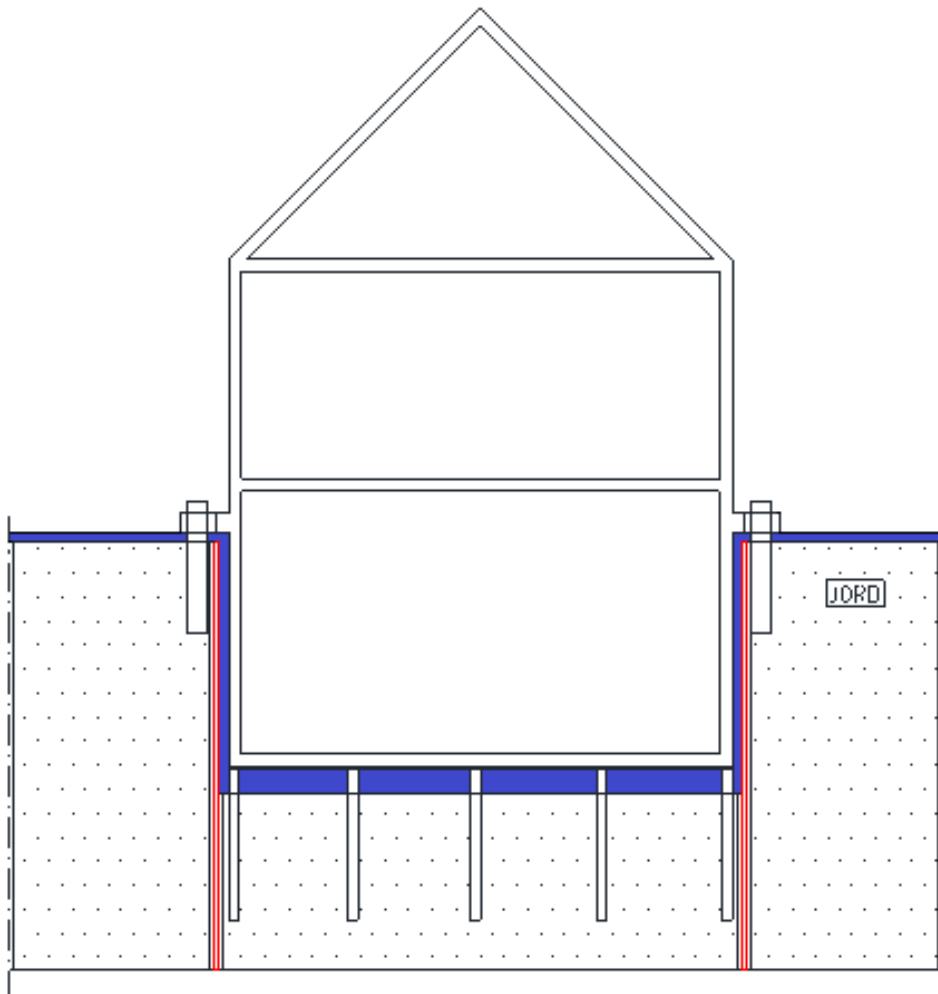


Figur 26 - Visar sponten och stabilisering mellan pelare och hus.

Efter att husgrunden gjutits färdigt slås sponter ner runt husgrunden. Det görs för att avskilja jorden från husgrunden för att när översvämning sker skall vattnet rinna ner under husgrunden och lyfta huset. Därefter stabiliseras husgrunden med stora pelare vid varje hörn.

Problem som kan uppstå med sponten är maskinerna. Det kan vara svårt att sponta ner något så nära ett hus med stora maskiner. Att stabilisera huset kan vara svårt också med tanke på att huset kommer att lyftas och flyta på vatten. Risken finns att huset är dåligt möblerat det vill säga, stora tyngder finns på ena kanten av huset. Det leder till att huset kommer luta mycket och stabiliseringen kommer i värsta fall leda till att den låser sig. Det vill säga huset står snett och återgår inte till det normala fallet som är vertikalt.

4. Analys



Figur 27 - Visar hur det ser ut när översvämning sker.

När husgrunden är färdig kan man börja bygga färdigt huset. Det mest rimliga är att bygga med en trästomme eftersom den väger lite.

För att få huset att lyftas måste man balansera husets totala tyngd med lyftkraften. Det som styr mycket är tyngden från betongen och djupet på den grävda gropen. Räkna man med en djup på två meter och en kvadratisk yta på 10x10 meter får man en karakteristisk lyftkraft på cirka 2 MN. Räkna man på betongens egentyngd med en vägg tjocklek på 25 centimeter och betongplattans tjocklek på 30 centimeter får man en egentyngd på 1250 kN. Plus trästommens egentyngd på cirka 250 kN, samt nyttig last på cirka 400 kN. Man får då en total karakteristisk last på cirka 1,9 MN. Skillnaden mellan den totala tyngden och lyftkraften är så litet att det blir ett kritiskt tillstånd. Det får man lösa med att antingen gräva en djupare grop till cirka 2,5 meter, eller att man optimerar betongväggarna och betongplattan så att man inte behöver så tjocka väggar som 25 centimeter eller en betongplatta på 30 centimeter. Det enklaste vore ifall man gör både optimering och gräver en djupare grop beroende på den totala tyngden. Man får anpassa djupet och tyngden så att huset börjar lyfta endast då vattnet fyllt hela gropen, det vill säga huset får inte börja flyta om hälften av gropen fyllts med vatten.

VA-anslutningar och andra anslutningar avgränsas bort i denna rapport eftersom examensarbetet inte inriktar sig på det området.

5. Diskussion

5 Diskussion

Examensarbetet avgränsades till Malmö eftersom det blev enklare att räkna på värden som finns just för Malmö. Malmö kommun kommer i framtiden bygga vallar och murar längs kustområdet för att översvämning från havet inte skall kunna ske inåt landet. Men vallar och murar är inte helt riskfritt. Examensarbetet är applicerbart inte enbart på Malmö utan även på andra områden som bygger på samma sätt som de typhus som har valts, och utsätts för översvämning.

I analysen redogörs för att 1,5-plansvillan som är byggd med trästomme inte är hållbar mot översvämningar. Det beror på olika faktorer som att trä möglar, huset väger lite och inte klarar av vattentrycket. Runt om i Sverige har det byggts många sådana typhus. Det kan innebära stora problem i framtiden ifall de utsätts för översvämningar. Vissa ställen är mer utsatta än andra och där kan man fokusera på nybyggnationer som är översvämningsanpassade. I analysen har det redogjorts för att trästommen väger lite och kan lyftas. Det kan man lösa genom att förankra den, men det löser inte problemet med att vatten kan komma in genom dörren och andra ställen. Varför inte låta nybyggnationer utföras som flytande hus som beskrivs i lösningsförslaget? Där slipper man problem med förankring och slipper även problem med att vatten kan komma in genom bland annat dörren. Husen kan fortfarande byggas med trästomme men då får husgrunden och källaren vara av vattentät betong och resterande delen av huset med trästomme. Men problemet med flytande hus på marken kan vara anslutningar som exempelvis VA-anslutningar. En framtidslösning är att konstruktörer, byggarbetare, VA-installatörer och VVS-installatörer får samarbeta och komma fram till hur man kan utforma flytande hus på marken. Om det kan göras på ett priseffektivt och smidigt sätt kan det vara nästa trend inom byggnationer där alla som bor i ett riskfyllt område kommer att bygga på ett sådant sätt. Eftersom man inte vill utsätta sitt hus för stora skador som kan kosta mycket att reparera, kan man istället investera i framtidslösningen som räcker tills livslängden för huset tar slut. Men de som ändå vill bo kvar i befintliga trähus i de utsatta områdena kan lösa det med betongmurar runtom sina fastigheter och vid porten kan man lägga till en tillfällig lösning som monterbar barriär som man kan se i Figur 11 och Figur 12. Man får vara redo ifall det varnas för höga vattennivåstigningar då man monterar barriären.

De gamla husen som är byggda av betong klarar sig relativt bra vid översvämningar. Men de utsätts för andra problem som att källarbjälklaget spricker och brott uppstår när de utsätts för en lyftkraft, eftersom de inte är dimensionerade mot en kraft uppåt. De klarar inte heller av fuktproblemen som uppstår i husen. Betonghusen står kvar men det finns fortfarande stora reparationskostnader som uppkommer för betonghus. Därför måste en ny lösning utföras som till exempel flytande hus på mark.

Eftersom att 2-plansvillan och 1,5-plansvillan är belägna på olika höjder översvämmas dem olika mycket. Skulle man göra en jämförelse mellan husen om de var grannar och låg på samma område och utsatt för till exempel en meters översvämning hade det varit en mer rättvis jämförelse. Om 1,5-plansvillan utsätts för en meters översvämning så som 2-plansvillan skulle 1,5-plansvillan klarat sig från att kollapsa om fuktkvoten i trästommen blivit fibermättad upp till en meter, se avsnitt 4.2.1. Men det hade fortfarande utsätts för ett mögelangrepp och en åtgärd skulle trots allt behövas för det. Skulle det även uppstå brytande

5. Diskussion

vågor vid en meters översvämning skulle 1,5-plansvillan inte klarat sig eftersom gränsen går vid 0,8 meters vattennivå, se avsnitt 4.3.3. Om 2-plansvillan däremot befunnit sig i samma område som 1,5-plansvillan, det vill säga där översvämningen kan bli upp till 1,5 meter, skulle 2-plansvillan utsättas för större skador i till exempelvis bottenvåningens väggar. Då måste även en kontroll av murverket göras för att studera om den klarar sig för brytande vågor.

Flytande hus på mark är en bra lösning eftersom det är mycket enklare att få bygglov och det underlättar för dem som fortfarande vill bo på kustområden, men samtidigt känna sig trygg i sitt eget hem eftersom att huset kan lyftas och klarar av översvämningar mycket bättre. Flytande hus på havet är en bra lösning men det är svårare för privatpersoner att kunna köpa ett "havsområde" för att kunna bygga där. Såvida inte kommunen eller landet har bestämt något för det.

Problem och svårigheter med flytande hus på marken kan vara utförandet av arbetet. Det lär krävas stora maskiner för att spanta och gjuta så stora massor. Nackdelen med stora maskiner är att det kan finnas brist på utrymme på arbetsplatsen i vissa fall, som till exempel nära befintliga byggnader. Man kan även komma att behöva speciallösningar för att till exempel lyfta ner tunga maskiner, för det kommer man att behöva en lyftkran. Det skapar stora kostnader och kanske inte lönar sig ifall man inte bygger ett helt område med flytande hus på mark.

6. Slutsats

6 Slutsats

I examensarbetet har en analys av 1,5-plansvilla utan källare och 2-plansvilla med källare gjorts. Detta har gjorts i syfte att undersöka vilka hus som skadas mest av en översvämning. Examensarbetet skall fungera som en varning för framtida nybyggnationer för att byggföretag och kommuner i framtiden skall ta hänsyn till de nya faktorer som kommer att inträffa i kustnära områden de kommande 100 åren, det vill säga översvämningar.

Hypotesen om att ”klimatförändringarna kommer att skapa fuktproblem och byggnader kommer att förstöras längst kustområdena” stämmer delvis. Analysen har visat att fuktproblem kommer att förekomma i alla typer av hus som inte är översvämningsanpassade. Men alla byggnader kommer inte att förstöras. De hus som kommer att vara mest problematiska är enligt analysen hus med trästomme eftersom de kan mögla och de förlorar kraftigt i bärförmåga i fall de blir blöta vilket kan leda till att husen kan rasa. Däremot står betonghusen kvar och bärförmågan inte påverkas mycket.

Examensarbetet har förhoppningsvis väckt nya tankar för byggnadsföretag och kommuner om att ta hänsyn till framtida översvämningar som väntas uppstå vid nybyggnationer. Idag får man endast bygga över en markhöjd på 2,5 meter över havet. Men med en lösning som flytande hus på mark skulle det vara möjligt att bygga under 2,5 meter över havet.

7. Källor

7 Källor

- Alén, Dahlblom & Sällfors. (2013). *Grundläggningsteknik*. Lund: Institutionen för byggvetenskaper, LTH.
- BEIJER. (2014). *BYGGREGEL 45X220MM C24 FINGERSKARVAD*. Hämtat från beijerbygg.se: http://www.beijerbygg.se/store/privat/tr%C3%A4produkter/plank-reglar/byggreglar-c24/45x220-plank-c24-f-skarv#.VGsdY_mG9HU
- betong.se. (2012). *Fråga Experten: När når betong tryckhållfastighet?* Hämtat från betong.se: <http://betong.se/2012/04/fraga-experten-nar-nar-betong-tryckhallfastighet>
- Björk, Nordling & Reppen. (2009). *Så byggdes villan : svensk villaarkitektur från 1890 tiill 2010*.
- Boverket. (den 26 maj 2008). *Boverkets författarsamling, EKS1*. Hämtat från rinfo.boverket.se: <https://rinfo.boverket.se/EKS%5CPDF%5CBFS2008-8EKS1.pdf>
- Brostrand, K. (Februari 2007). *Flytande hus i Holland väcker intresse*. Hämtat från <http://sverigesradio.se/>:
<http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=83&artikel=1179313>
- Burström, P. G. (2007). *Byggnadsmaterial - Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Studentlitteratur AB, Lund.
- Bygghemma.se. (2015). *Formplywood Mörkbrun 9-21 mm*. Hämtat från Bygghemma.se: <http://www.bygghemma.se/utomhus/bygg/skivmaterial/plywood/formplywood-morkbrun-9-21-mm/p-164549>
- Byggnadskontroll. (u.d.). *Betongplatta på mark*. Hämtat från byggnadskontroll.se: http://www.byggnadskontroll.se/?page_id=71
- Esri. (2014). *ArcMap version 10.2.2*. Hämtat från <http://www.esri.com/>
- Google. (2014). *Google Maps*. Hämtat från <https://maps.google.com>
- Gore, A. A. (Regissör). (2006). *En obekvämt sanning* [Film].
- Henriksson, A. (2000). *Naturkunskap A*.
- Illustrerad vetenskap. (2003). *Växthuseffekten kan ge oss istid*. Hämtat från <http://illvet.se/>:
<http://illvet.se/jorden/klimat-miljo/vaxthuseffekten-kan-ge-oss-istid>
- IPCC. (2014). *A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Hämtat från <http://www.ipcc.ch/>: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>
- Isaksson & Mårtensson. (2010). *Byggkonstruktion, Regel- och formelsamling*. Lund: Studentlitteratur AB.

7. Källor

SMHI. (April 2014). *Sven var förhållandevis extremast vid Bohuskusten*. Hämtat från smhi.se: <http://www.smhi.se/nyhetsarkiv/sven-var-forhallandevis-extremast-vid-bohuskusten-1.34671>

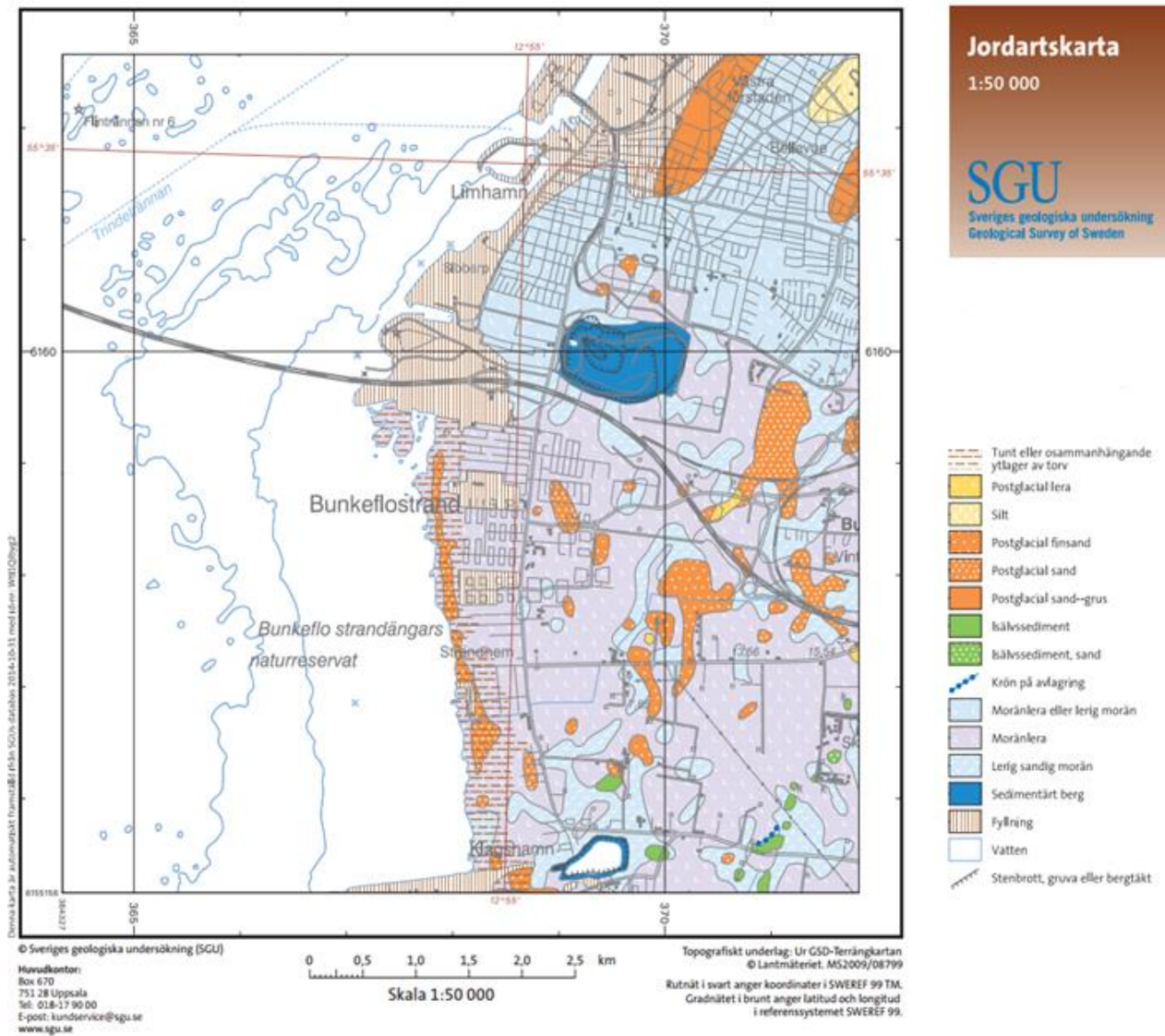
Strusoft. (2014). *Ramanalys version 5.3*. Hämtat från <http://ramanalys.software.informer.com/>

Trafikverket. (mars 2014). *tjälskadade vägar*. Hämtat från trafikverket.se: <http://www.trafikverket.se/Aktuellt/Redaktionella-sidor/Tjalskadade-vagar/>

United States. Army. Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center (U.S.). (1984). *Shore protection manual*. US: Vicksburg, Miss. : Dept. of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center ; Washington, DC : For sale by the Supt. of Docs., U.S. G.P.O.

