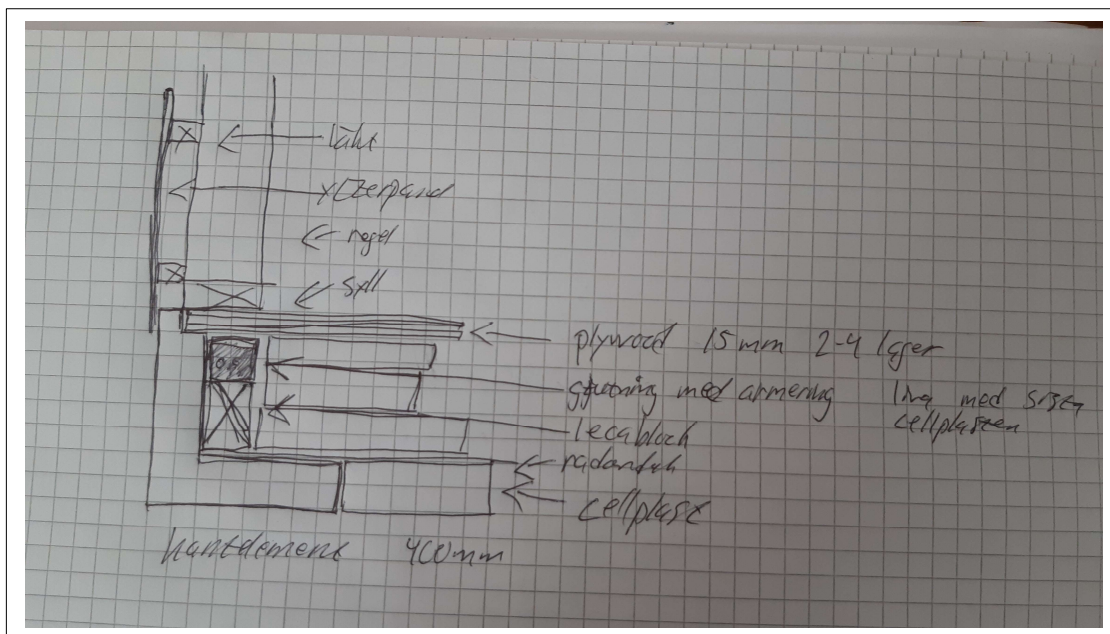




RAPPORT

DIGERNÄS 2:11



TRÄBASERAD GRUNDPLATTA

ETT ALTERNATIV TILL TRADITIONELL BETONGGRUND

UPPRÄTTAD: 2022-06-27

REVIDERAD: 2022-08-22

Upprättad av:
Fredrik Agerberg Skoglund – Diplomerad Träkonstruktör

Sammanfattning

Rapporten sammanfattar konstruktörens arbetsprocess och sammanställer viktiga ansvarsavgränsningar, indata, tolkningar, metoder och parametrar som påverkar projekteringen, beställare och projektet. Rapporten används som en sammanställning av viktig data och kan komma att användas som utbildningsmaterial och i utvecklingssyfte samt som diskussionsunderlag inom företaget.

Arbetet grundas i frågeställningen om betongen i en grundplatta kan bytas ut mot plywood. Under arbetets gång upptäcks att det finns ett fåtal arbeten angående detta och ännu färre praktiska försök. Litteraturstudier är en viktig del för att utreda vilken metod som är bäst lämpad och vilka parametrar som kan vara styrande.

Resultatet visar att det finns goda möjligheter att använda plywood som grundkonstruktionen i likhet med Precisionsgrunden. Kapaciteten för varken böjning, normalkraft eller tryck vinkelrätt fibrerna överskrids. Villkorat för dessa resultat är dock att varje lager plywood limmas för fullständig samverkan mellan lagren, vilket innebär att utförande är av yttersta vikt.

Arbetet har varit väldigt avgränsat sett till projektets tidsram. Flera ytterligare faktorer skrivs bort med rekommendationer där erfarenhet och rimlighetsbedömningar är styrande.

Vidare arbete rekommenderas dels för en säkrare bedömning av lämplighet för produktion, dels för att undersöka alternativa lösningar. Bland annat saknas resultat för en eventuell minskning av tvärsnitt i badrum för lokal lutning mot brunn.

Innehåll

Sammanfattning	2
2 Bakgrund	5
3 System	6
3.1 Systemval	6
3.1.1 Tjälldén Hybridgrund	6
3.1.2 Klara byggsystem	7
3.1.3 Examensarbete Platta på mark av korslimmat trä	7
3.1.4 RISE forskningsrapport – Trägrund	7
3.1.5 Val av system	8
3.1.6 Avgränsning	8
4 Laster	9
4.1 Egentyngd	10
4.2 Snölast och snöfickor	10
4.3 Vind	10
5 Material	10
6 Egenkontroll	11
6.1 Egenkontroll	11
7 Litteraturstudie	11
7.1 Dimensionering av träkonstruktioner	11
7.2 Limträhandböcker	12
7.3 Traguiden.se	13
7.4 Moelven.se	14
7.5 Boverket.se	14
7.5.1 Fukttransport från mark	14
7.5.2 Inträngande vatten	14
7.5.3 Ytvatten	15
7.5.4 Fukt under byggtiden	15
8 Kontroller	16
8.1 Träberäkningar	16
8.1.1 Tryck vinkelrätt fiberriktningen	16
8.1.1.1 Differens lastpåverkan / lastkapacitet	16
8.1.2 Böjning / Dragkraft	16
8.2 Totalstabilitet	17
8.2.1 Vindlast	17
8.2.2 Egentyngd	17

8.2.3	Summa.....	17
9	Lokal analys	18
9.1	Robot Structural Analysis Professional.....	18
9.2	Avgränsningar / antaganden.....	18
9.3	Resultat lokal analys	18
9.3.1	Förstärkning under bärande innervägg.....	20
10	Slutsats	20
10.1	Rekommendation.....	21
10.2	Fortsatta studier	21
10.2.1	Minskning av tvärsnitt i badrum för lokal lutning mot brunn.....	21
10.2.2	Energi- och fukttransport	21
10.2.3	Håltagning	21
Bilaga 1.	Vindlast	22
Bilaga 2.	Lastnedräkning.....	24
Bilaga 3.	Konstruktionsprincip	26

2 Bakgrund

Beställare Jonas Daunfeldt önskar frångå det till synes enda alternativet betong som material i en grundplatta. Istället har han inspirerats av koncept från Tjälldén samt Klara byggsystem där trä istället används i stor utsträckning. Till skillnad från dessa system vill Jonas använda plywood som läggs omlott och om möjligt undvika bärande balkar likt Tjälldéns koncept.

Arbetet utgår från denna idé och fokuserar på att undersöka plywoodskivornas kapacitet och möjlighet. Dock är tiden för arbetet kraftigt begränsat vilket leder till stora avgränsningar.

Byggnaden ska stå på fastighet Digernäs 2:11 i Östersund.

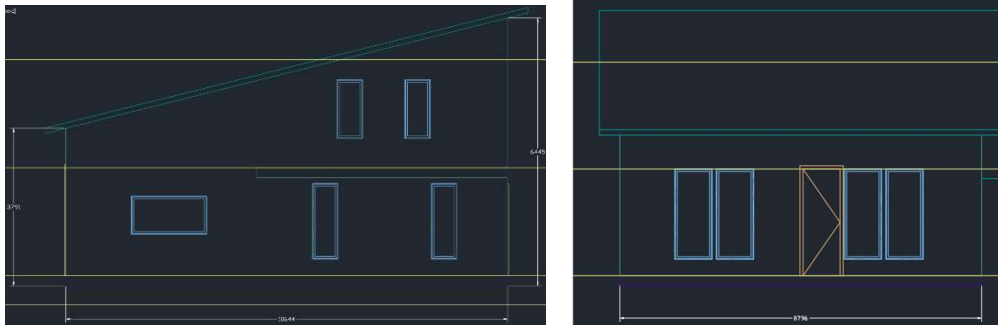


Figur 1. Geografisk översikt.

3 System

Systembeskrivning:

Platta på mark med kantförstyvning leder tryck från överbyggnad till marken genom anliggning. Spridning av last regleras med olika styvheter på cellplast samt tjocklek på trätvärsnitten.



Figur 2. Måttbeskrivning.

Livslängdskategori: 50 år.

Grund: Träbaserad (koncept).

Säkerhetsklass bärande stomme: SK2 (normal), någon risk för allvarliga personskador

Säkerhetsklass sekundärbärverk: SK2 (normal), någon risk för allvarliga personskador

Säkerhetsklass grundkonstruktioner: GK1 (antaget).

Terrängklass:

II låg vegetation/enstaka hinder (träd, byggnader) minsta cc 20 m*hindrets höjd (antaget).

Topografi m.h.t. snölast:

Normal, områden där snön endast i undantagsfall blåser av

Ljudklass: Ej relevant för uppdraget.

Brandklass: Br3 -> R30/EI30

Konsekvensklass: CC2a

3.1 Systemval

Det har i tidigare externa arbeten undersökts möjligheter med träbaserade grundkonstruktioner. Genom att ta del av dessa och jämföra dem för att hitta fördelar och nackdelar väljs en metod att arbeta vidare med. Nedan beskrivs dessa kortfattat.

3.1.1 Tjälldén Hybridgrund

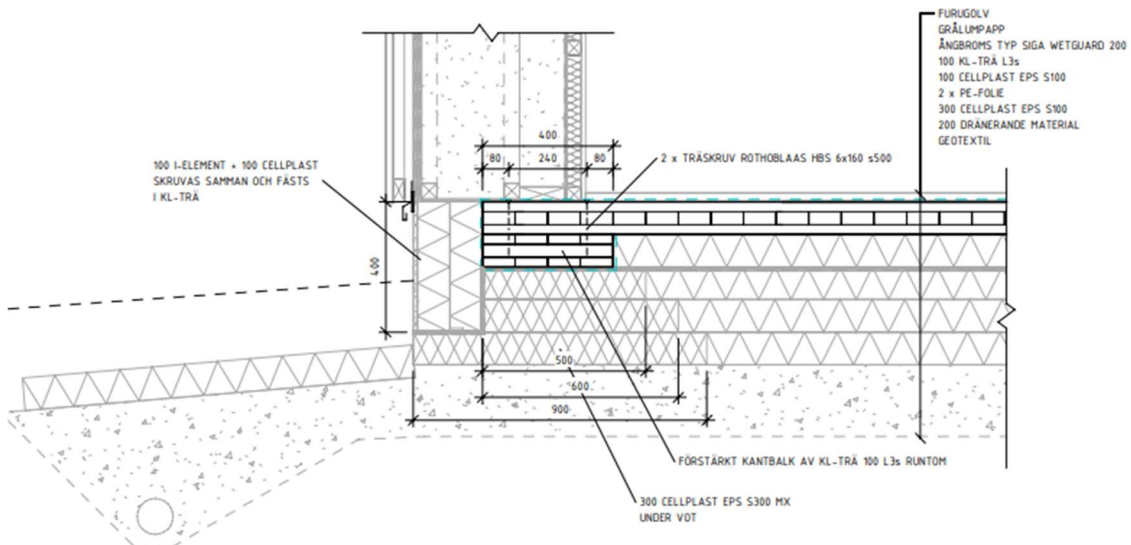
Tjälldén Hybridgrund har en kantbalk samt bärande mittbalk som är egentillverkad med kärna av cellplast och betong som bärande material. Resterande del fylls med cellplast. På balkarna läggs ett fribärande träbjälklag. Detta ger en välisolerad och fuktsäker grund.



Figur 3. Tjälldén hybridgrund, <https://tjallden.se/produkter/hybridgrund/>.

3.1.2 Klara byggsystem

Klara byggsystem är ett nytt företag som lanserat Precisionsgrunden vilket består av KL-skivor som läggs på en bädd av cellplast. Kantförstyvningen görs även den med KL-skivor. Ett projekt har utförts kallat Villa Zero. Vinsten menar de är låga utsläpp, hög prefabriceringsgrad och korta byggtider.

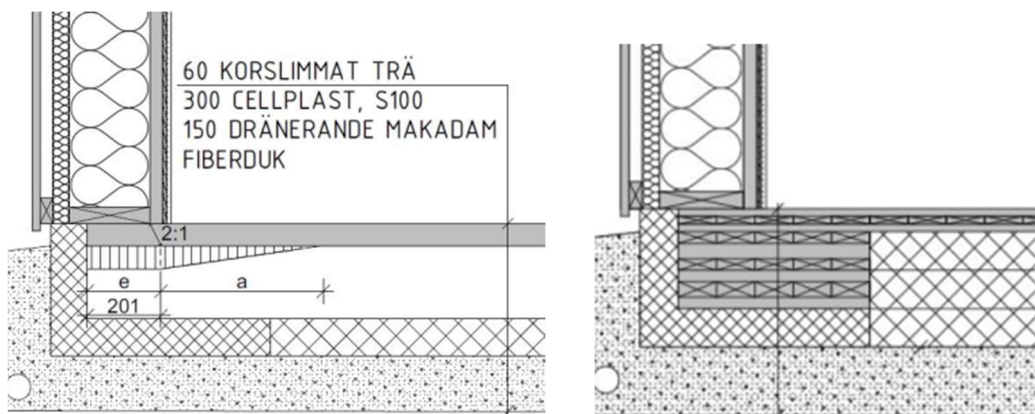


Figur 4. Precisionsgrunden, <https://www.klarabyggsystem.se/bygg-med-precisionsgrunden/>.

3.1.3 Examensarbete Platta på mark av korslimmat trä

Ett examensarbete på högskolenivå avslutades 2021-06-11 där korslimmat virke undersöktes med FEM-Design för att ta reda på skillnaden mellan kantförstyvad och icke kantförstyvad platta i en grundkonstruktion. I arbetet kom de fram till att en kantförstyvad platta reducerade grundtrycket med ca 50 % vilket talar väl för att använda en förstyvning även för KL-trä.