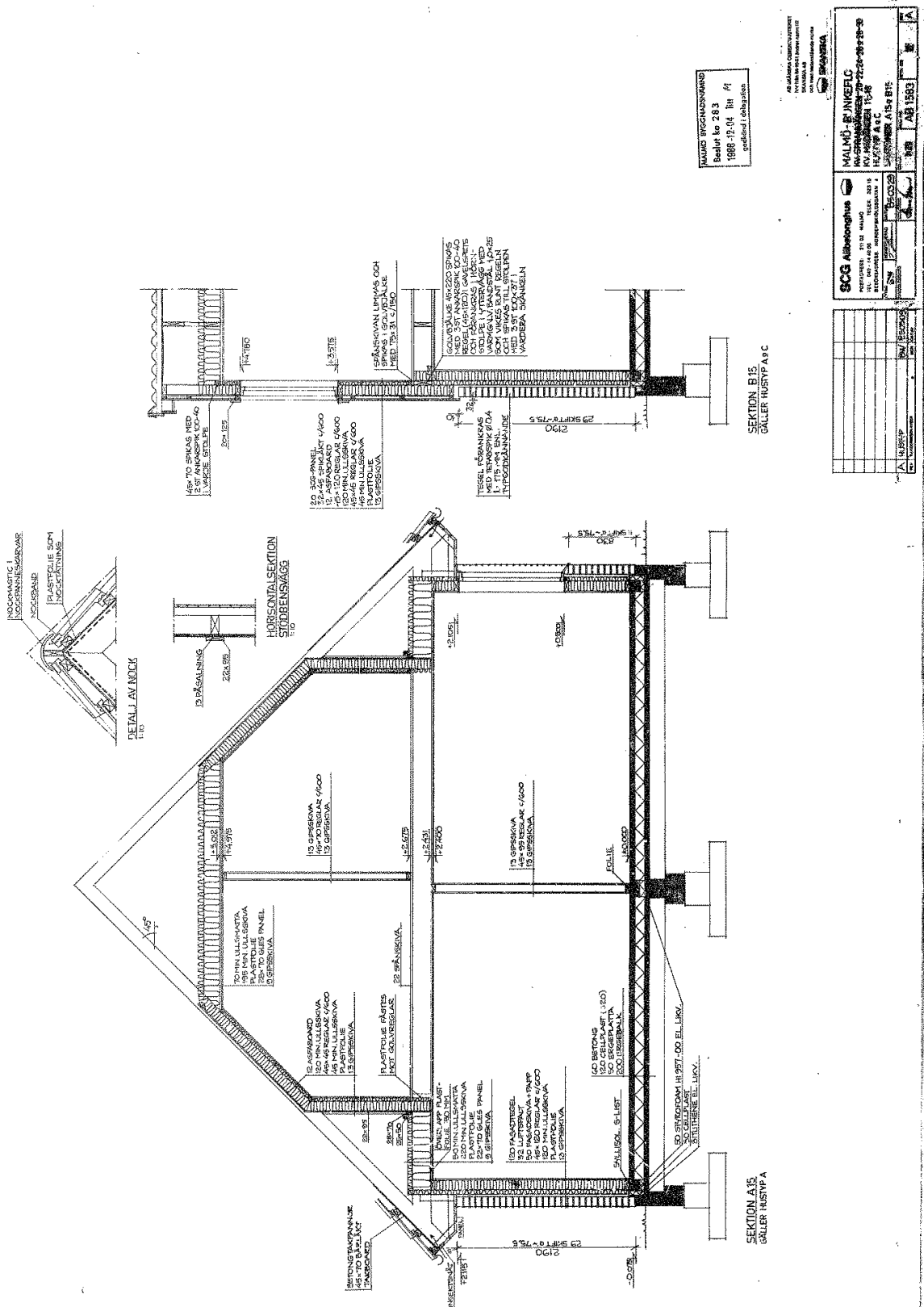
WHS. (2014). Hämtat från whs-hochwasserschutz.de: http://whs-hochwasserschutz.de/whs-eingangstueren_magnet.html

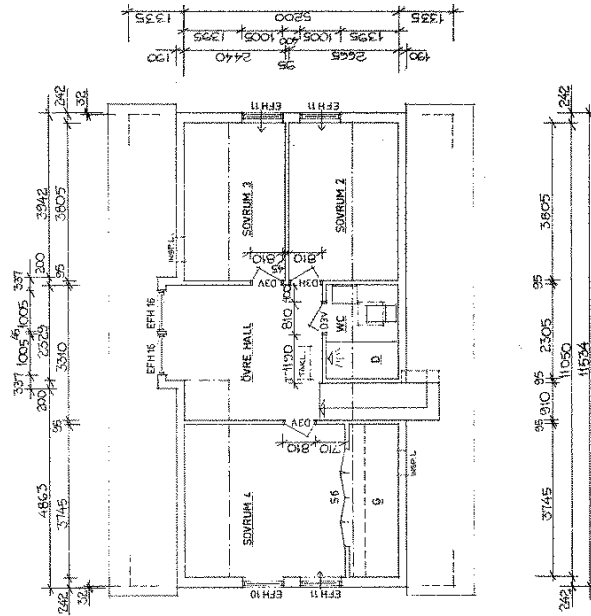
Bilaga 1 – Jordartskarta



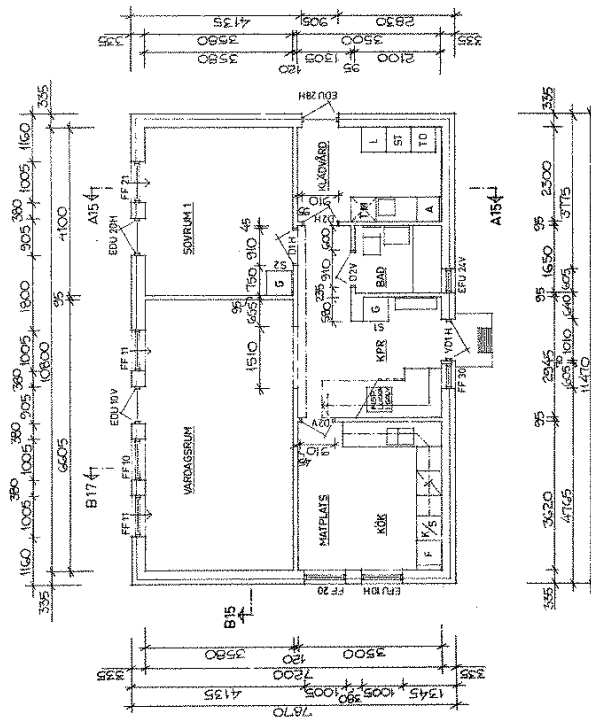
Källa: (SGU, 2014)

Bilaga 2 – 1,5-plansvilla





ÖVERPLAN



BOTTEPLAN

MALMÖ BYGGNADSNÄMND
 Beslut nr 283
 1988-12-04 lrt A
 godkänd i utskottet

SCG Arkitektbyrå
 MALMÖ - BUNNEFLÖ
 NYMANSJÖN 11-18
 KUSKITA A
 MESSATA PLANER

SEBASTIAN
 MALMÖ - BUNNEFLÖ
 NYMANSJÖN 11-18
 KUSKITA A
 MESSATA PLANER

KONSTRUKTIONER

BETECKNINGAR

	PREFAB. BETONG		BETONGHÅLLBUD
	C 100/250 FÖRBRUK		BETONGBLOCK
	BETONG		LÄTTKONKRETBLOCK
	ANNAN BETONGKVALITÉT		FASADTEGEL
	ARMERING OK		ANNAN TEJL KVALITÉT
	ARMERING UK		VÄRMEISOLERING
	VÄRMEISOLERING		VÄRMEISOLERING (REGERFILT)

FÖRESKRIFTER
FÖR ARBETSFÖRÄNDRING GÄLLER I TILLÄMPNING PÅ DESSA PLAN 25.1
REGERFILT: ÖVRIG LÖSNING SE I BTG II, STD. K 250, P. 1 UNDER MARK
SÄNNINGSBRUK: C 100/250 VÄG 0,50

ARMERING
OK BALKAR UK OCH ÖK SAMT SKÄLV. K6-40
UK BALKAR K6-60
BYGLAR K6-60
FÖRSTÄL OCH MONTERING. K6-40
SKOJN K6-40
PROFILSTÅL
PLATTOR S6-50
TÄCKSKIKT 15 MM
ERGERBALKAR 19,1 MM
ERGERPLATTOR 50 MM

HÅLLFASTHET
40 %D
AVFÖRNING (övertryck) 250 %D

LYFT
BALKARNA LYFTES MED SÅX. LYFT FÄSTORRES PÅ BALÖHITT
LYFTBÄR.
LYFTAS SKALL VÄRA MINST VAD SOM ANGEVES PÅ KONSTRUKTIONSRITNINGAR.
ERGERBALKAR 75 MM (min.)
ERGERPLATTOR 40 MM (min.)

BELASTNINGAR
NITTIG LAST 1,0 kN/m². ANSVÄRSBELAST BALKAR 4,0 kN/m. ERGERPLATTOR 1,5 kN
GRUNDLÄGGNINGSLAST REDUCERAT ENL. STM 80, 33, 53 b. B.g. 1,10 m. h = 0,05 m. b.g.
MAX. NÄRSPÄNNING AV 0,8 MPa. VENTILERING AV KÖPPORTRINNE ENL. STM 80, 33, 52

ALLMÄNNA ANVISNINGAR
ALLA BALKPLÅG PÅ BETONGHÅLLBUDSOMGIVNINGAR SKALL VARA 1 BETONGBLOCK MURAT I BRUK
KVALITETSGRUPP A. BALKAR ÖVERSTÄMNINGEN 0,80 m. UNDERSTÄMNINGEN PÅ MITTEN FÖRE FÖRT-
VÄRNINGEN SKALL VARA 0,40 m. ÖVERSTÄMNINGEN PÅ MITTEN FÖRE FÖRTVÄRNINGEN
DE HÅLLSTÄMP SKALL VARA AV ÖPPNINGSKÄNDA MATERIAL. ÖPPNINGEN PÅ ERGERBÄLÄGGET
SKALL SIE ÖVER BALKARNA PÅ UNDERLAG AV 50x150 MM. PLANK MAX. STÄMPELSTÄNG
13,5 kN C 3,8 m. ÖVER BALK OCH 2,8 kN ÖVER PLATTOR. HÅLLSTÄMPAR PLACERAS ENLIGT
KONSTRUKTIONSRITNING OCH FÅ BORTTAGAS DÅ ÖPPNINGSSTÄNDE STÄMPAR BORTTAGITS.
BALKLAGET FÅR FÖRE FÖRNINGEN EJ BELASTAS HÖRE AN MONTAGELASTEN.
BÄRANDE PÄRRELL SKALL BEHOVNAS VÄL OCH UPVÄTTAS FÖRE FÖRNINGEN. FÖRNING FÅR EJ
VÄRMEISOLERA. ÖVERSTÄMNINGEN SKALL UDRÖNAS AV 50 MM SÄ ÖBERNT 90 C. INDRÖST 25 L.
ÖVER ÖPPNINGSSTÄNDE FÖRNINGEN FÅR BÄRANDE. BALKLAGET FÅR EJ BELASTAS UP-
PÅ ÖVER ÖPPNINGSSTÄNDE FÖRNINGEN FÅR BÄRANDE. BALKLAGET FÅR EJ BELASTAS UP-
BALK MÅRKT B.g. 7 - ÖRD UTVÄR. B.g. BALKTYPERN 7 - BÄRIGHETEN I MINN BALK OCH
- 1000 BALKLÄNGD I MIN.
HÅLLNING UTVÄRSES ENL. KONSTRUKTIONSRITNING VID HÅLLNING PÅ ARBETSPLATSEN TILL-
FÖRBRUK FÖR TÄTTNING MED CEMENTSÄMMA
25 C 110 V.

Den här ritning är tillåten vid ändring av byggplan. Förändring av konstruktion eller andra tekniska lösningar. Förändring av konstruktion eller andra tekniska lösningar. Förändring av konstruktion eller andra tekniska lösningar.

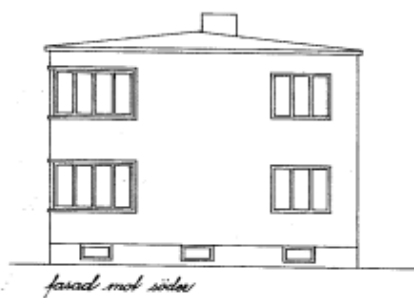
ERGER SYSTEM

OSTRA GREVE CONCRETE AB
23017 OSTRA GREVE TEL. 08-487270
STENÅVA SVENSKA
KONSTRUKTION
KONSTRUKTION
1985-05-18

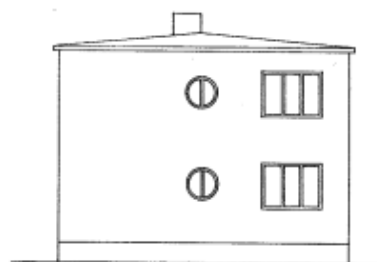
KJ. STRÄNDÅNGEN NADÅNGEN 11
BUNKEFLO, MALMÖ KOMMUN.
FÖRESKRIFTER, ANVISNINGAR OCH TYP-
SEKTIONER FÖR ERGERBJÄKLÄG TYP B3
SKALOR 1:20

Bilaga 3 – 2-plansvilla

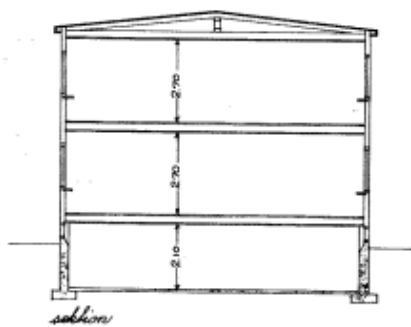
St. Skomakeren nr 9 i Lidingö



fasad mot söder



fasad mot väster



sektion

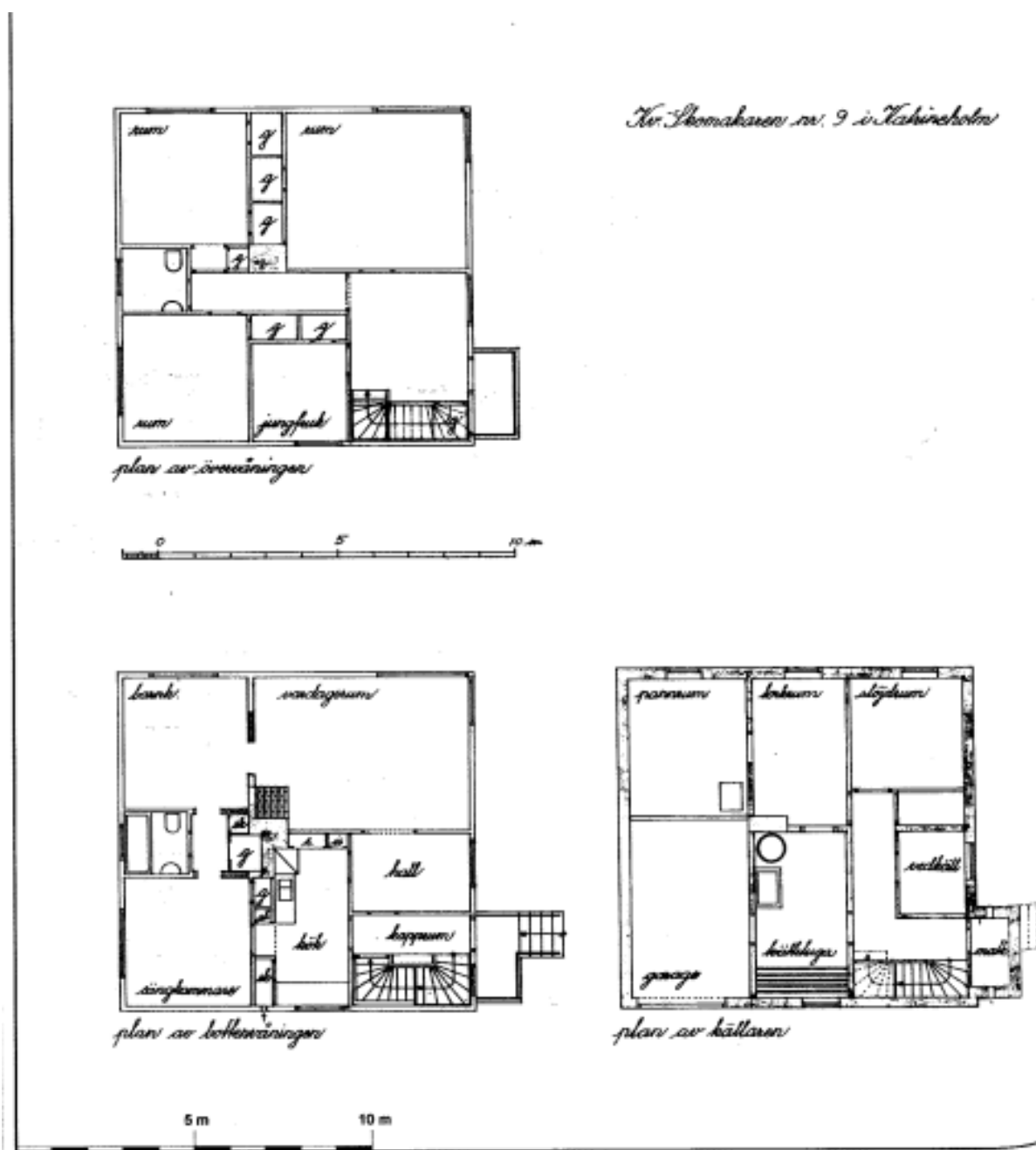


fasad mot öster



*Stockholm den 16 jan 1924
Olof Lindberg*

Källa: (Björk, Nordling & Reppen, 2009)



Källa: (Björk, Nordling & Reppen, 2009)

Bilaga 4 – Handberäkning

Nedan redovisas beräkningar för 1,5-planshuset. På konstruktionsritningarna i Bilaga 2 förekommer det vilka laster som finns på huset, men eftersom siffrorna är baserade på BKR kommer det att tas fram nya värden baserade på Eurokod.

1,5-plansvilla

Fall 1

Snölast

$$s_k = 1 \text{ kN/m}^2$$

$\mu_i = 0,8(60 - 45)/30$ för taklutning på 45 grader, se Bilaga 2.

$$s = 0,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

Vindlast

Utvändig vindlast bestäms enligt:

$$\left. \begin{array}{l} v_b = 26 \text{ m/s} \\ h = 7 \text{ m} \\ \text{Terrängtyp II} \end{array} \right\} \text{ ger } q_p = 0,8175 \text{ kN/m}^2$$

Vind på kortsida:

$$\frac{h}{d} = \frac{7}{11,47} = 0,61 \rightarrow c_{pe,10}(\text{zon D}) = +0,748, \quad c_{pe,10}(\text{zon E}) = -0,396$$

Den totala vindlasten mot kortsidan blir summan av vindtryck på lovartsidan och ett vindsug från läsidan vilket beräknas enligt:

$$w_e = 0,8175 \cdot (0,748 + 0,396) = 0,935 \text{ kN/m}^2$$

Vind på långsida:

$$\frac{h}{d} = \frac{7}{7,87} = 0,89 \rightarrow c_{pe,10}(\text{zon D}) = +0,785, \quad c_{pe,10}(\text{zon E}) = -0,471$$

Den totala vindlasten på långsidan blir:

$$w_e = 0,8175 \cdot (0,785 + 0,471) = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

Vind mot tak

Med vinkeln 45° får vi följande formfaktorer för utvändig vindlast på tak:

$$c_{pe,10}(\text{zon F}) = +0,7$$

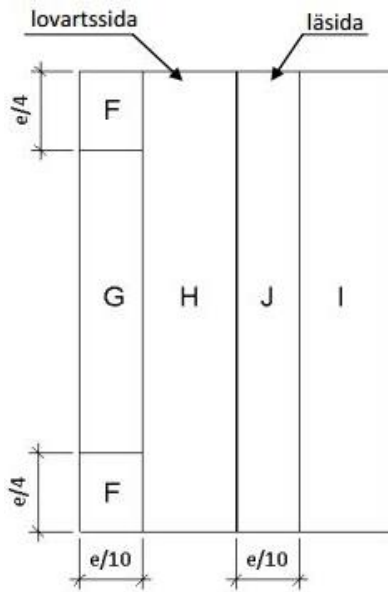
$$c_{pe,10}(\text{zon G}) = +0,7$$

$$c_{pe,10}(\text{zon H}) = +0,6$$

$$c_{pe,10}(\text{zon I}) = -0,2$$

Bilaga 4 – Handberäkning

$$c_{pe,10}(\text{zon } J) = -0,3$$



Figur 28 – Visar zonindelning och beteckningar för sadeltak (SS-EN 1991-1-1-4, 7.2.5).

Eftersom zon F och G har samma värde kombineras de två. Vindlasterna för respektive zon fås följande:

$$W_{FG} = 0,8175 \cdot 0,7 = 0,572 \text{ kN/m}^2$$

$$W_H = 0,8175 \cdot 0,6 = 0,49 \text{ kN/m}^2$$

$$W_I = 0,8175 \cdot -0,2 = -0,16 \text{ kN/m}^2$$

$$W_J = 0,8175 \cdot -0,3 = -0,25 \text{ kN/m}^2$$

Egentyngd av takstolar och bjälklagsbalkar

I Bilaga 2 redovisas att det finns totalt 11 takstolar i nästan samma storlek de skiljer sig väldigt lite, en generalisering görs och beräkningar görs på att alla är av typen T1. Materialet är av vanligt virke med densiteten på 500 kg/m^3 .

Enligt ritningarna på Bilaga 2 finns det belastningar från yttertaket på 600 N/m^2 och innertaket på 300 N/m^2 summerar man dessa blir det 900 N/m^2 . Med ett c/c avstånd på $1,2 \text{ m}$ blir kraften $0,9 \cdot 1,2 = 1,08 \text{ kN/m}$, se Bilaga 2.

Bjälklagsbalkar

Tvårsnittet för balken är $45 \times 220 \text{ mm}$, av materialet limträbalk med densitet på ca 500 kg/m^3 .

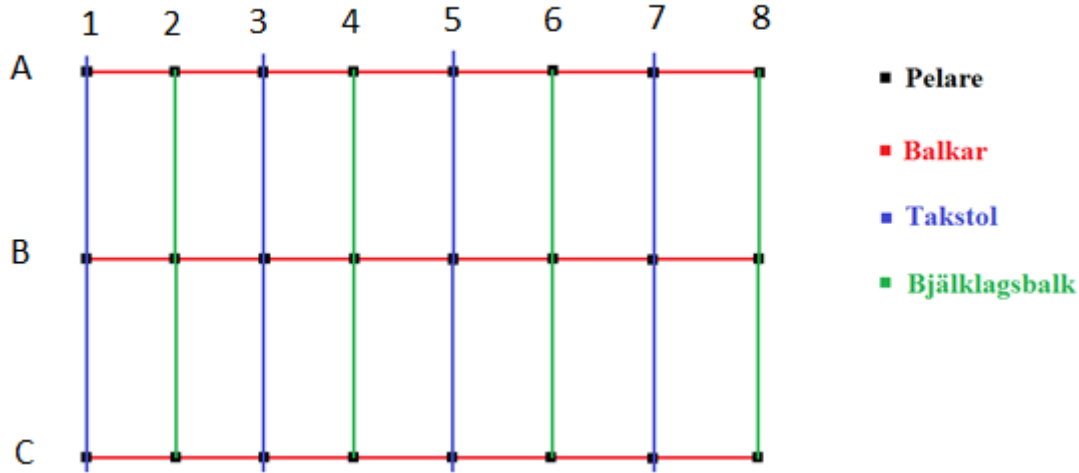
Vikten av detta blir $0,045 \cdot 0,22 \cdot 500 \cdot 9,81 = 0,048 \text{ kN/m}$

Dimensionerande laster

Pelarna för huset har ett c/c-avstånd på 600 mm och takstolarna samt bjälklagsbalkarna har c/c-avstånd på 1200 mm .

Men eftersom takstolen kommer mitt på pelaren och bjälklagsbalken kommer också rakt på nästa pelare överförs lasten direkt på respektive pelare, se Figur 29. Beräkningar görs med ett

c/c avstånd på 1200 mm eftersom varannan pelare belastas helt av antingen takstol eller bjälklagsbalk. Den största lasten av taket eller bjälklaget kommer att väljas att räkna vidare på. Takstolarna och bjälklagsbalkarna ligger på tre stöd.



Figur 29 – Figuren visar en förenkling av husets stomme.

Dimensionerande last från tak

Säkerhetsklass 3

Egentyngden är $1,08 \text{ kN/m}$

Vindlast för tak är $0,53 \text{ kN/m}^2$

Snölast är $0,4 \text{ kN/m}^2$

$\psi_{o,vind} = 0,3$

$\psi_{o,snö} = 0,6$

$c/c_{innerpelare} = 1,2 \text{ m}$

Notera att vindlasten motverkar snett på taket, beräkningar på dess kraftkomposant, det vill säga den vertikala vindkraften. Observera att vindlasten är ett medelvärde mellan W_H och W_{FG} , och eftersom det är sadeltak ger medelvärdet oss ett resultat på säkra sidan.

Snö + vind + egentyngd

a) Snö som huvudlast

$$q_d = 1,0 \left(1,2 \cdot 1,08 + \left(1,5 \cdot 0,4 + 1,5 \cdot 0,3 \cdot \frac{0,53}{\cos(45)} \right) \cdot 1,2 \right) = 2,4 \text{ kN/m}$$

b) Vind som huvudlast

$$q_d = 1,0 \cdot \left(1,2 \cdot 1,08 + \left(1,5 \cdot 0,4 \cdot 0,6 + 1,5 \cdot \frac{0,53}{\cos(45)} \right) \cdot 1,2 \right) = 3 \text{ kN/m}$$

Den dimensionerande lasten blir vind som huvudlast: 3 kN/m .

Dimensionerande last på bjälklaget

Säkerhetsklass 2

Egentyngd: 0,048 kN/m

Nyttig last: 2,0 kN/m²

$\psi_{o,Nyttig\ last} = 0,7$

a) Nyttig last som huvudlast

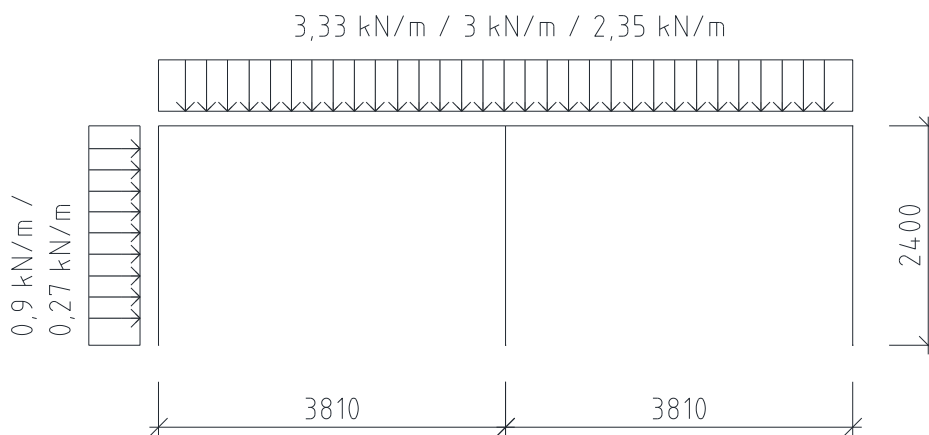
$$q_d = 0,91(1,2 \cdot 0,048 + 1,5 \cdot 2,0 \cdot 1,2) = 3,33 \text{ kN/m}$$

b) Nyttig last som övrig last där vind är huvudlast.

$$q_d = 0,91(1,2 \cdot 0,048 + 1,5 \cdot 2,0 \cdot 1,2 \cdot 0,7) = 2,35 \text{ kN/m}$$

De dimensionerande laster som kommer att räknas vidare på är olika lastfall från taket och bjälklaget som ligger på tre upplag, se Figur 30. De olika lastfallen är:

- Vindlast huvudlast: last från taket, 3,33 kN/m.
- Nyttig last huvudlast: last från bjälklaget, 3 kN/m.
- Nyttig last övrig last: last från bjälklaget, 2,35 kN/m.



Figur 30 – Figuren visar bjälklagsbalken över pelarna.

Husets stomlinje består av 3 linjer som bär upp taket och bjälklaget, se Bilaga 2 och Figur 29. Balken är kontinuerlig över pelarna. Mittenpelaren är precis i mitten och därför kan man tillämpa formler från Isaksson & Mårtensson (2010).

Stödreaktionerna för fasadpelarna:

a) Nyttig last huvudlast: $N_{Ed,f,a)} = 0,375 \cdot 3,33 \cdot 3,81 = 4,76 \text{ kN}$

b) Vindlast huvudlast: $N_{Ed,f,b)} = 0,375 \cdot 3 \cdot 3,81 = 4,28 \text{ kN}$

c) Nyttig last övrig last: $N_{Ed,f,c)} = 0,375 \cdot 2,35 \cdot 3,81 = 3,36 \text{ kN}$

Stödreaktionen för mittenpelaren:

$$a) \text{ Nyttig last huvudlast: } N_{Ed,m,a} = (0,625 \cdot 3,33 \cdot 3,81) \cdot 2 = 15,86 \text{ kN}$$

$$b) \text{ Vindlast huvudlast: } N_{Ed,m,b} = (0,625 \cdot 3 \cdot 3,81) \cdot 2 = 14,28 \text{ kN}$$

$$c) \text{ Nyttig last övrig last: } N_{Ed,m,c} = (0,625 \cdot 2,35 \cdot 3,81) \cdot 2 = 11,19 \text{ kN}$$

Vindlast på fasadpelaren:

Säkerhetsklass 1

Vindlast: 1 kN/m^2

c/c-avstånd pelare: 600mm

Längd på pelare: 2,4m

$$a) \text{ Vind huvudlast: } q_d = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,6 = 0,9 \text{ kN/m}$$

$$b) \text{ Vind övrig last: } q_d = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 0,3 = 0,27 \text{ kN/m}$$

Beräknar momentet på pelaren från vinden:

$$a) \text{ Vind huvudlast: } M_{Ed,max} = \frac{0,9 \cdot 2,4^2}{8} = 0,648 \text{ kNm}$$

$$b) \text{ Vind övrig last: } M_{Ed,max} = \frac{0,27 \cdot 2,4^2}{8} = 0,1944 \text{ kNm}$$

Tvärkraft:

$$a) \text{ Vind huvudlast: } V = \frac{0,9 \cdot 2,4}{2} = 1,08 \text{ kN}$$

$$b) \text{ Vind övrig last: } V = \frac{0,27 \cdot 2,4}{2} = 0,324 \text{ kN}$$

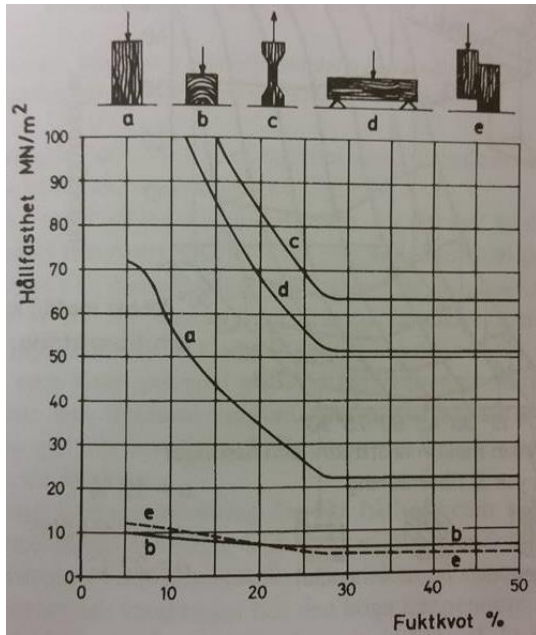
Träets egenskaper

Vatten kan lätt sugas upp kapillärt från ändträ i fiberriktningen. Fibermåtnadspunkten för trä ligger vid en fuktkvot mellan 28 och 30 %. Om fuktkvoten stiger ytterligare påverkas inte träets egenskaper som till exempel hållfasthet och fuktrörelser.