Trots att stora avgränsningar var nödvändigt samt att förenklingar sett till markens beteende och bäddmoduler kan resultatet ses som ledande.

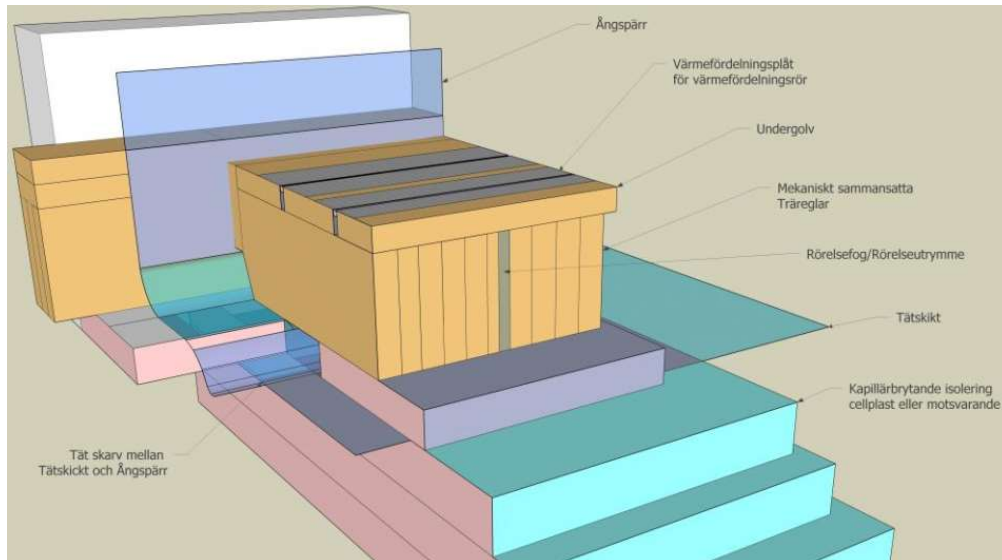


Figur 5. Trägrund, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1580028/FULLTEXT01.pdf>.

3.1.4 RISE forskningsrapport – Trägrund

Under år 2019 arbetades en rapport fram baserat på ett forskningsprojekt där syftet var att verifiera en ny idé att göra hela grundläggningen av trä med prefabricerade grundelement. Det fanns även en ambition att utvärdera om systemet kan konkurrera med traditionell betonggrund.

Arbetet visade att det inte finns några tekniska hinder att använda sig av denna typ av grundläggningsmetod samt att det ger större möjlighet för beställare att följa upp med kontroller. Dock var inte resultatet tillräckligt för småhustillverkare att tillämpa metoden, konkreta demo objekt krävs för att testa produktion.



Figur 6. Princip för trägrund, Svensk Trägrundläggning AB,
<https://www.bioinnovation.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2018/11/19-11-14-trgrund-teknik-egenskaper-produktion.pdf>.

3.1.5 Val av system

Då beställare har uttryckt önskemål om att använda plywood undersöks främst detta. Det görs dock med Klara byggsystem i åtanke med avsikt att efterlikna detta om möjligt. Information från övriga exempel ovan används där det är möjligt.

Det blir då en grundplatta av flera växelvisa lager plywood, skruvade eller skruvlimmade, flytande på styv isolering med kantförstyvning samt eventuell förstyvning för mellanvägg.

3.1.6 Avgränsning

För arbetet gäller stora avgränsningar. Bedömning av trägrunden sker under premisen att resultat eventuellt inte kan erhållas under vald tidsram. Detta är kommunicerat med beställaren innan arbetets början.

Utöver detta gäller eventuella resultat som vägledande på grund av den begränsade mängd tillgänglig information sett till både byggnadsteknisk fakta och projektrelaterat underlag.

- Material plywood 15 mm Moelven K20/70, noggrant limmade skikt.
- Inga punktlaster i kantbalken, enbart utbredd last.
- Konstruktionen baserad på underlag från beställare.

För eventuell produktion av framtagna princip ligger skadeansvaret på beställaren.

4 Laster

Tabell 1. Laster

Last	Intensitet utan partialkoefficienter	Material/härkomst	Kommentar
Egentyngd yttervägg	0,37 kN/m ²	Egentyngd	Uppbyggnad enligt beställare.
Egentyngd tak	0,5 kN/m ²	-	Givet underlag, beställare.
Egentyngd undertak/installationer	0,3 kN/m ²	-	Egenvikt för takinstallationer, antaget värde.
Snölast på mark	2,5 kN/m ²	BBR	
Snöfickor på tak	-	-	Gäller ej.
Vindlast	1,35 kN/m ²	BBR	Grundvärde.

För närmare beskrivning av laster, se Bilaga 1 samt 2.

4.1 Egentyngd

Taköverbyggnad 0,5 kN/m² enligt givet underlag.

För vikt från installationer finns ingen uppgift, antag generellt värde 0,3 kN/m².

Egentyngd yttervägg enligt Bilaga 2.

4.2 Snölast och snöfickor

Grundvärde snölast på mark 2,5 kN/m² enligt Boverkets snölastkarta. Takstolstillverkare har dock räknat med 3,0 kN/m². Ingen snöficka är aktuell.



BELASTNINGAR (N/m²)	
SNÖLAST (Sk, 400 m.o.h.):	3000 N/m²
VINDLAST (qp(z)):	853 N/m²
EGENLAST PÅ VÄGG:	150
EGENLAST PÅ INNERTAK:	300
EGENLAST PÅ YTTERTAK:	650

Formfaktor baserat på takvinkel $\alpha = 14^\circ$ $\mu_1 = 0,8$ enligt EKS 11 [1].

4.3 Vind

Vindlastens grundvärde $q_k = 0,605$ kN/m² enligt EKS 11, baserat på $z = 6$ m samt terrängtyp 2 (antaget).



Formfaktorer tas fram med hjälp av SS-EN 1991-1-4 7.2.4, ca $\alpha = 14^\circ$ och redovisas i Bilaga 1.

Dimensionerande last räknas fram enligt SS-EN 1991-1-4 med hjälp av en regel- och formelsamling.

5 Material

Plywood är huvudkomponenten i stommen, antaget kvalitet F20.

För eventuella ståldetaljer gäller lägst S235 i beräkningar. I praktiken används ofta S355 som lägst. För eventuella limträdelar används kvalitet GL30c / GL30h.

6 Egenkontroll

6.1 Egenkontroll

Egenkontroll består av egen granskning av indata och resultat samt överslagsberäkningar som påvisar rimligheten i resultatet som erhålls. Lämplig omfattning av egenkontroll utförs. Förutom egenkontroller som presenteras nedan utförs om så anses lämpligt separat egenkontroller inom varje delkapitel.