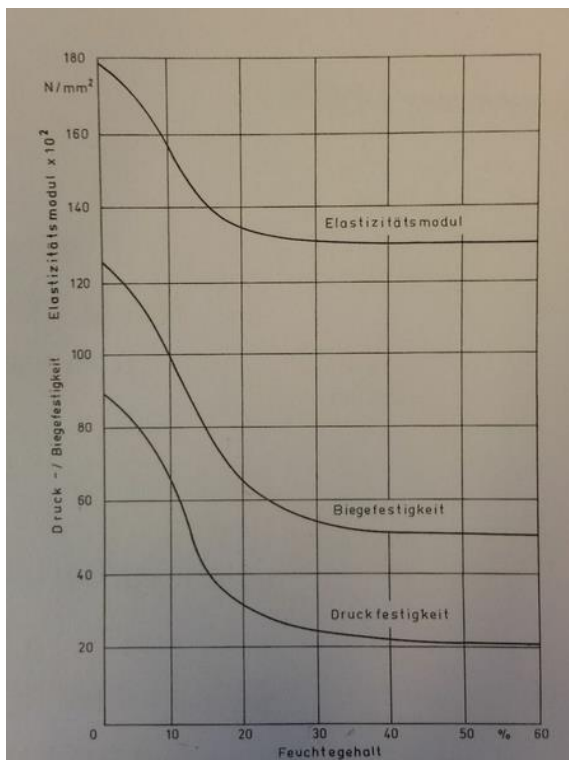
I Figur 31 kan man se hur hållfastheten ändras ju mer vatten träet innehåller från ett torrt tillstånd till mätnadspunkten på cirka 30 %. Trä innehåller oftast en fuktkvot på 12 % (Burström, 2007). Utifrån figuren kan man räkna ut hur mycket hållfastheten minskar. Eftersom fuktkvoten oftast ligger på 12 % och ökar till mätnadspunkten enligt Figur 31 förlorar träet sin hållfasthet till cirka 56 % i fiberriktningen, och vinkelrät mot fibrerna förlorar träet 51 % av sin hållfast.

Det finns ingen större skillnad mellan Figur 31 och Figur 32 när det gäller hållfastigheten parallellt fiberriktningen, men det finns en liten skillnad vinkelrät mot fibrerna. Men i examensarbetet har hållfasthetsvärdena beräknats utifrån Figur 31.

Bilaga 4 – Handberäkning



Figur 31 – Hållfastheten hos små, felfria provkroppar av trä vid olika belastningsfall och fuktkvoter. För virke med normala dimensioner och normala fel är hållfastheten endast 2/3 av figurens värden, (Burström, 2007).



Figur 32 - Övre kurvan visar elasticitetsmodulen i samband med fuktkvoten och de två nedre visar hållfastheten i samband med fuktkvoten (Niemz, 1993).

Kontroll av pelare vid olika lastfall

Beräkningar görs på klimatklass 1 och 3 eftersom det inte står vilken klimatklass som använts i konstruktionsritningarna. För klimatklass 1 beskrivs att fuktkvoten inte överstiger 12 %. Om fuktkvoten i träet uppnår fibermättnadspunkten sjunker hållfastheten med 56 % vid tryck i fiberriktningen, och 51 % för tryck som är vinkelrätt mot fiberriktningen. För klimatklass 3

beskrivs det att fuktkvoten överstiger 20 %. Om fuktkvoten i träet uppnår fibermättnadspunkten från en fuktkvot på 20 % innebär det att hållfastheten sjunker med 37 % vid tryck i fiberriktningen, och 26 % för tryck som är vinkelrätt mot fiberriktningen (Burström, 2007).

I Figur 32 kan man se elasticitetsmodulen som varierar över fuktkvoten i trä, för klimatklass 1 gäller att elasticitetsmodulen minskar med 16,1 % och för klimatklass 3 minskar den med 3,7 %.

Kontroll av tryckkraft – fasadpelare

Eftersom det inte står något om hållfasthet om pelarna antas det vanliga C24 för bärande träreglar, (BEIJER, 2014). Beräkning görs för klimatklass 1 och 3.

Materialvärden:

Klimatklass 3 och 1

Lasttyp M

$k_{mod} = 0,65$ (klimatklass 3)

$k_{mod} = 0,80$ (klimatklass 1)

Hållfasthetsklass C24

Längd 2,4m

Tvärsnitt 45x120

$\gamma_M = 1,3$

Pelarna är avstyvade mot knäckning i den veka riktningen

Beräkning för klimatklass 3:

$$f_{cd} = \frac{k_{mod} f_{ck}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 21}{1,3} = 10,5 \text{ MPa}$$

$$N_{c,Rd} = f_{cd} A k_c$$

$$\lambda = \frac{\beta L}{i} = \frac{1,0 \cdot 2,4}{\frac{0,12}{\sqrt{12}}} = 69,28$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69,28}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,175$$

$$k = 0,5(1 + 0,2(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,175 - 0,3) + 1,175^2) = 1,277$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,277 + \sqrt{1,277^2 - 1,175^2}} = 0,563$$

Bilaga 4 – Handberäkning

$$N_{c,Rd} = f_{cd} A k_c = 10,5 \cdot 10^3 \cdot 0,045 \cdot 0,120 \cdot 0,563 = 31,85 \text{ kN}$$

Med en pelare som är helt vattenmättad sjunker hållfastheten med 37 % för kk3 det vill säga:

$$N_{c,Rd,kk3} = 31,85 \cdot 0,63 = 20 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,f,a)} = 4,76, \quad N_{Ed,f,b)} = 4,28 \text{ kN}, \quad N_{Ed,f,c)} = 3,36 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,f} < N_{c,Rd} \rightarrow OK$$

Ifall man istället använder klimatklass 1 som har en fuktkvot i träet som inte överstiger 12 % minskar kapaciteten istället med 56 %, det leder till:

$$k_{mod} = 0,8$$

$$f_{cd} = \frac{0,8 \cdot 21}{1,3} = 12,9 \text{ MPa}$$

$$N_{c,Rd,kk1} = f_{cd} A k_c = 12,9 \cdot 10^3 \cdot 0,045 \cdot 0,120 \cdot 0,563 = 39,3 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd,kk1} = 39,3 \cdot 0,44 = 17,25 \text{ kN} > N_{Ed} \rightarrow OK$$

Kontroll av tryck – mittenpelare

Materialvärdena är samma som för fasadpelare fast med en annan dimension 45x95 mm.

Beräkning för klimatklass 3:

$$\lambda = \frac{\beta L}{i} = \frac{1,0 \cdot 2,4}{\frac{0,095}{\sqrt{12}}} = 87,514$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{87,514}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,484$$

$$k = 0,5(1 + 0,2(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,484 - 0,3) + 1,484^2) = 1,719$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,719 + \sqrt{1,719^2 - 1,484^2}} = 0,386$$

$$N_{c,Rd,kk3} = f_{cd} A k_c = 10,5 \cdot 10^3 \cdot 0,045 \cdot 0,095 \cdot 0,386 = 17,3 \text{ kN}$$

För trä som är helt vattenmättad sjunker hållfastheten med 37 % för tryck parallellt med fiberriktning ger:

$$N_{c,Rd,kk3} = 17,3 \cdot 0,63 = 10,9 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,m,a}) = 15,86 \text{ kN}, \quad N_{Ed,m,b}) = 14,28 \text{ kN}, \quad N_{Ed,m,c}) = 11,19 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,m} > N_{c,Rd} \rightarrow EJ \text{ OK}$$

Ifall man istället använder klimatklass 1 som har en fuktkvot i träet som inte överstiger 12 % minskar kapaciteten istället med 56 %, det leder till:

$$N_{c,Rd,kk1} = f_{cd} A k_c = 12,9 \cdot 10^3 \cdot 0,045 \cdot 0,095 \cdot 0,386 = 21,28 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd,kk1} = 21,28 \cdot 0,44 = 9,4 \text{ kN} < N_{Ed} \rightarrow EJ \text{ OK}$$

Kontroll av momentkapaciteten för fasadpelare för klimatklass 3

$$k_h = \min \left[\frac{150}{h} \rightarrow \frac{150}{120} = 1,25 \rightarrow k_h = 1,25 \right. \\ \left. 1,3 \right]$$

$$M_{Rd} = f_{md} W k_{crit}$$

$$f_{md} = \frac{k_{mod} f_{ck}}{\gamma_M} \cdot k_h = \frac{0,65 \cdot 21}{1,3} \cdot 1,25 = 13,125 \text{ MPa}$$

För k_{crit} gäller följande:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{för } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{för } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{för } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\text{Där } \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot l_{ef}} = \frac{0,78 \cdot 0,12^2 \cdot 7400 \cdot 10^6}{0,045 \cdot 2,16} = 855 \text{ MPa}$$

Där l_{ef} fås genom SS-EN 1995-1-1:2004, tabell 6.1.

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{21}{855}} = 0,1567 \rightarrow k_{crit} = 1,0$$

Momentkapacitet i den styva riktningen ger oss:

$$M_{Rd,kk3} = 13,125 \cdot \frac{0,045 \cdot 0,12^2}{6} = 1,4175 \text{ kNm}$$

Med en pelare som är helt vattenmättad sjunker hållfastheten med 26 % det vill säga, momentkapaciteten blir:

Bilaga 4 – Handberäkning

$$M_{Rd} = 1,4175 \cdot 0,74 = 1,05 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,a)} = 0,648 \text{ kNm}, \quad M_{Ed,b)} = 0,1944 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} < M_{Rd} \rightarrow OK$$

Ifall man istället använder klimatklass 1 resulterar kapaciteten istället i:

$$k_{mod} = 0,8$$

$$f_{md} = \frac{k_{mod} f_{ck}}{\gamma_M} \cdot k_h = \frac{0,8 \cdot 21}{1,3} \cdot 1,25 = 16 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd,kk1} = 16 \cdot \frac{0,045 \cdot 0,12^2}{6} = 1,728 \text{ kNm}$$

$$I \text{ vattenmättat tillstånd: } M_{Rd,kk1} = 1,728 \cdot 0,49 = 0,85 \text{ kNm} > M_{Ed} \rightarrow OK$$

Kontroll av tvärkraften

$$V_{Rd,kk3} = \frac{A \cdot f_{vd}}{1,5} = \frac{0,045 \cdot 0,120 \cdot \frac{0,65 \cdot 2,5 \cdot 10^3}{1,3}}{1,5} \cdot 0,49 = 2,2 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 0,54 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd} \rightarrow OK$$

Ifall man istället använder klimatklass 1 som har en fuktkvot i träet som inte överstiger 12 % minskar kapaciteten istället med 51 % leder det till:

$$k_{mod} = 0,8$$

$$V_{Rd,kk1} = \frac{A \cdot f_{vd}}{1,5} = \frac{0,045 \cdot 0,120 \cdot \frac{0,8 \cdot 2,5 \cdot 10^3}{1,3}}{1,5} \cdot 0,49 = 2,7 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd} \rightarrow OK$$

Kontroll av samtidigt tryck och böjmoment för fasadpelaren

Det är bara fasadpelaren som utsätts för böjmoment och tryck samtidigt. För följande formel används villkoret att $\lambda_{rel} > 0,3$ uppfylls.

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

1. Vind huvudlast (taklast):

$$\frac{0,648}{1,05} + \frac{4,28}{20} = 0,83 < 1,0 \rightarrow OK$$

2. Nyttig last är huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,1944}{1,05} + \frac{4,76}{20} = 0,42 < 1,0 \rightarrow OK$$

3. Nyttig last är övrig last och vind är huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,648}{1,05} + \frac{3,36}{20} = 0,79 < 1,0 \rightarrow OK$$

Ifall man istället använder klimatklass 1 som har en fuktkvot i träet som inte överstiger 12 % minskar kapaciteten istället med 56 %, det leder till:

1. Vind huvudlast (taklast):

$$\frac{0,648}{0,85} + \frac{4,28}{17,25} = 1,01 > 1,0 \text{ PÅ GRÄNSEN (EJ OK)}$$

2. Nyttig last huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,1944}{0,85} + \frac{4,76}{17,25} = 0,5 < 1,0 \rightarrow OK$$

3. Nyttig last är övrig last och vind är huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,648}{0,85} + \frac{3,36}{17,25} = 0,96 < 1,0 \rightarrow OK$$

Kontroll av vad som händer när mittenpelaren går sönder

Eftersom tidigare beräkningar visat att mittenpelaren inte klarar av lasten från $N_{Ed,m}$ leder det till att lasten kommer gå ner 100 % på fasadpelarna. Följande beräkningar tar hänsyn till detta:

Reaktionskraften på fasadpelare:

a) Vind huvudlast: $N_{Ed,f} = \frac{3 \cdot 3,81 \cdot 2}{2} = 11,43 \text{ kN}$

b) Nyttig last huvudlast: $N_{Ed,f} = \frac{3,33 \cdot 3,81 \cdot 2}{2} = 12,69 \text{ kN}$

c) Nyttig last övrig last $N_{Ed,f} = \frac{2,35 \cdot 3,81 \cdot 2}{2} = 8,95 \text{ kN}$

Kontroll av böjmoment och tryck

1. Vind huvudlast (taklast):

$$\frac{0,648}{1,05} + \frac{11,43}{20} = 1,2 > 1,0 \rightarrow EJ OK$$

2. Nyttig last huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,1944}{1,05} + \frac{12,69}{20} = 0,82 < 1,0 \rightarrow OK$$

3. Nyttig last är övrig last och vind är huvudlast (bjälklagslast):

Bilaga 4 – Handberäkning

$$\frac{0,648}{1,05} + \frac{8,95}{20} = 1,06 > 1,0 \rightarrow EJ OK$$

Ifall man istället använder klimatclass 1 som har en fuktkvot i träet som inte överstiger 12 % minskar kapaciteten istället med 56 %, det leder till:

Kontroll av böjmoment och tryck

4. Vind huvudlast:

$$\frac{0,648}{0,85} + \frac{11,43}{17,25} = 1,42 > 1,0 \rightarrow EJ OK$$

5. Nyttig last är huvudlast:

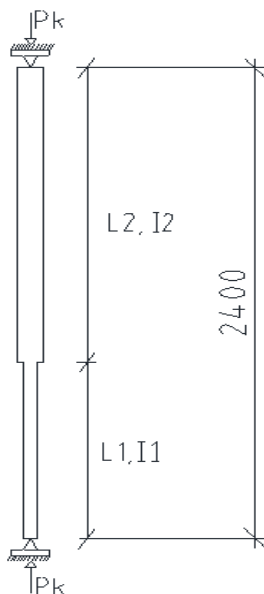
$$\frac{0,1944}{0,85} + \frac{12,69}{17,25} = 0,96 < 1,0 \rightarrow OK$$

6. Nyttig last är övrig last och vind är huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,648}{0,85} + \frac{8,95}{17,25} = 1,33 > 1,0 \rightarrow EJ OK$$

Kontroll av kapacitet vid en vattenmättnadsnivå på 1,5 meter i pelaren.

En undersökning för pelaren görs när träet är vattenmättat vid en vattennivå på cirka 1,5 meter. Kapaciteten för samtidigt tryck och böjmoment beräknas. För att göra det måste vissa antaganden göras. Eftersom trä vid vattenmättat tillstånd förlorar en del av sin styvhet kan det för beräkningens skull antas att det är elasticitetsmodulen som reduceras. Men i beräkningen vill man ha samma elasticitetsmodul vilket innebär att tvärsnittet reduceras istället. För klimatclass 1 reduceras tvärsnittet med 16,1 % och för klimatclass 3 reduceras den med 3,7 %. För Figur 33 nedan ser man hur pelaren kommer att se ut.



Figur 33 - Figuren visar motsvarande pelare vid ett vattenmättat tvärsnitt därav den avsmalnande pelaren som förlorar en del av tvärsnittet.

Det som räknas fram från formeln som är tagen från (Pettersson, 1971) är P_k som tar hänsyn till knäckning, vidare räknas P_k in i tryckkapacitet och momentkapacitet nedan.

$$\text{Formeln för } P_k = \gamma \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_2}{L^2}$$

Där γ fås ur tabell (Figur 34) som tar hänsyn till sambandet mellan de olika tröghetsmomenten, I_1 och I_2 samt de olika längderna L_1 och L_2 .

γ fås genom att ta sambandet mellan $\frac{I_1}{I_2}$ och $\frac{L_2}{L}$.

Vattennivå på 1,5 meter

Vid en vattenmättnadsnivå på cirka 1,5 meter av pelaren ger γ för klimatklass 1 ett värde på cirka 0,86 och för klimatklass 3 ger γ ett värde på cirka 0,97.

Vattennivå på 1,0 meter

Vid en vattenmättnadsnivå på cirka 1,0 meter av pelaren ger γ för klimatklass 1 ett värde på cirka 0,89 och för klimatklass 3 ger γ ett värde på cirka 0,98.

$\frac{L_2}{L}$	$\frac{I_1}{I_2}$	Fall 1 $P_k = \gamma \frac{\pi^2 EI_2}{L^2}$						Fall 2 $P_k = \gamma \frac{\pi^2 EI_2}{L^2}$						Fall 3 $P_k = \gamma \frac{\pi^2 EI_2}{L^2}$					
		$P_2/P =$						$P_2/P =$						$P_2/P =$					
		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
0,3	0,05	0,025	0,031	0,041	0,061	0,12	2,78	0,037	0,065	0,076	0,091	0,113	0,145	0,098	0,122	0,163	0,244	0,49	2,83
	0,1	0,047	0,059	0,078	0,117	0,23	2,78	0,113	0,130	0,151	0,181	0,222	0,283	0,187	0,234	0,311	0,465	0,92	2,87
	0,2	0,088	0,11	0,14	0,22	0,42	2,78	0,22	0,26	0,30	0,35	0,43	0,54	0,34	0,43	0,56	0,83	1,53	2,97
	0,4	0,15	0,19	0,24	0,36	0,70	2,78	0,44	0,50	0,57	0,67	0,81	1,00	0,58	0,71	0,92	1,30	2,06	3,15
	0,6	0,19	0,24	0,32	0,46	0,86	2,78	0,64	0,72	0,83	0,96	1,14	1,38	0,75	0,91	1,16	1,59	2,33	3,33
	0,8	0,23	0,28	0,37	0,53	0,97	2,78	0,82	0,93	1,06	1,22	1,44	1,71	0,88	1,07	1,35	1,80	2,53	3,50
	1	0,25	0,31	0,41	0,59	1,04	2,78	1,00	1,12	1,27	1,46	1,69	1,98	1,00	1,20	1,50	1,97	2,70	3,66
0,4	0,05	0,033	0,041	0,054	0,081	0,16	1,56	0,066	0,075	0,088	0,106	0,131	0,170	0,130	0,162	0,216	0,323	0,85	1,60
	0,1	0,060	0,075	0,10	0,15	0,30	1,56	0,130	0,148	0,173	0,207	0,255	0,329	0,24	0,30	0,40	0,58	1,04	1,65
	0,2	0,11	0,13	0,18	0,26	0,50	1,56	0,25	0,29	0,33	0,40	0,49	0,62	0,41	0,51	0,65	0,90	1,31	1,73
	0,4	0,17	0,21	0,28	0,40	0,70	1,56	0,48	0,54	0,62	0,73	0,88	1,08	0,63	0,75	0,93	1,18	1,52	1,88
	0,6	0,21	0,26	0,33	0,47	0,78	1,56	0,68	0,76	0,87	1,01	1,19	1,43	0,78	0,91	1,10	1,35	1,68	2,03
	0,8	0,23	0,29	0,37	0,51	0,82	1,56	0,85	0,95	1,08	1,23	1,43	1,69	0,89	1,04	1,24	1,50	1,82	2,17
	1	0,25	0,31	0,39	0,54	0,85	1,56	1,00	1,11	1,25	1,42	1,63	1,90	1,00	1,16	1,36	1,63	1,95	2,30
0,5	0,05	0,045	0,057	0,075	0,11	0,22	1,00	0,082	0,094	0,111	0,135	0,171	0,231	0,179	0,223	0,296	0,44	0,76	1,04
	0,1	0,083	0,10	0,14	0,20	0,38	1,00	0,159	0,183	0,215	0,261	0,328	0,439	0,31	0,38	0,49	0,67	0,90	1,08
	0,2	0,14	0,17	0,22	0,31	0,54	1,00	0,30	0,35	0,41	0,49	0,61	0,79	0,48	0,57	0,68	0,83	1,00	1,16
	0,4	0,19	0,24	0,30	0,41	0,63	1,00	0,55	0,62	0,72	0,85	1,02	1,28	0,66	0,75	0,87	1,00	1,15	1,30
	0,6	0,22	0,27	0,34	0,45	0,65	1,00	0,74	0,83	0,95	1,10	1,30	1,58	0,79	0,88	1,00	1,13	1,28	1,43
	0,8	0,24	0,29	0,36	0,47	0,67	1,00	0,89	0,99	1,12	1,28	1,49	1,77	0,90	1,00	1,12	1,26	1,40	1,55
	1	0,25	0,30	0,37	0,48	0,67	1,00	1,00	1,11	1,25	1,41	1,62	1,89	1,00	1,11	1,23	1,37	1,52	1,67
0,6	0,05	0,068	0,083	0,11	0,16	0,31	0,70	0,111	0,129	0,154	0,192	0,253	0,366	0,26	0,31	0,40	0,52	0,65	0,74
	0,1	0,12	0,14	0,19	0,26	0,44	0,70	0,21	0,25	0,29	0,36	0,47	0,67	0,39	0,46	0,53	0,62	0,70	0,78
	0,2	0,17	0,21	0,26	0,35	0,50	0,70	0,39	0,45	0,53	0,65	0,82	1,11	0,52	0,58	0,64	0,71	0,78	0,85
	0,4	0,22	0,26	0,31	0,40	0,52	0,70	0,65	0,74	0,86	1,02	1,23	1,53	0,67	0,72	0,79	0,85	0,92	0,99
	0,6	0,24	0,28	0,33	0,41	0,53	0,70	0,82	0,92	1,05	1,22	1,43	1,70	0,79	0,85	0,91	0,98	1,05	1,12
	0,8	0,25	0,29	0,34	0,42	0,53	0,70	0,93	1,03	1,17	1,33	1,53	1,79	0,90	0,96	1,03	1,09	1,16	1,23
	1	0,25	0,29	0,35	0,42	0,54	0,70	1,00	1,11	1,24	1,40	1,60	1,83	1,00	1,06	1,13	1,20	1,26	1,33

Figur 34 - Tabell för att få fram γ , (Petterson, 1971).

Tryckkapacitet för fasadpelare vid cirka 1,5 meters vattennivå för klimatklass 1

Tryckkapaciteten för pelaren blir som tidigare beräkningar men i detta fall är formeln för:

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{ck}}{P_k}}$$

Där:

$$P_k = 0,86 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 7400 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,045 \cdot 0,12^3}{12}}{2,4^2} = 70,6 \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$ räknas enligt tidigare beräkningar för normalkraftskapacitet.

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{0,045 \cdot 0,12 \cdot 21 \cdot 10^3}{70,6}} = 1,267$$

$$k = 0,5(1 + 0,2(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,267 - 0,3) + 1,267^2) = 1,39$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,39 + \sqrt{1,39^2 - 1,267^2}} = 0,5$$

$$N_{c,Rd,kk1} = f_{cd} A k_c = 12,9 \cdot 10^3 \cdot 0,045 \cdot 0,12 \cdot 0,5 = 34,9 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,f,a)} = 4,76 \quad N_{Ed,f,b)} = 4,28 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,f} < N_{c,Rd,kk1} \rightarrow \text{OK}$$

Ifall man istället använder klimatclass 3 resulterar kapaciteten istället till:

$$P_k = 79,7 \text{ kN}$$

$$k_c = 0,55$$

$$N_{c,Rd,kk3} = f_{cd} A k_c = 10,5 \cdot 10^3 \cdot 0,045 \cdot 0,12 \cdot 0,55 = 31,05 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,f} < N_{c,Rd,kk3} \rightarrow \text{OK}$$

Tryckkapacitet för mittenpelare vid cirka 1,5 meters vattennivå för klimatclass 1

P_k räknas på samma räkneexempel som för fasadpelare, därför blir $N_{c,Rd,kk3}$ följande:

$$P_k = 0,97 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 7400 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,045 \cdot 0,095^3}{12}}{2,4^2} = 35 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{0,045 \cdot 0,095 \cdot 21 \cdot 10^3}{35}} = 1,6$$

$$k = 0,5(1 + 0,2(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,6 - 0,3) + 1,6^2) = 1,91$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,91 + \sqrt{1,91^2 - 1,6^2}} = 0,338$$

$$N_{c,Rd,kk1} = f_{cd} A k_c = 12,9 \cdot 10^3 \cdot 0,045 \cdot 0,095 \cdot 0,338 = 18,6 \text{ kN}$$

Bilaga 4 – Handberäkning

$$N_{Ed,m,a}) = 15,86kN, \quad N_{Ed,m,b}) = 11,19 kN$$

$$N_{Ed,m} < N_{c,Rd,kk1} \rightarrow \mathbf{OK}$$

Ifall man istället använder klimatklass 3 resulterar kapaciteten istället i:

$$P_k = 39,54 kN$$

$$k_c = 0,379$$

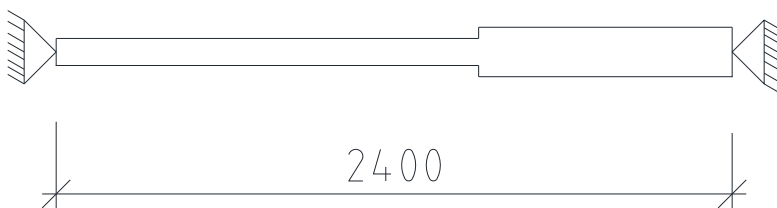
$$N_{c,Rd,kk3} = f_{cd} A k_c = 10,5 \cdot 10^3 \cdot 0,045 \cdot 0,095 \cdot 0,379 = 17 kN$$

$$N_{Ed,m} > N_{c,Rd,kk3} \rightarrow \mathbf{OK}$$

Momentkapacitet för fasadpelare vid cirka 1,5 meters vattennivå för klimatclass 1

För momentkapacitet gäller samma räkneexempel som tidigare beräkningar. Men eftersom $k_{crit} = 1$ i förra beräkningen av momentkapacitet antas det här med. Motivering för det är att pelarna är avstyvade i vek riktning.

En förenkling för att räkna ut momentkapacitet vid 1,5 meter är att man beräknar momentkraften vid det svagaste snittet, i detta fall är det i mitten eftersom vattennivån har stigit mer än hälften av träregeln, se Figur 35.



Figur 35 - Träregeln med minskat tvärsnitt som skall motsvara den blöta delen, det görs för att förenkla beräkningen.

Momentkapaciteten i mitten, i styva riktningen, för klimatclass 1 är:

$$M_{Rd,kk1} = 16 \cdot \frac{0,045 \cdot 0,12^2}{6} \cdot 0,49 = 0,846$$

Momentkapaciteten i mitten, i styva riktningen, för klimatclass 3 är:

$$M_{Rd,kk3} = 13,125 \cdot \frac{0,045 \cdot 0,12^2}{6} \cdot 0,74 = 1,05$$

$$M_{Rd,kk3} > M_{Ed,a), M_{Ed,b)} \rightarrow OK$$

Kontroll av fasadpelare vid samtidigt tryck och böjmoment då mittenpelare knäcks vid cirka 1,5 meters vattennivå

Eftersom mittenpelaren kommer knäckas innebär det att lasten leds vidare till fasadpelarna istället, beräkningar på detta görs enligt följande:

Reaktionskraften på fasadpelare:

a) Vind huvudlast: $N_{Ed,f} = \frac{3 \cdot 3,81 \cdot 2}{2} = 11,43 \text{ kN}$

b) Nyttig last huvudlast: $N_{Ed,f} = \frac{3,33 \cdot 3,81 \cdot 2}{2} = 12,69 \text{ kN}$

c) Nyttig last är övrig last och vind är huvudlast (bjälklagslast): $N_{Ed,f} = \frac{2,35 \cdot 3,81 \cdot 2}{2} = 8,95 \text{ kN}$

Klimatclass 1

1. Vind huvudlast (taklast):

$$\frac{0,648}{0,846} + \frac{11,43}{34,9} = 1,09 > 1,0 \rightarrow EJ OK$$

2. Nyttig last huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,1944}{0,846} + \frac{12,69}{34,9} = 0,59 < 1,0 \rightarrow OK$$

3. Nyttig last övrig last (bjälklagslast):

$$\frac{0,648}{0,846} + \frac{8,95}{34,9} = 1,02 > 1,0 \rightarrow PÅ GRÄNSEN, (EJ OK)$$

Ifall man istället använder klimatclass 3 resulterar kapaciteten istället till:

4. Vind huvudlast (taklast):

$$\frac{0,648}{1,05} + \frac{11,43}{31,05} = 0,98 < 1,0 \rightarrow OK$$

5. Nyttig last är huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,1944}{1,05} + \frac{12,69}{31,05} = 0,59 < 1,0 \rightarrow OK$$

6. Nyttig last övrig last (bjälklagslast):

$$\frac{0,648}{1,05} + \frac{8,95}{31,05} = 0,91 < 1,0 \rightarrow OK$$

Kontroll av kapacitet vid en vattenmättnadsnivå på 1,0 meter i pelaren.

Eftersom huset rasar vid en vattennivå på cirka 1,5 meter för klimatclass 1, kontrolleras det ifall huset tål en vattennivå på cirka 1 meter.

Bilaga 4 – Handberäkning

Beräkningsexemplen görs som ovan fast i en mycket kortfattad version i Tabell 5.

Tabell 5 – Visar resultaten över tryckkapacitet och momentkapacitet.

Fasadpelare klimatklass 1	
$\gamma = 0,89$	
P_k	73,126 kN
λ_{rel}	1,245
k	1,369
k_c	0,51
N_{Rd}	35,88
M_{Rd}	Blött: 1,32 kNm; Torrt: 1,728 kNm
Kommentar	
Momentkapaciteten beräknas på de två svagaste snitten: i mitten och vid 1 meter där vattennivån har nåtts. Momentkapaciteten i mitten är träregelell torr det vill säga momentkapaciteten blir enligt tidigare beräkningar: 1,728 kNm Vid 1 meter (blött tillstånd): 34,9 kNm	
Fasadpelare klimatklass 3	
$\gamma = 0,98$	
P_k	80,52
λ_{rel}	1,186
k	1,29
k_c	0,725
N_{Rd}	41,13
M_{Rd}	Blött: 1,26 kNm; Torrt: 1,417 kNm

Momentet i mitten är sedan tidigare beräknat, men för att beräkna momentet vid 1 meter används formeln:

$$M = \frac{qLx}{2} - \frac{qx^2}{2}$$

Där:

$$q_{vind \text{ huvudlast}} = 0,9 \text{ kN/m}$$

$$q_{vind \text{ övrig last}} = 0,27 \text{ kN/m}$$

Moment vid 1 meter: *vind huvudlast*

$$M = \frac{0,9 \cdot 2,4 \cdot 1,0}{2} - \frac{0,9 \cdot 1,0^2}{2} = 0,63 \text{ kNm}$$

Moment vid 1 meter: *vind övrig last*

$$M = \frac{0,27 \cdot 2,4 \cdot 1,0}{2} - \frac{0,27 \cdot 1,0^2}{2} = 0,189 \text{ kNm}$$

Kontroll av fasadpelare vid samtidigt tryck och böjmoment vid cirka 1,0 meters vattennivå

Moment i mitten

Klimatklass 1

1. Vind huvudlast (taklast):

$$\frac{0,648}{1,728} + \frac{11,43}{35,88} = 0,69 > 1,0 \rightarrow OK$$

2. Nyttig last huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,1944}{1,728} + \frac{12,69}{35,88} = 0,47 < 1,0 \rightarrow OK$$

3. Nyttig last övrig last (bjälklagslast):

$$\frac{0,648}{1,728} + \frac{8,95}{35,88} = 0,624 > 1,0 \rightarrow OK$$

Klimatklass 3

4. Vind huvudlast (taklast):

$$\frac{0,648}{1,417} + \frac{11,43}{41,13} = 0,735 > 1,0 \rightarrow OK$$

5. Nyttig last är huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,1944}{1,417} + \frac{12,69}{41,13} = 0,445 > 1,0 \rightarrow OK$$

6. Nyttig last övrig last (bjälklagslast):

$$\frac{0,648}{1,417} + \frac{8,95}{41,13} = 0,675 > 1,0 \rightarrow OK$$

Moment vid 1 meter

Klimatklass 1

1. Vind huvudlast (taklast):

$$\frac{0,63}{1,32} + \frac{11,43}{35,88} = 0,79 > 1,0 \rightarrow OK$$

2. Nyttig last huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,189}{1,32} + \frac{12,69}{35,88} = 0,497 < 1,0 \rightarrow OK$$

3. Nyttig last övrig last (bjälklagslast):

$$\frac{0,63}{1,32} + \frac{8,95}{35,88} = 0,726 > 1,0 \rightarrow OK$$

Klimatklass 3

4. Vind huvudlast (taklast):

$$\frac{0,63}{1,26} + \frac{11,43}{41,13} = 0,78 > 1,0 \rightarrow OK$$

5. Nyttig last är huvudlast (bjälklagslast):

$$\frac{0,189}{1,26} + \frac{12,69}{41,13} = 0,458 > 1,0 \rightarrow OK$$

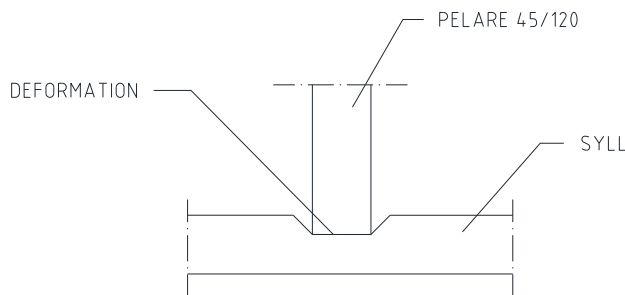
6. Nyttig last övrig last (bjälklagslast):

$$\frac{0,63}{1,26} + \frac{8,95}{41,13} = 0,717 > 1,0 \rightarrow OK$$

Mest påfrestning i momentet vid 1 meter men huset klarar sig.