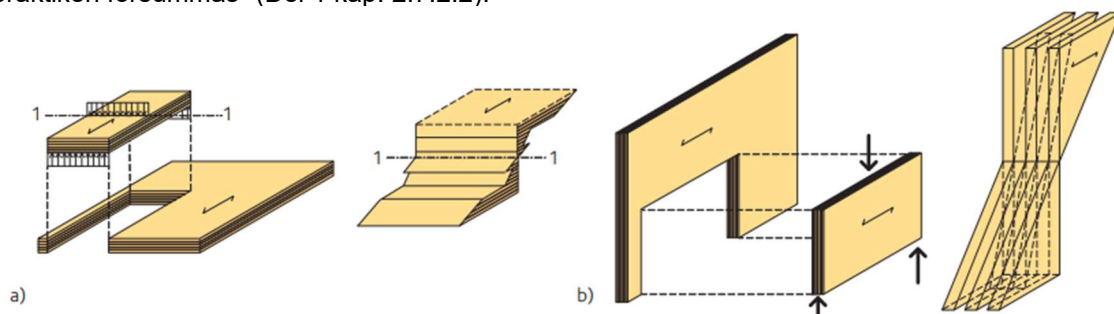
7 Litteraturstudie

För att i möjligaste mån kunna rekommendera en lösning med trä som bas i en grundläggning krävs studier. Detta sker främst med hjälp av litteratur från Svenskt Trä men också rapporter och studier som söks fram under arbetets gång.

7.1 Dimensionering av träkonstruktioner

Svenskt Trä har gett ut en samling handböcker med information för byggande med trä. Dessa är en översättning och uppdatering av "Design of timber structures – 2011". I Del 1 står att tryck vinkelrätt fiberriktningen krossas träets rörformiga celler vid tillräckligt högt tryck. Det är detta som sedan begränsas i dimensionering med ett gränsvärde $f_{c,90} = 3 - 5$ MPa. Vad som är speciellt med denna brottmod till skillnad mot andra riktningar är att gränsen värdet gäller för är 1 % bestående deformationer. Varför det är gjort på detta vis är för att det inte är möjligt att definiera ett rent brott för tryck vinkelrätt fibrerna och när alla fibrer krossats kan spänningsnivån öka igen (Del 1 kap. 2.4.1.3).

Plywood är efterfrågat av beställare och är därför huvudämnet att studera. Plywood är en producerad produkt som tillverkas på samma vis som faner men där skikt läggs vinkelrät mot varandra. Antalet faner är alltid udda och de yttersta lagren som då är i samma riktning är oftast i en skivas längsgående riktning. Plywoodskivans konstruktiva egenskaper beror på antalet faner, tjocklek samt lastens riktning. "Bidraget till lastupptagningen från de skikt som har fiberriktningen orienterad vinkelrätt mot normalspänningarnas riktning är mycket litet och kan i praktiken försummas" (Del 1 kap. 2.7.2.2).



Det finns fastställda hållfasthetsvärden för plywood med olika hållfasthetsklasser vilket tyder på att det bör med relativt enkla medel gå att räkna hur laster kan tas om hand. Observera att hållfasthetsklasserna ska identifieras för de två olika ritningarna (0 & 90 grader) och gäller för track/tryck (Del 2 kap 3.4.7).

Hållfasthets- klass ²⁾	Karakteristiska hållfasthetsvärden (MPa)		
	Fiberriktning i ytskiktet ²⁾		
	0 och 90	0	90
	Böjning f_m	Dragning f_t Tryck f_c	
F3	3	1,2	1,5
F5	5	2	2,5
F10	10	4	5
F15	15	6	7,5
F20	20	8	10
F25	25	10	12,5
F30	30	12	15
F40	40	16	20
F50	50	20	25
F60	60	24	30
F70	70	28	35
F80	80	32	40

¹⁾ Värdena ska modifieras med k_{mod} enligt tabell 3.2, sidan 8.

²⁾ Klasserna identifieras för båda riktningarna parallellt med fibrerna (0) respektive vinkelrätt mot fibrerna (90).
F-klasserna för hållfasthet definieras i SS-EN 636.

Styvhets- klass ²⁾	Medelmodul (MPa) ³⁾		
	Fiberriktning i ytskiktet ²⁾		
	0 och 90	0	90
	Böjning E_m	Dragning E_t Tryck E_c	
E5	500	250	400
E10	1 000	500	800
E15	1 500	750	1 200
E20	2 000	1 000	1 600
E25	2 500	1 250	2 000
E30	3 000	1 500	2 400
E40	4 000	2 000	3 200
E50	5 000	2 500	4 000
E60	6 000	3 000	4 800
E70	7 000	3 500	5 600
E80	8 000	4 000	6 400
E90	9 000	4 500	7 200
E100	10 000	5 000	8 000
E120	12 000	6 000	9 600
E140	14 000	7 000	11 200

¹⁾ Värdena ska modifieras med k_{def} enligt tabell 9.1, sidan 32.

²⁾ Klasserna identifieras för båda riktningarna parallellt med fibrerna (0) respektive vinkelrätt mot fibrerna (90).
E-klasserna för styvhet definieras i SS-EN 636.

³⁾ 5-percentilvärden ska bestämmas enligt nedan.

Vid dimensionering ska alla karaktäristiska värden justeras med klimatfaktor k_{mod} och partialkoefficient γ_m .

$$\gamma_m = 1,2$$

k_{mod} = Enligt Eurokod baserad på aktuell miljö, se figur nedan.

Plywood	SS-EN 636						
	Typ 1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Typ 2	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Typ 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

7.2 Limträhandböcker

Svenskt Trä har gett ut en samling handböcker med inriktning mot limträ. I dessa finns information om plywood som mest handlar om förstärkningar vid olika situationer. Dock nämns att vid dimensionering med brukgränstillstånd (SLS) utförs allmänt deformationsberäkningar med styvhetsegenskapernas medelvärden. För denna justering behövs k_{def} , ett värde som beaktar klimatklassens inverkan på deformationer (Del 3 kap 11).

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1 + k_{def}}$$

Material	SS-EN standard	Klimatklass		
		1	2	3
Konstruktionsvirke	SS-EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Limträ	SS-EN 14080	0,60	0,80	2,00
Fanerträ	SS-EN 14374	0,60	0,80	2,00
	SS-EN 14279	0,60	0,80	2,00
Plywood	SS-EN 636	0,80	1,00	2,50

7.3 Traguiden.se

På en av hemsidorna som Svenskt Trä tillhandahåller anges information standardvärden och storlekar för plywoodskivor. Där anges även att "Längdändringen hos plywood är längs och tvärs skivan cirka 2 mm/m per 10 % fuktkvotsändring". Detta är värt att tänka på när så stor yta som en grundplatta ska tillverkas. En längd på 8 m innebär $\epsilon = 8 \times 2 = 16$ mm längdändring vid en 10 % fuktändring. (<https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/trabaserade-produkter/skivmaterial1/plywood>).

För att ha konkreta värden kopplade till verklig produkt används värden för Moelven Vänerply K20/70 vars värden redovisas på Träguiden. Motsvarande produkter antags gå att finna om inte just den tillverkaren önskas. (<https://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/hallfasthet-och-barformaga/barformaga/plywood---dimensionerande-barformaga/>).

Nominell tjocklek (mm)	Antal faner	Densitet	Böjning		Drag		Tryck		Panel Skikt skjuvning	
			$f_{m,0}$	$f_{m,90}$	$f_{t,0}$	$f_{t,90}$	$f_{c,0}$	$f_{c,90}$	f_v	f_r
9	3	420	20	NPD	11	6	15	8	3	1
12	5	420	21	6	10	7	14	10	3	1
15	5	420	22	6	10	7	14	10	3	1
18	5	420	22	6	10	7	14	10	3	1
21	7	420	20	7	9	8	13	11	3	1

Figur 7. Karakteristiska hållfasthetsvärden [MPa] och densitet för Vänerply plywood K20/70, putsad skiva.

Nominell tjocklek (mm)	Antal faner	Böjning		Tryck och drag		Panel skjuvning	Skikt skjuvning SS-EN 12369-2
		$E_{m,0}$	$E_{m,90}$	$E_{t,0}$	$E_{t,90}$		
9	3	7000	NPD	5600	NPD	600	NPD
12	5	7056	1800	5659	4250	600	16
15	5	7259	1700	5780	4216	600	16
18	5	7369	1800	5780	4307	600	16
21	7	7000	2600	5537	4517	600	16

Figur 8. Medelvärden elasticitets- och skjuvmodul för Vänerply plywood K20/70, putsad skiva.

7.4 Moelven.se

Plywood från Moelven är testad av RISE och har därmed tydliga och tillförlitliga värden. På deras hemsida går att finna många dokument gällande deras produkter, bland annat presandadeklARATION där det står att medeldensiteten för deras plywood är 485 kg/m³.

(<https://www.moelven.com/se/se/plywood-och-skivor/plywood/vanerply-k2070-oputsad-tg2/>).

7.5 Boverket.se

För alla grundkonstruktioner innebär fukt en risk att ta i beaktning. Fuktrisker för en grundplatta antas för rapporten vara i stort sett lika oberoende av materialval.

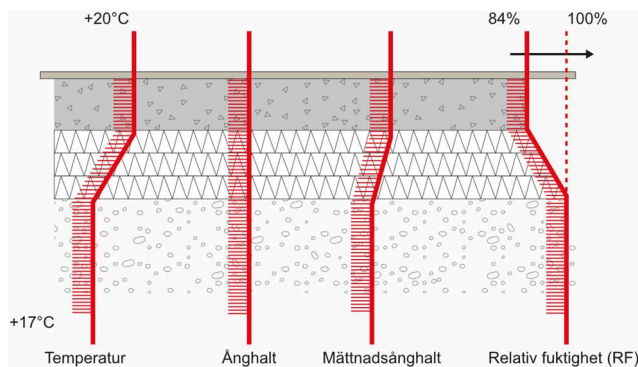
Boverket har information om identifierade risker gällande fukt för betongplatta på mark. Dessa är indelade i följande

- Fukttransport från mark
- Inträngande vatten
- Ytvatten
- Uttorkning

<https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/risker-fuktskador/fuktrisker-for-grund/betongplatta-mark/>

7.5.1 Fukttransport från mark

Marken är normalt sett blöt och om marken värms upp ökar ånghalten i marken, vilket ger drivkrafter för ångtransport och risk för ökad fuktnivå. Det tar dock lång tid för fuktnivån att öka och eventuella skador visar sig oftast inte förrän efter flera år. För att förhindra sådan effekt bör maken hållas så kall som möjligt genom att isolera grundplattan i syfte att inte tillföra värme från huset. För stora plattor eller med lite isolering kan extra skydd behövas i form av tätskarvad PE-folie (ångtätt skikt). Enligt uppgift från beställaren ska ett lager radonskydd läggas vilket, om utfört rätt, fungerar väl som ångtätt skikt.



Figur 9. <https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/risker-fuktskador/fuktrisker-for-grund/betongplatta-mark/risk-fukttransport-mark/>

7.5.2 Inträngande vatten

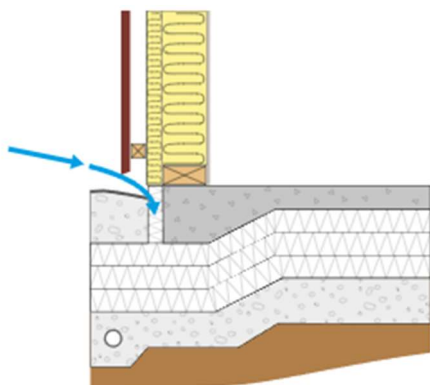
Vatten från regn och snö kan tränga in i konstruktionen på olika sätt beroende på val av uppbyggnad. Om det är otätt eller saknas fungerande vattenutledning kan vatten tränga in i anslutningen mellan yttervägg och betongplatta, vilket kan orsaka fuktskador i både yttervägg och golv. Särskild risk finns vid genomföringar i fasaden. Har vatten möjlighet att tränga in och stanna kan skador uppstå i form av nedbrytning och mögel.

För att förhindra detta bör detaljer utformas för att i första hand förhindra vatten från att tränga in och i andra hand leda ut vatten som i värsta fall trängt igenom. Exempelvis 2-stegs fasad där panel förhindrar regn att nå stommen, men eventuellt inträngande vatten leds ut via plåtar från luftspalten.

7.5.3 Ytvatten

Ytvatten som regn och smältande snö kan riska att fukta upp grundplattans yttre delar. Orsaker kan vara exempelvis felaktig marklutning, bristfällig dränering, hårdgjord mark med mera. Ofta sker en kombination av dessa saker. Har vatten möjlighet att tränga in och stanna kan även på detta vis skador uppstå i form av nedbrytning och mögel.

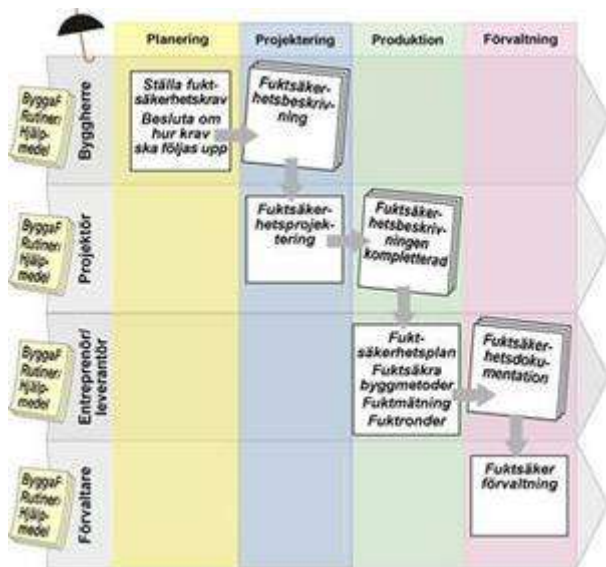
Det går att motverka detta genom noggrannhet vid planering och utförande. Ordna lutning ut från byggnaden för avrinning, dräneringen bör utföras noggrant samt undvik att sätta färdig golvnivå i nivå med marken. Byggnader med låg golvnivå i förhållande till marknivån är särskilt känsliga.