Deformation i syll

När syllen blir vattenmättad förlorar även en del av sin hållfasthet och styvhet, se Figur 36. Det som beräknas är hur stor deformation på syllen som kraften från pelarna ger.



Figur 36 - Figuren visar deformationen i syll.

Förutsättningar och antaganden:

$$E_{90} = 370 \text{ MPa}$$

Vattennivån är så hög att endast syllen vattenmättas och inte pelarna.

Höjd på tvärsnittet för syllen under pelare: 45 mm

Formeln som används är Hookes lag:

$$\sigma = E\varepsilon$$

Där E-modulen är vinkelrät mot fiberriktningen. I vattenmättad tillstånd förlorar E-modulen sin styvhet till 16,1 % för klimatklass 1 och 3,7% för klimatklass 3, men det värsta fallet välj, det vill säga klimatklass 1. E-modulen blir då: $370 \cdot 0,839 = 310,4 \text{ MPa}$.

De laster som används är de största laster från fasadpelare och mittenpelare, det vill säga 4,76 respektive 15,86 kN.

$$\sigma_f = \frac{N}{A} = \frac{4,76 \cdot 10^{-3}}{0,045 \cdot 0,12} = 0,88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{N}{A} = \frac{15,86 \cdot 10^{-3}}{0,045 \cdot 0,095} = 3,7 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_f = \frac{\sigma_f}{E_{90}} = \frac{0,88}{310,4} = 2,835 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_m = \frac{\sigma_m}{E_{90}} = \frac{3,7}{310,4} = 0,012$$

Deformation för syll under fasadpelare:

$$45 \cdot 2,835 \cdot 10^{-3} = 0,127 \text{ mm}$$

Deformation för syll under mittenpelare:

$$45 \cdot 0,012 \cdot 10^{-3} = 0,536 \text{ mm}$$

Uttorkningstid för träregel

Antaganden: Trä skall torka från en relativ fuktighet från 100 % (vått tillstånd) till 80 %. Tjockleken på regeln är 45 mm och torkar dubbelsidigt. Omgivande temperatur och relativa fuktigheten är 10 grader respektive 50 %.

Formeln för torkningstiden används enligt följande (Burström, 2007):

$$t = \frac{d^2 \cdot \Delta w}{k \cdot \delta_{v,yta} \cdot (v_{i,med} - v_u)}$$

Där:

$d = 45 \text{ mm}$ - är tjockleken vid dubbelsidig uttorkning

$\Delta w = 50$ - är den sänkning av fukthalten som skall åstadkommas [kg/m^3]

$k = 8$ - är en konstant som beror på ånghaltsfördelningens form (= 8 eftersom det är en parabelformad fördelning)

$\delta_{v,yta} = 0,2 \cdot 10^{-6}$ är ångpermeabiliteten vid ytan [kg/m^3]

$v_{i,med} = 0,01552$ är medelånghalten i centrum under uttorkningstiden [kg/m^3]

$v_u = 0,00864$ är ånghalten i omgivande klimat [kg/m^3]

$$t = \frac{d^2 \cdot \Delta w}{k \cdot \delta_{v,yta} \cdot (v_{i,med} - v_u)} = \frac{0,045^2 \cdot 50}{8 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot (0,01552 - 0,00864) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 7} = 15 \text{ veckor}$$

Bilaga 4 – Handberäkning

Uttorkningstiden för regeln är 15 veckor.

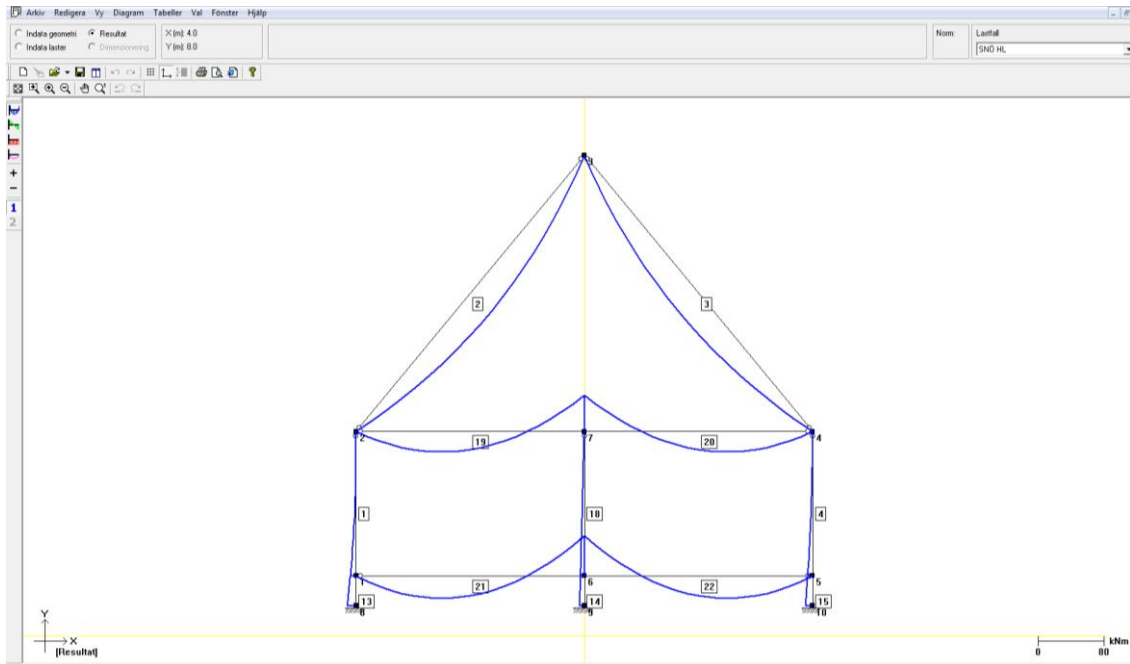
Fall 2

I Figur 37 och Figur 38 kan man se resultatet av programmet Ramanalys 5.3 (Strusoft, 2014) för 1,5-plansvillan, bilderna visar bara momentdiagram över figurerna.

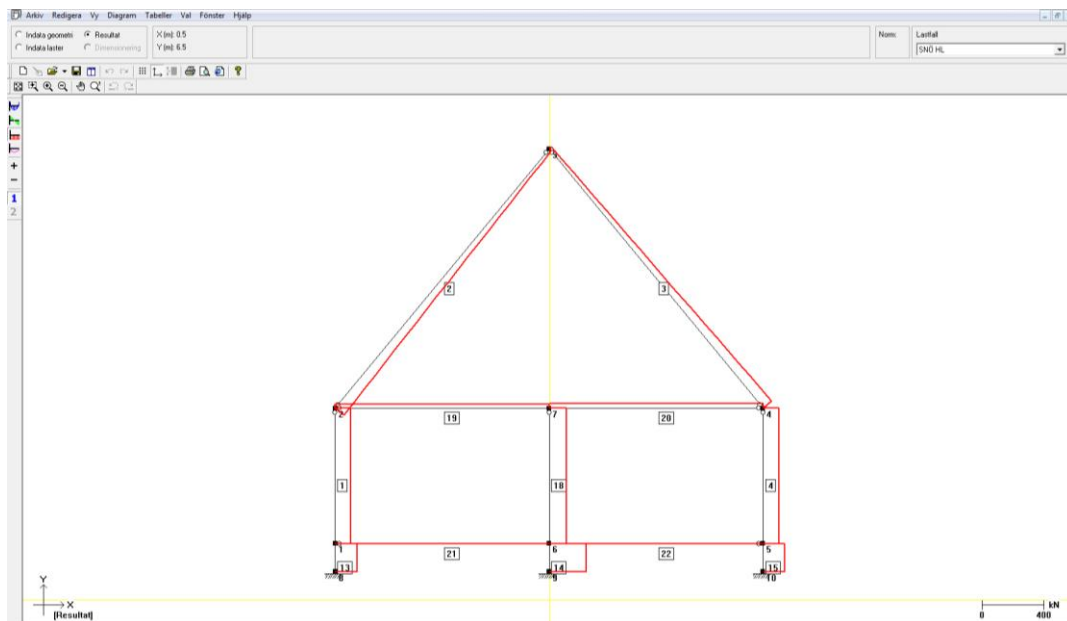
Beräkningarna är utförda i Excel (Microsoft, 2015), i Tabell 6 kan man se varje alla värden som använts, egentyngheten är gynnsam och multiplicerades med 0,9. Även ett fall gjordes där endast nyttig last och egentyngheten beräknades vilket blir det absolut lägsta värdet på husets vikt. Dessa värden kommer sedan att jämföras med lyftkrafterna.

Tabell 6 – Visar tyngden för huset vid olika lastfall då egentyngheten är gynnsam. ontrollen som använts är statisk jämvikt.

Karakteristiska värden	[kN]			reduceringsfaktor
Egentyngd (gynnsam)	345,342		snö	0,6
<i>Varav:</i>			vind	0,3
Nedre bjälklag	18,642		nyttig last	0,7
Tak	207		vatten	0,9
Övre bjälklag	5,4			
Tegelfasad	111,3			
Träreglar	3			
Tot. egentyngd	345,342			
<i>Variabellaster</i>				
Snölast	35,88			
Vindlast tak	67,23			
Nyttig last	179,4			
Lastfall				
Snö - Huvudlast	583,2513			
Vind - Huvudlast	632,3148			
Nyttig last - Huvudlast	642,4533			
Endast egentyngd + nyttig last är huvudlast	579,9078			



Figur 37 – Momentfördelning över 1,5-plansvillan.



Figur 38 – Normalkraftsfördelning över 1,5-plansvillan.

Med cellplast under huset då översvämning sker medför cellplasten till en karakteristisk lyftkraft på:

$$F = V\rho G = 11,5 \cdot 7,8 \cdot 0,25 \cdot 1000 \cdot 9,81 = -220 \text{ kN}$$

Där:

11,5 = längden på huset

7,8 = bredden på huset

Bilaga 4 – Handberäkning

0,25 = tjockleken på cellplasten

I och med detta kan man direkt se att den inte utför någon så pass stor lyftkraft att huset lyfts. Om man istället antar att huset är helt vattentätt och vattnet stiger med 1,5 meter ovanför markytan kommer huset att lyftas med en karakteristisk lyftkraft på:

$$F = V\rho G = 11,5 \cdot 7,8 \cdot 1,7 \cdot 1000 \cdot 9,81 = -1496 \text{ kN}$$

Observera att 1,7 m involverar husgrunden.

Den karakteristiska lyftkraften visar direkt att huset kommer lyftas.

Räknar man på hur stor den dimensionerande lyftkraften är, där vattentrycket är huvudlast och man endast tar hänsyn till nyttig last och egentyngd, vilket ger det största värdet. Det ger oss ett värde på -1744 kN.

Beräkning av hur mycket vattennivån får stiga som högst innan huset lyfts:

Husets minsta vikt: 579,9 kN enligt Tabell 6.

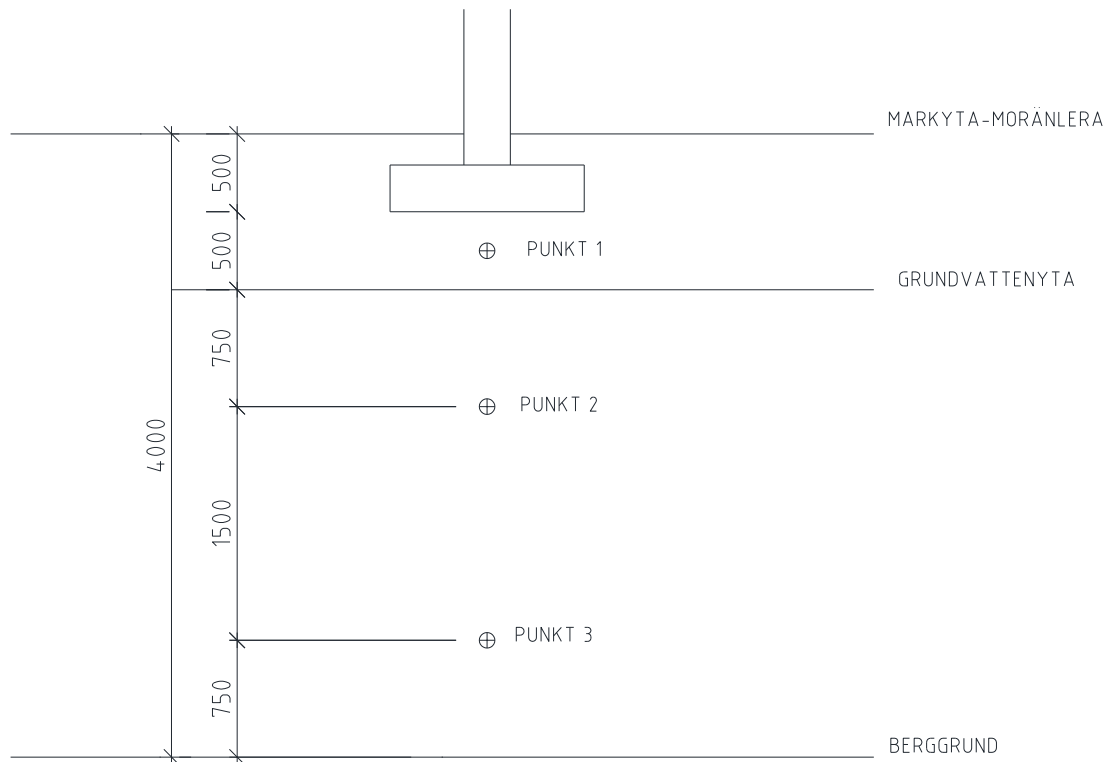
$$11,5 \cdot 7,8 \cdot X \cdot 1000 \cdot 9,81 = 579,9 \text{ kN}$$

$X = 0,66$ meter, med husgrunden involverad som är 20 cm hög.

Det får alltså ske en översvämning på 0,46 meter ovanför markytan tills huset börjar lyfta.

Sättning

Husets fundament ser ut som Figur 39 nedan och vilar på moränlera. Grundvattenytan ligger en halv meter under fundamentet och beräknas stiga till markytan.



Figur 39 - Visar betongfundamentet som vilar på moränlera, samt visar vilka punkter som det räknas på.

Ett antagande görs att spänningen och tyngden från huset inte påverkas av att grundvattenytan stiger. Det innebär att tyngden före och efter grundvattenytans stigning inte förändras, det medför att beräkningen tar endast hänsyn till skillnaden i porvattentycket. Beräkning av husets sättning görs enligt Tabell 7 på följande sätt:

Tabell 7 – Visar spänningen och porvattentrycket före och efter översvämning i de olika punkterna.