Figur 10. <https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/risker-fuktskador/fuktrisker-for-grund/betongplatta-mark/risk-ytvatten/>.

7.5.4 Fukt under byggtiden

Under produktionsskedet är materialet i utsatt läge med risk för fuktpåverkan i form av regn, snö med mera. Viktigt är att täcka allt material, kontrollera fuktkvoter och om möjligt planera arbetet efter väderprognoser. Väderskydd ger ökad säkerhet och kan ge en besparing men ingår oftast inte i entreprenörernas offerter. För kontrollerad produktion kan med fördel ByggaF användas för att systematiskt hantera och dokumentera fuktsäkerheten vilket är branschstandard och gratis att använda.



Figur 11. https://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjalpmedel/fuktsaekert_byggande/byggaf_metoden/

8 Kontroller

Kontroll av plywood utformad som kantbalk. Laster för dessa beräkningar går att se i Bilaga 2.

8.1 Träberäkningar

För att kontrollera om en flerskiktsskiva av trä klarar att agera grundplatta måste olika verifieringar utföras. Dessa är de som identifieras som minimum:

- Tryck vinkelrätt fiberriktningen (vertikal last från vägg)
- Böjning (effekt från deformation i kantbalken, lastspridning till större yta)
- Dragkraft (effekt från lastspridning till större yta, mothåll från inre skivor)

8.1.1 Tryck vinkelrätt fiberriktningen

Bärförmåga för tryck vinkelrätt fiberriktningen kontrolleras enligt:

$$N_{c,90,Rd} = k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \cdot A_{ef}$$

$k_{c,90}$ finns givet för konstruktionsvirke (1,25) samt limträ (1,5). Värdet gäller för element som är helt understödd. För andra fall gäller värdet 1,0 vilket då skulle kunna antas gälla för plywood. Dock är plywood en limmad produkt likt limträ samt förstås generellt av trä vilket bör kunna användas som argument att använda ett högre värde. 1,25 väljs i detta fall.

$f_{c,90}$ är hållfasthet mot tryck vinkelrätt fibrer som varierar beroende på kvalitet och tjocklek. Ex. 10 MPa för 15 mm Moelven K20/70.

A_{ef} ger effektiv belastad area vilket beror på lastsituation. Effektiv area är faktisk area adderad med en lastspridningsarea inom träet, oftast 30-60 mm. Ex. syll 170 mm vid kant på grundplatta $170+30 = 200$ mm.

Exempel 15 mm Moelven K20/70 kantbalk, 170 mm syll med 120 upplag, 90 mm upptagningslängd (27° lastspridning genom syll):

$$N_{c,90,Rk} = 1,25 \times 10E6 \times ((0,12+0,03) \cdot 0,09) = 168,7 \text{ kN}$$

Dimensionerande värde tas fram genom att med givna faktorer kompensera för miljö och material (k_{mod} / γ_m).

$$N_{c,90,Rd} = 168,7 \times (0,8/1,2) = \mathbf{112,5 \text{ kN.}}$$

8.1.1.1. Differens lastpåverkan / lastkapacitet

För att verifiera om lasten kan hanteras kontrolleras kapaciteten mot lastvärdet där kvoten ska understiga 1,0.

$$q_{d,tot} = \mathbf{20,99 \text{ kN/m}} \Rightarrow 12,6 \text{ kN c/c 600 mm (per väggregel). Last hämtat från Bilaga 2.}$$

$$\mu = 12,6 / 112,5 = 0,112 \quad \text{OK!}$$

I detta har generell vindlast beaktats. Dock är eventuell differens liten, se laster i Bilaga 1, och bör inte påverka nämnvärt.

8.1.2 Böjning / Dragkraft

Tryck sker i grundplattans kant vilket ger upphov till deformation. Då deformationen är lokal, inte utspridd över hela plattan, kommer den del som inte deformeras hålla emot vilket ger böjspänningar i plattan samt normalkrafter i yttre skikten. Hur stor deformationen blir och därmed hur stor böjningen blir beror till stor del av markens beskaffenhet samt de isolerande skiktens egenskaper. Lös jord med cellplast ovanpå ger större deformationer än fast jord utan isolering eller med cellglas som isolerande skikt.

För en realistisk bedömning av momentnollpunkten i plattan, där deformationen kan tänkas vara noll, bör FE-modell användas. Manuella beräkningar är inte rimliga när det gäller elastisk grund som det blir med en plywoodplatta. Men för en sådan analys krävs information om marken, utan sådan information blir eventuella antaganden grova.

Se kapitel 9 för vidare information.

8.2 Totalstabilitet

Med en hög eller lång byggnad kan vindlaster ge upphov till instabilitet. En grundplatta av betong har hög vikt att hålla emot det eventuella vältande momentet som kan uppstå. Men en grundplatta av trä blir detta mothåll självklart avsevärt lägre. En kontroll av vältande moment kontra gynnsam last görs konservativt.

Densitet betong 2500 kg/m³

Densitet plywood 485 kg/m³

$$\zeta = 485 / 2500 = 0,194 \Rightarrow 19,4 \% \text{ av betongens densitet.}$$

8.2.1 Vindlast

Vindlastens grundvärde är uppskattat till $q_k = 0,605 \text{ kN/m}^2$ enligt EKS 11, baserat på $z = 6 \text{ m}$ samt terrängtyp 2. Lastvärde enligt Bilaga 1 zon D+E = $0,45 + [-0,24] = 0,69 \text{ kN/m}^2$. Räknar med snitthöjd vägg $h_{\text{snitt}} = (6,5 + 3,8)/2 = 5,15 \text{ m}$. Last förs dels ner till grunden, dels upp till tak.

$$Q_{k,\text{linje}} = 0,69 \times 5,15 / 2 = 1,777 \text{ kN/m}$$

$$\text{Vältande moment } M_{(-)} = 1,78 \times 6,5 = 11,55 \text{ kNm}$$

Hela byggnaden betraktas som stel kropp, hävarmen blir då lika med byggnadens längd i vindens riktning 10,6 m.

$$\text{Lyftkraft } q_{\text{lyft},m} = 11,55 / 10,6 = -1,09 \text{ kN/m.}$$

$$\text{Lyftkraft på tak med högsta formfaktor } -0,9 \text{ och bedd } e/10 = 1,0 \text{ blir } q_{\text{lyft}} = 0,605 \times -0,9 \times 1,0 = -0,54 \text{ kN/m. Totalt blir lasten } q_{\text{lyft,tot}} = -1,09 + [-0,54] = -1,63 \text{ kN/m}$$

8.2.2 Egentyngd

Som mothåll räknas främst ytterväggens och takets tyngd och vid behov även del av grundplattan. Väggens tyngd $q_{\text{vägg}} = 2,22 \text{ kN/m}$ och taket $q_{\text{tak}} = 2,57 \text{ kN/m}$ enligt tidigare uppskattning.

Lastkombination för stabilitet EQU-A 6.10 reducerar egentyngd (gynnsam last) med 10 % samt ökar vindlasten med 50 %. Takets verkande område är halva takytan.

$$q_{\text{vägg}} + q_{\text{tak}} - q_{\text{lyft,tot}} = 0,9 \times (2,22 + 2,57) + 1,5 \times (-1,63) = 1,998 + 2,57 - 2,445 = 2,123 \text{ kN/m}$$

8.2.3 Summa

Byggnadens vikt är tillräckligt hög för att motverka instabilitet förutsatt att byggnaden är tillräckligt robust. Det vill säga att skivverkan kan medräknas i väggar och tak. Byggnaden verkar dock inte beroende av grundplattans vikt.

Då detta är en grov kontroll kan det finnas behov av detaljstudier för kontroll av enskilda punkter.

9 Lokal analys

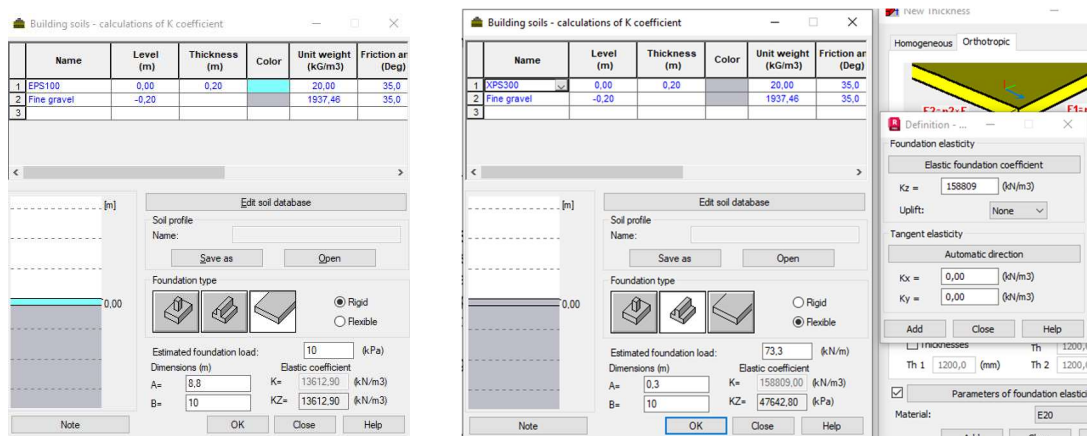
Lokala analyser för bättre förståelse för konstruktionens beteende.

9.1 Robot Structural Analysis Professional

FE-analys programmet från Autodesk används för att göra komplicerade alternativt tidskrävande beräkningar möjliga och effektiva. Genom att definiera randvillkor och lastförutsättningar i kombination med materialparametrar kan en bra bedömning göras gällande hur en konstruktion agerar i verkligheten. I detta fall används metoden för att göra en bedömning av grundplattan men med en liten mängd tillgänglig information behövs flera antaganden och begränsningar eller anvisningar till utföraren.

9.2 Avgränsningar / antaganden

Med antagande om morän i marken samt två lager 100 mm EPS100 erhålls bäddmodulen $K_z = 13613 \text{ kN/m}^3$ för plattan generellt. Under kantbalk antogs två lager styvare isolering, XPS300, vilket ger $K_z = 158809 \text{ kN/m}^3$ med 77 kPa ($A=0,3$, $B=10$). Med mer information går det att göra bättre bedömningar.



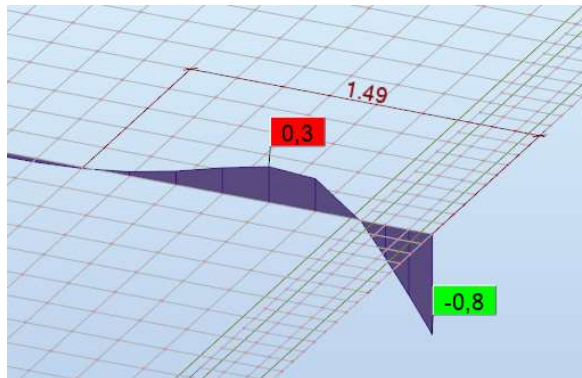
Figur 12. Beräkning av bäddmodul i RSAP, grundplatta.

Aktuell plywood är inte angiven och antogs därför vara eller motsvara Moelven Vänerply P20/70 till vilken materialuppgifter relativt enkelt går att hitta.

Uppgifterna läggs in i RSAP och plattan modelleras som 60 mm tjockt skikt plywood vilket i teorin motsvarar 4 st 15 mm limmade lager.

9.3 Resultat lokal analys

Med det elastiska stödet erhålls en förväntad deformation för en kantbelastad platta. De angivna värdena gäller de sedan tidigare antagna parametrarna. Fokus är riktad mot kantbalken.



Figur 13. Deformation, SLS (CHAR.).

A - A1 - (WNorm.) Direction X (mm)
Integral value = -0,2 (mm)*(m)

Cases: 10 (SLS:CHR) Component 1/2

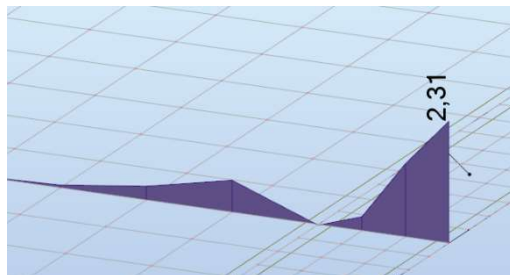
Momentet vinkelrät kanten ger var momentnollpunkten ligger, ca 1,09 m, vilket stämmer överens med en jämförelse med PEPS dimensioneringsverktyg (1,08 m). PEPS är dock avsett för betongplattor. Högsta momentet i ett snitt längs plattans mitt anges till 2 kNm/m i ett 120 mm tvärsnitt vilket ger $M_d = 2/0,12 = 16,67$ kNm.

Dimensionerande kapacitet i plywooden beräknas till:

$$M_{Rd} = f_{md} \times W \times k_{crit} = 20(0,8/1,2) \times ((1 \times 0,12^2)/6) \times 1,0 = 1,33 \times 0,0024 \times 1,0 = 32 \text{ kNm}.$$

Kontroll: $M_d < M_{Rd}$

$$\mu = 16,67 / 32 = 0,52 \quad \text{OK!}$$



Figur 14. Momentfördelning, ULS.