Före			Efter		
	σ_0	u	σ_1	u	$\Delta\sigma$
Punkt 1	0	- 2.5	0	+7,5	- 10
Punkt 2	0	+7.5	0	+17,5	- 10
Punkt 3	0	+22,5	0	32,5	- 10

$$\delta = \Delta Z \sum_{i=1}^3 \frac{\Delta\sigma}{M_0} \quad [\text{m}] \quad (\text{Alén, Dahlblom \& Sällfors, 2013})$$

Där ΔZ är jordtjockleken för punkten och M_0 är ödometermodulen som är cirka 6000 kPa (Alén, Dahlblom & Sällfors, 2013).

Bilaga 4 – Handberäkning

$$\delta = 0,5 \cdot \left(-\frac{10}{6000}\right) + 1,5 \cdot \left(-\frac{10}{6000}\right) + 1,5 \cdot \left(-\frac{10}{6000}\right) = -5,8 \text{ mm}$$

Detta betyder att huset lyfts cirka 6 mm.

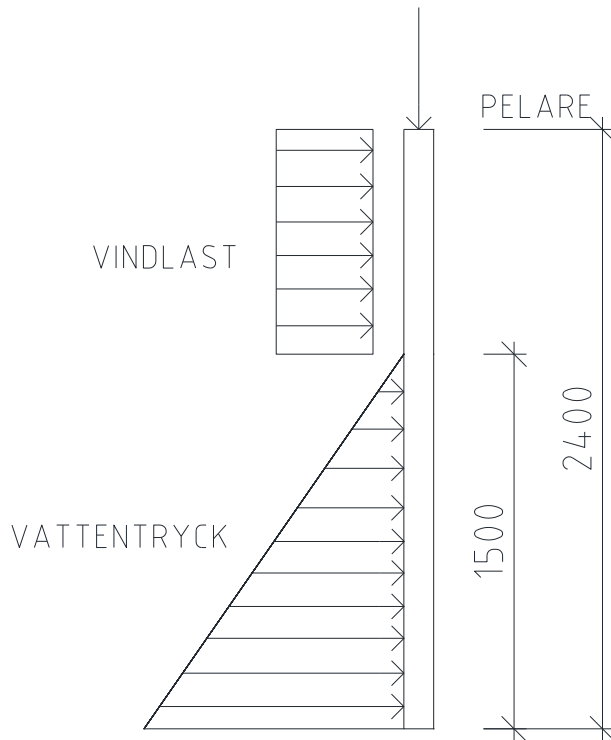
Effektiv bärförmåga

En kontroll av effektivbärförmåga på jorden gjordes med hjälp av effektiv bärförmåga formeln:

$$q_f = c N_c s_c d_c i_c + q N_q s_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma' b N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (\text{Alén, Dahlblom \& Sällfors, 2013})$$

Vid korttids belastningar så blir den inre friktionsvinkeln lika med noll, det medför att $N_\gamma = 0$. Det innebär att grundvattenytan inte påverkar den effektiva bärförmågan på jorden.

Fall 3



Figur 40 - Visar pelaren som utsätts för vindkraft och vattentryck.

Vindlasten och normalkraften är sedan tidigare kända. Kraften för vattentrycket är:

$$F = \rho gh$$

I detta fall är höjden 1,5 meter (se Figur 40) och c/c avståndet på 0,6m det vill säga, kraften längst ner på pelaren blir:

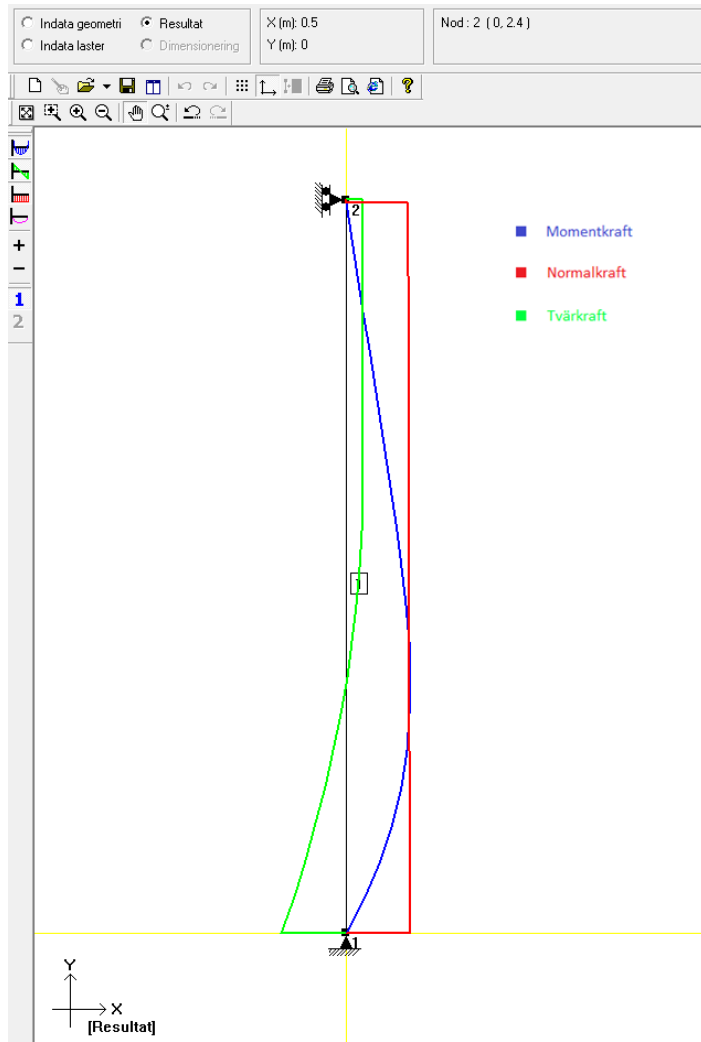
$$F = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot 0,6 = 8,829 \text{ kN}$$

Men trapetslasten blir:

$$F = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,6 = 5,89 \text{ kN/m}$$

Något som inte finns med i Eurokod är reduceringsfaktor för vatten, en reduceringsfaktor på 0,9 antas eftersom snö har en reduceringsfaktor på 0,8 när $S_k > 3 \text{ kN/m}^2$ och vatten väger mycket mer. Beräkningarna för fasadpelare görs i Ramanalys 5.3 (Strusoft, 2014). Momentdiagram, normalkrafts diagram och tvärkrafts diagram kan man se i Figur 41.

Bilaga 4 – Handberäkning



Figur 41 – Figuren visar momentkraft, normalkraft och tvärkraft i samma figur för en vattennivå på 1,5 meter.

Resultatet av ramanalysen redovisas i Tabell 8 nedan:

Tabell 8 – Visar hur stor kraft träreglarna utsätts för i olika lastfall.

Lastfall	Max moment [kNm]	Tvärkraft [kN]	Normalkraft [kN]
Vattentryck huvudlast	1,91	5,29	3,45
Vindlast huvudlast	1,9	4,97	3,45
Nyttig last huvudlast	1,7	4,76	4,83

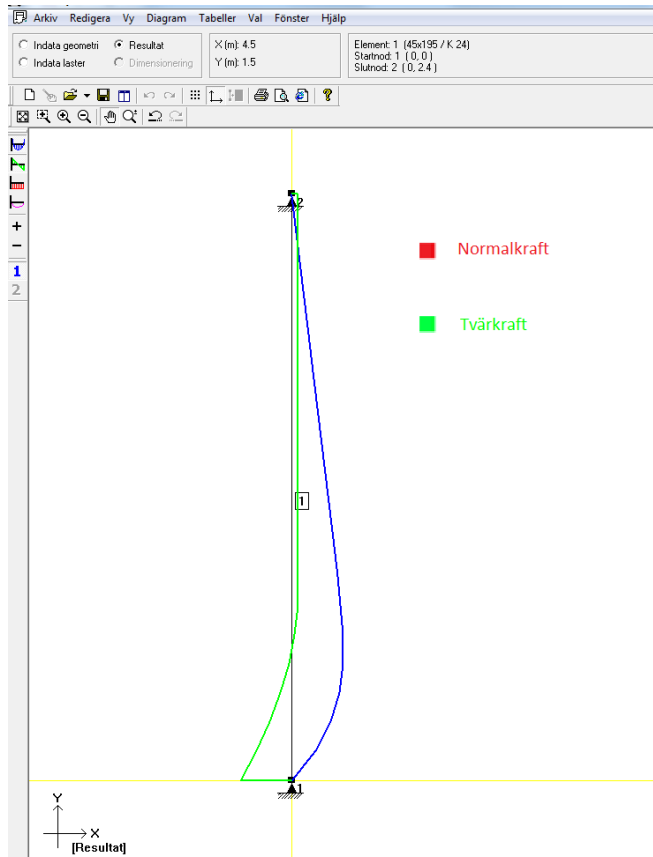
Jämför man med pelarens kapaciteter som redovisas i Tabell 9:

Tabell 9 – Visar träreglarnas kapacitet.

Momentkapacitet	1,41 kNm
Tvärkraftkapacitet	4,5 kN
Normalkraftskapacitet	31,85 kN

Detta innebär att pelaren inte håller för momentet och tvärkraften vid ett vattentryck på 1,5 meter.

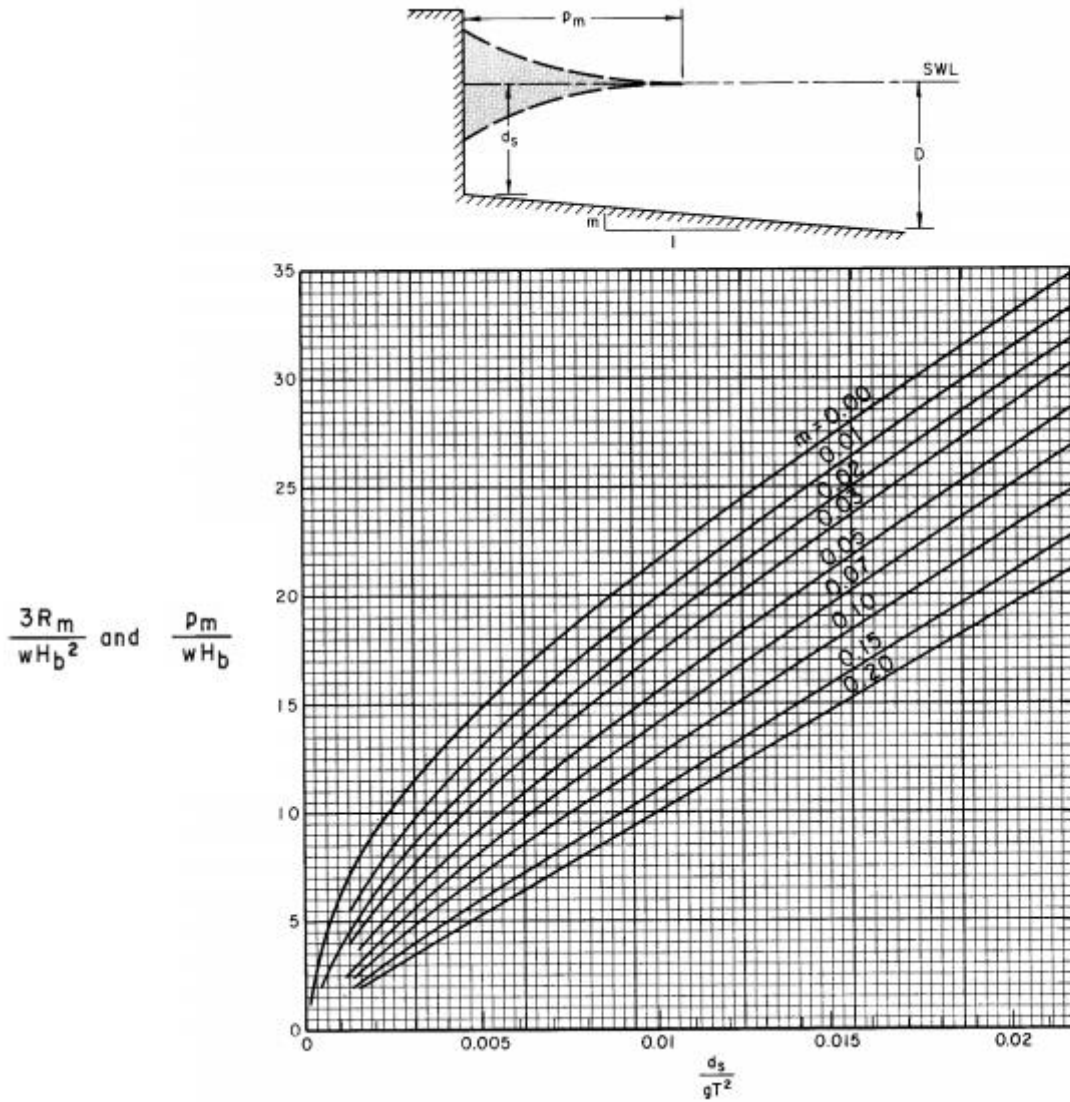
Om man räknar ut hur mycket vattennivån får stiga innan pelarna knäcks är det enligt Ramanalys 5.3 (Strusoft, 2014) 1 meter och då är tvärkraften och momentet 4,0 kN respektive 1,38 kNm, det vill säga, pelaren klarar inte av momentet, se Figur 42. Lastfallet gäller för vind som huvudlast.



Figur 42 - Figuren visar Normalkraftsdiagram och Tvärkraftsdiagram för en vattennivå på 1 meter.

Vågtryck

Tidigare har endast vattentrycket tagits hänsyn, nu läggs det till en kraft med ett vågtryck. För att en våg skall bli brytande krävs det att vågens höjd är minst 4/5 av vattnets stående höjd (United States. Army. Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center (U.S.), 1984). I detta fall är vågen 70cm och vattennivån som vågen står på är 80cm totalt blir de 1,5meter.



Figur 43 - Diagrammet visar hur kraften från vågen beräknas (United States. Army. Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center (U.S.), 1984).

Med hjälp av formeln till vänster om diagrammet (Figur 43) kan man lösa ut R_m som är den brytande vågens kraft per meter. I övre delen av (Figur 43) kan man se att bokstaven "m" betyder lutningen från havet till villan, den antas vara 0,07. X-axeln antas till 0,015. Därefter kan man läsa ut vilket värde Y-axeln är och ut fås att y-axeln har värdet 20. För beräkning se följande.

$$w = \rho g$$

$$\frac{3R_m}{\rho g H_b^2} = 20 \rightarrow R_m = \frac{20 \cdot \rho \cdot g \cdot H_b^2}{3}$$

Där H_b är vågens höjd på 0,8 meter.

$$R_m = \frac{20 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,8^2}{3} = 41,85 \text{ kN/m}$$

Beräkningen görs i Ramanalys 5.3 (Strusoft, 2014) och redovisas i Tabell 10.

Tabell 10 – Visar hur stor kraft träreglarna utsätts för i olika lastfall.

Lastfall	Max moment [kNm]	Tvärkraft [kN]	Normalkraft [kN]
Vattentryck huvudlast	2,8	7,8	3,45
Vindlast huvudlast	2,7	7,3	3,5
Nyttig last huvudlast	2,6	7,1	4,83

Resultatet av detta ger att huset inte klarar sig.

Beräknar man istället vilken vattennivå huset får ha med vågtryck ger resultatet att den högsta höjden är 45cm. Där $R_m = 1,4$. Resultatet av lasterna från en vattennivå på 45cm med vågtryck redovisas i Tabell 11 nedan.

Tabell 11 – Visar träreglarnas kapacitet.

Lastfall	Max moment [kNm]	Tvärkraft [kN]	Normalkraft [kN]
Vattentryck huvudlast	0,8	2,1	3,4
Vindlast huvudlast	1,4	2,9	3,4
Nyttig last huvudlast	0,7	2,6	4,78

2-plansvilla

Området och terrängtyp gäller samma som för 1,5-plansvillan.

Snölasten är:

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} v_b = 26 \text{ m/s} \\ h = 6,5 \text{ m från marken} \\ \text{Terrängtyp II} \end{array} \right\} \text{ ger } q_p = 0,796 \text{ kN/m}^2$$

Vind på kortsida och långsida:

Eftersom huset är kvadratisk kommer det blåsa lika mycket på varje sida.

$$\frac{h}{d} = \frac{6,5}{9} = 0,722 \rightarrow c_{pe,10}(\text{zon D}) = +0,76 \rightarrow c_{pe,10}(\text{zon E}) = -0,425$$

Den totala vindlasten blir summan av vindtryck på lovartsidan och ett vindsug från läsidan vilken beräknas enligt följande:

$$w_e = 0,796 \cdot (0,76 + 0,425) = 0,943 \text{ kN/m}^2$$

Vind mot tak

Med vinkeln 15° får vi följande formfaktorer för utvändigt vindlast på tak:

Bilaga 4 – Handberäkning

$$c_{pe,10}(zon F) = -0,9 \rightarrow +0,2$$

$$c_{pe,10}(zon G) = -0,8 \rightarrow +0,2$$

$$c_{pe,10}(zon H) = -0,3 \rightarrow +0,2$$

$$c_{pe,10}(zon I) = -0,4$$

$$c_{pe,10}(zon J) = -0,1$$

För vindlasterna för respektive zon fås följande:

$$W_F = 0,796 \cdot -0,9 = -0,726 \text{ kN/m}^2$$

$$W_G = 0,796 \cdot -0,8 = -0,636 \text{ kN/m}^2$$

$$W_H = 0,796 \cdot -0,3 = -0,238 \text{ kN/m}^2$$

$$W_I = 0,796 \cdot -0,4 = -0,318 \text{ kN/m}^2$$

$$W_J = 0,796 \cdot -0,1 = -0,08 \text{ kN/m}^2$$

Fall 1

Torkningstid

Antaganden: Ifall hela källaren översvämmas antas det att bara en del av väggarna blir blöta. Ett antagande görs på att 60 millimeter av väggarna blir blöta och endast torkas ut enkelsidigt. En väl hydratiserad betong k25 med vct-halt 0,7 skall torka från en relativ fuktighet från 100 % (vått tillstånd) till 75 %. Tjockleken på väggen är 350 mm. Eftersom man vill att det skall torka snabbt blir den omgivande temperaturen 30 °C och temperaturen ute är 20 °C och relativa fuktigheten är 50 %.

$$t = \frac{d^2 \cdot \Delta w}{k \cdot \delta_{v,yta} \cdot (v_{i,med} - v_u)} = \frac{(0,06 \cdot 2)^2 \cdot 55}{40 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot (0,0265 - 0,00864) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 7} = 2,3$$

Det tar alltså drygt 2 månader för väggen att torka.

Fall 2

Lyftkraft

En beräkning för lyftkraft görs i Excel, en förenkling gjordes att fönster och dörrar i ytterväggarna inte finns med. Den kontroll som använts är statisk jämvikt.

Densiteten för tegel är 1700 kg/m^3 och för betong 2200 kg/m^3 (Burström, 2007).

Om man antar att huset är helt vattentät och huset översvämmas med 1 meter ovanför marken innebär det att den indränkta höjden på huset med källare blir 2,55 meter.

Den karakteristiska lyftkraften för huset blir:

$$F_l = V\rho g = 9^2 \cdot 2,55 \cdot 1000 \cdot 9,81 = -2026 \text{ kN}$$

I Tabell 12 nedan kan man se resultaten av de totala lasterna på huset.

Tabell 12 – Visar husets laster samt ett resultat ifall huset lyfts. Kontrollen som använts är statisk jämvikt.

Karakteristiska värden	[kN]		Reduceringsfaktor	
Egentyngd (gynnsam)	3151,48		Snö	0,6
Snölast	64,8		Vind	0,3
Vindlast tak	16,2		Nyttig last	0,7
Nyttig last	486		Vatten	0,9
Vattentryck (2,55)	- 2026,26			
Lastfall				
Snö HL	715,67			
Vind HL	693,8			
Nyttig last HL	895,49			
Vattentryck HL	372,86			

Resultatet av lyftkraften ger att huset inte lyfts. Det dimensionerande lastfallet är vattentryck som huvudlast och ger en återstående vikt på huset med 373 kN.

Om huset skulle börja lyfta behöver vattnet stiga ytterligare 35cm, det vill säga 1,35 meter ovanför markytan.

Bjälklagskontroll mot lyftkraft

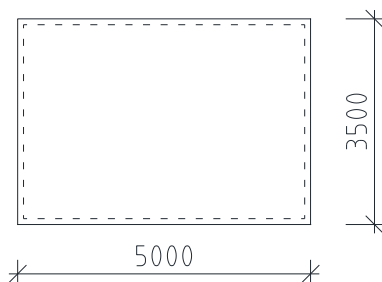
En kontroll för bjälklaget i källaren görs ifall den klarar av lyftkraften som trycker uppåt mot bjälklaget. Höjden från husgrunden till källarfönstren är 1,7 meter. Den dimensionerande lyftkraften för detta blir:

$$F_l = 1,0 \cdot 1,5 \cdot V \rho g = 1,0 \cdot 1,5 \cdot 9^2 \cdot 1,7 \cdot 1000 \cdot 9,81 = -2025 \text{ kN}$$

Eftersom det i källaren finns innerväggar antas det att de fungerar som upplag för de olika rummen ifall man tänker sig att den dimensionerande lasten trycker uppåt. Det antas eftersom kraften är väldigt stor och riktad uppåt.

Kontrollerar man det största rummet (Figur 44) som kommer utsättas för störst kraft är det garaget med längderna 5x3,5. Upplagen antas till fyra fritt upplagda väggar. Räknas det på hur stor kraft rumsbjälklaget får är det: $\frac{2025}{9^2} \cdot 3,5 \cdot 5 = 437,5 \text{ kN}$, kraften per areaenhet blir:

$$F_l = \frac{2025}{9^2} = 25 \text{ kN/m}^2$$



Figur 44 – Figuren visar bjälklaget i garaget som är fritt upplagt om kraften blir riktad uppåt mot huset.

Bilaga 4 – Handberäkning

Momenten för 1 meter bred plattstrimla ger enligt tabellmetoden:

$$M_a = 0,036 \cdot 25 \cdot 3,5^2 = 11 \text{ kNm/m}$$

$$M_b = 0,0938 \cdot 25 \cdot 5^2 = 58,6 \text{ kNm/m}$$

Antaganden för betongen och armering:

- Nätarmering: $\emptyset 8$ s150, B500BT i båda riktningar av bjälklaget.
- Betong kvalitet: C30

Momentkapaciteten för armeringen och betongen ger:

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{0,008^2 \cdot \pi}{4} \cdot 6,67 = 3,35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F_s = F_c$$

$$A_s \cdot \sigma_s = f_{cd} \cdot 0,8xb$$

Antas att $\sigma_s = f_{yd}$

$$x = 9,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Kontroll av spänning i armering: $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy}$

$$d = 200 - 15 - 4 = 181 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu}(d - x)}{x} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}(0,181 - 0,00911)}{0,00911} = 0,066$$

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200 \cdot 10^3} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \rightarrow OK$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= f_{cd} \cdot 0,8xb(d - 0,4x) = 20 \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot 0,00911 \cdot 1 \cdot (0,181 - 0,4 \cdot 0,00911) \\ &= 25,8 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$M_{Rd} < M_b \rightarrow EJ \text{ OK}$$

Detta innebär att bjälklaget inte kommer att klara sig alls.

Dimensionering mot momentet blir:

$$M_b = f_{cd} \cdot 0,8xb(d - 0,4x)$$

$$58,6 \cdot 10^3 = 20 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot x \cdot 1 \cdot (0,181 - 0,4x)$$

$$x = 0,021 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu}(d - x)}{x} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}(0,181 - 0,021)}{0,021} = 0,026$$

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200 \cdot 10^3} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy} \rightarrow OK$$

Armeringsarean för 1 meter blir då:

$$A_s = \frac{(f_{cd} \cdot 0,8xb)}{\sigma_s} = \frac{20 \cdot 0,8 \cdot 0,021 \cdot 1}{435} = 7,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 772,4 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$s = \frac{1000 \cdot \frac{8^2 \cdot \pi}{4}}{511,3} = 65$$

Dimensioneras med $\emptyset 8$ s65 mot största momentet.

Fall 3

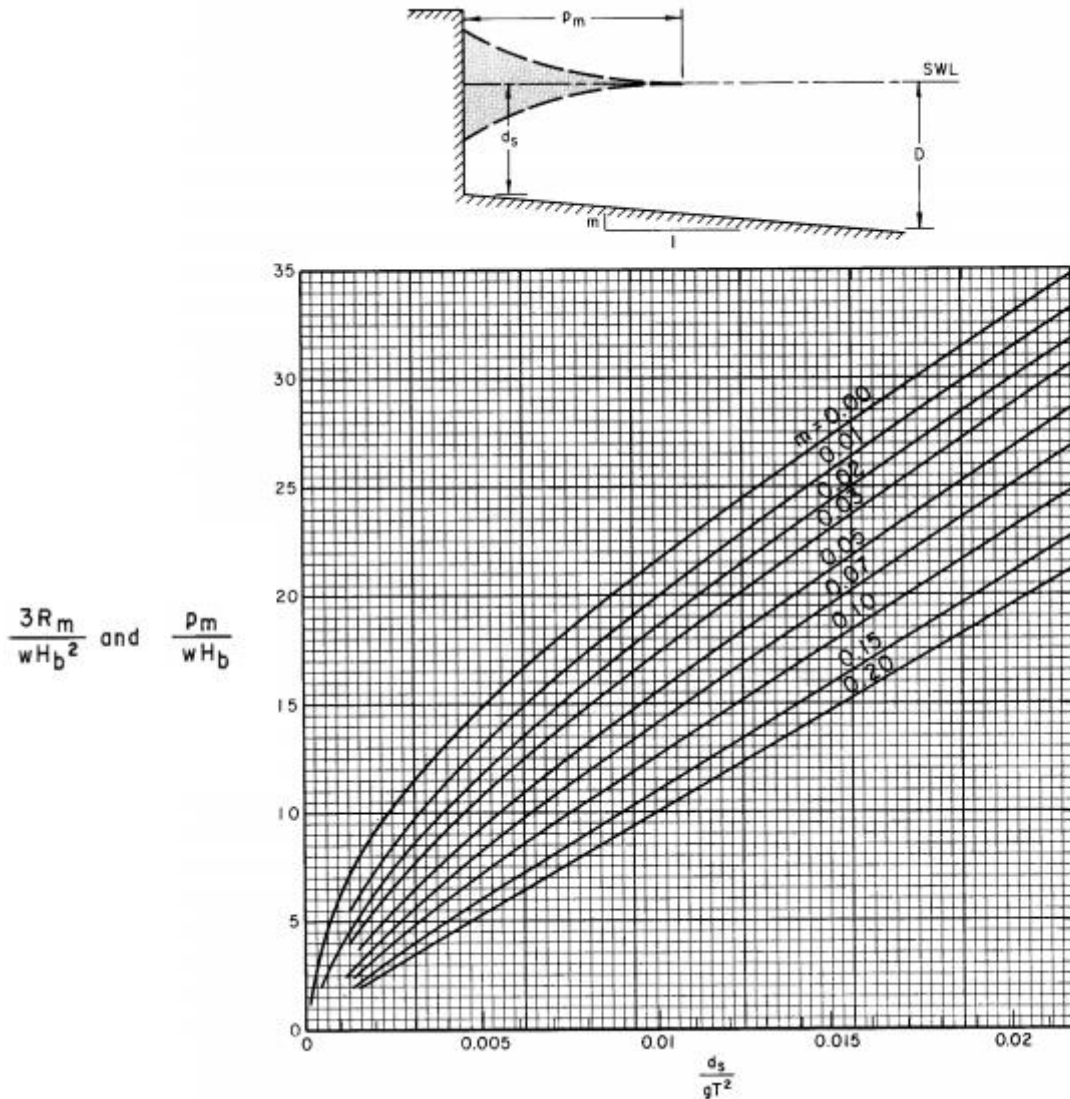
Det som tas hänsyn i detta fall är följande, se Figur 45 nedan:

- Jordens tunghet som är 22 kN/m^3
- Brytande vågtryck
- Vattentryck
- Vind
- Normalkraft

För att en våg skall bli brytande krävs det att vågens höjd är minst $4/5$ av vattnets stående höjd. Det vill säga ifall vågen är 45cm hög så står vågen på en 55cm stillastående vattennivå. Totalt blir vattenhöjden 1 meter och det är det fallet som beräknas.

Beräkningen för kraften på den brytande vågen beräknas enligt följande:

Bilaga 4 – Handberäkning



Figur 45 - Diagrammet visar hur kraften från vågen beräknas (United States. Army. Corps of Engineers; Coastal Engineering Research Center (U.S.), 1984).

Med hjälp av formeln till vänster om diagrammet (Figur 45) kan man lösa ut R_m som är den brytande vågens kraft per meter. I övre delen av (Figur 45) kan man se att bokstaven ”m” betyder lutningen från havet till villan, den antas vara 0,07. X-axeln antas till 0,015. Därefter kan man läsa ut vilket värde Y-axeln är och ut fås att y-axeln har värdet 20. För beräkning se följande.

$$w = \rho g$$

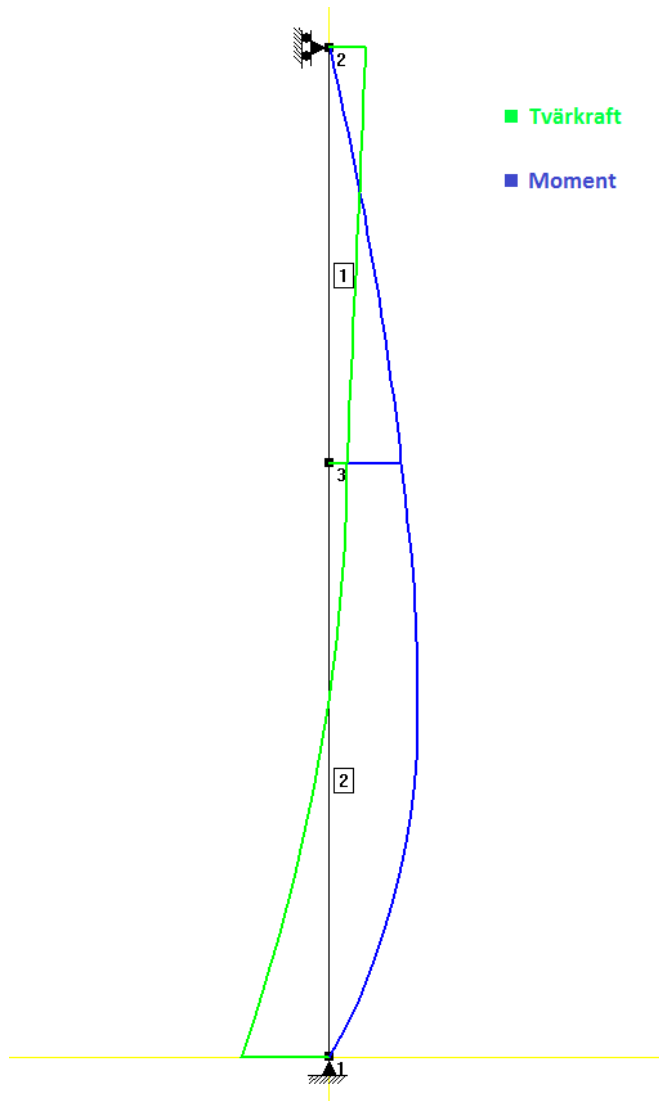
$$\frac{3R_m}{\rho g H_b^2} = 20 \rightarrow R_m = \frac{20 \cdot \rho \cdot g \cdot H_b^2}{3}$$

Där H_b är vågens höjd på 45cm.

$$R_m = \frac{20 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,45^2}{3} = 13,24 \text{ kN/m}$$

En beräkning på väggen utförs som en kvadratisk pelare på 35x35 cm

Beräkningen utförs vidare i Ramanalys 5.3 (Strusoft, 2014) i Figur 46 och redovisas i Tabell 13.



Figur 46 - visar tvärkraftsdiagram och momentdiagram.

Tabell 13 – Visar hur stor kraft träreglarna utsätts för i olika lastfall.

Lastfall	Max moment [kNm]	Tvärkraft [kN]	Normalkraft [kN]
Vattentryck huvudlast	43	109	13
Nyttig last huvudlast	38,8	98	10,4

Bilaga 4 – Handberäkning

Kapacitet för pelaren beräknas enligt följande:

Tvärkraft

Armeringen för tvärkraften antas till $\emptyset 12$ s150. $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$ och $f_{yd} = 435 \text{ Mpa}$.

Dragna byglarnas kapacitet:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{yd} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha = 206,6 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, inget brott sker}$$

Tryckta betongsträvans kapacitet:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} (\cot\theta + \cot\alpha)}{1 + \cot^2 \theta} = 404 \rightarrow \text{OK, inget brott sker}$$

Moment

Armering för momentet antas för en pelare på 350mm finns 5st $\emptyset 12$ i den dragna sidan.

$$x = 43,9 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = f_{cd} \cdot 0,8xb(d - 0,4x) = 20 \cdot 0,8 \cdot 0,0439 \cdot 0,35(0,318 - 0,4 \cdot 0,0439) = 73,8 \text{ kNm}$$

$\rightarrow \text{OK, inget brott sker.}$