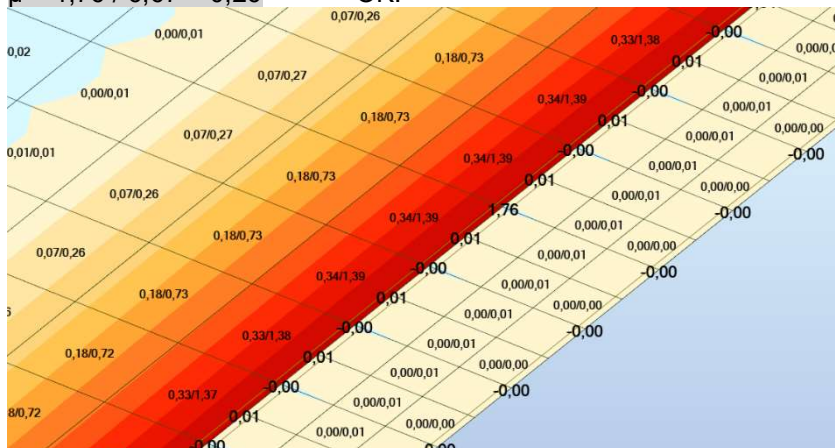
A - A1 - (M1) Direction X (kNm/m)
Integral value = 0,93 (kNm/m)*(m)

Cases: 4to6 top envelope

De angivna spänningarna i den dragna riktningen anges till maximalt 1,76 MPa vilket är långt under de $f_{t,d} = 6,67$ MPa som anges tillåtet.

Kontroll: $M_d < M_{Rd}$

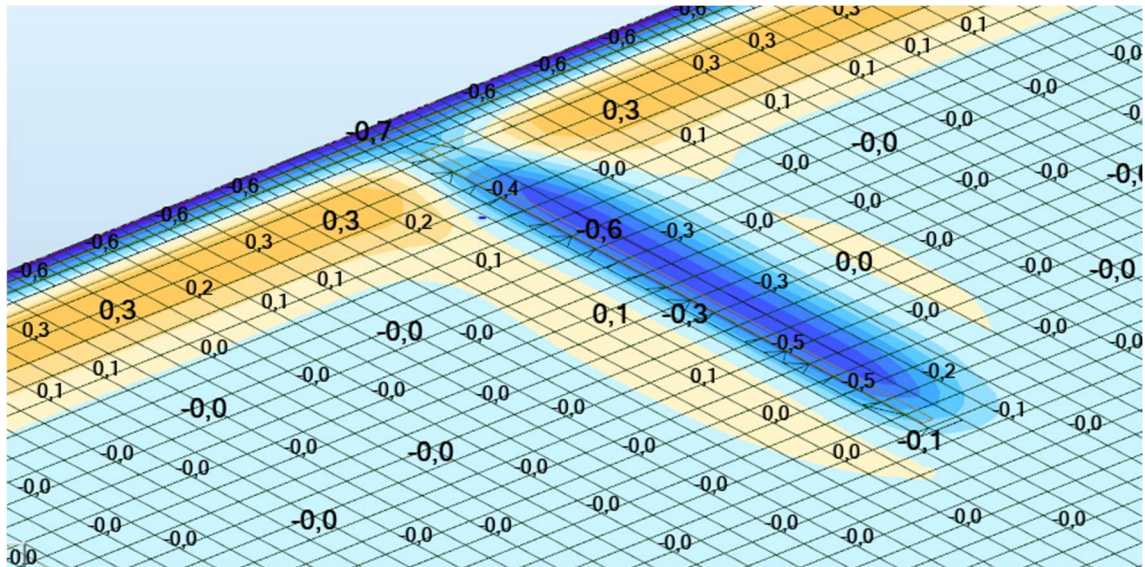
$$\mu = 1,76 / 6,67 = 0,26 \quad \text{OK!}$$



Figur 15. Spänningsfördelning, sxx-upper.

9.3.1 Förstärkning under bärande innervägg

Kontroll liknande ovan med RSAP görs för bärande innervägg. Antag utförande utan votförstärkning, enbart två lager styvare cellplast (XPS 300).



Figur 16. Deformation under bärande vägg.

Foundation type

☒ Rigid
☐ Flexible

Estimated foundation load: 11,5 (kN/m)

Dimensions (m)

A= 0,3
B= 5

Elastic coefficient

K= 245772,00 (kN/m³)
KZ= 73731,50 (kPa)

OK Close Help

Figur 17. Bäddmodul under bärande vägg.

Resultatet visar en deformation som är i linje med kantbalk och understiger 1 mm vilket bör kunna anses godtagbart. Spänningarna är lägre än de under kantbalk som redan kontrollerats med godkänt resultat.

10 Slutsats

Med de studier som gjorts av både tidigare och pågående arbeten med trägrunder samt de kontroller som gjorts av ett hypotetiskt fall görs bedömningen att en grundplatta av plywood går att bygga. En enkel princip presenteras i Bilaga 3.

Beräkningarna visar att för den byggnad beställaren önskar utföra bör inte spänningarna, böjningen eller trycket bli för högt för limmade plywoodskivor. Dock är resultatet omsvept av avgränsningar och antaganden som bör utredas vidare för ett fullgott resultat. Detta arbete bör betraktas som en förstudie men där resultatet är tillräckligt övertygande för att kunna rekommendera en princip.

Viktigt för att förstå resultatet är att utgångspunkten har varit 4 lager plywood limmade mot varandra med kantförstyvning med ytterligare 4 lager som rand. Varje limning måste utföras noggrant med press under limtiden, ex. skruvning i ett tätt symmetriskt mönster. Enbart skruvade skikt har inte kontrollerats. Utförandet kan mycket möjligt vara konstruktionslösningen svagaste punkt.

Infästning av stommen mot grunden har inte kontrollerats. Viktigt att tänka på är att utdragshållfastheten i trä är lägre än i betong vilket innebär fler infästningspunkter för en trägrund. Dock verkar inte lyftkraft från vind överstiga byggnadens egentyngd.

Det är av stor vikt att kontrollera fuktnivåer och bygga bort tillskottsfukt då trä är väldigt känsligt mot höga fuktnivåer. Det rekommenderas att skydda bygget fram till tätt klimatskal. Allt trä bör kontrolleras med fuktmätare innan det används i konstruktionen med målfuktkvot 12 %.

10.1 Rekommendation

För att utföra konstruktionen ska minst fyra lager 15 mm plywood användas med kantförstyvning där ytterligare fyra lager används. PUR- lim appliceras i jämna skikt mellan varje lager som pressas samman i 48 timmar. Inom KL-trä produktion används hydraulpress, men i avsaknad av detta skruvlimmas lagren med ett tätt symmetriskt mönster. Grunden ska ställas på väl dränerad mark med korrekt lutning från byggnaden för avvattning. Under byggtiden ska allt material hållas luftigt och undan från fritt vatten. Fuktmätning ska ske kontinuerligt för att säkerställa att fuktigt material inte byggs in och kontroller med hjälp av exempelvis ByggaF bör utföras.

Se figur i bilaga 3.

10.2 Fortsatta studier

För att få tydligare resultat, effektivare konstruktion eller alternativa lösningar skulle fortsatta studier behövas. Följande är exempel på ämnen som kan beaktas.

10.2.1 Minskning av tvärsnitt i badrum för lokal lutning mot brunn

För att nå rimliga höjder i badrum, eller undvika höga trösklar, vore det bra att undersöka effekten av att ta bort 1-2 skikt plywood. Enligt beräkningar är kapaciteten god i förhållande till belastning vilket indikerar att det kan gå bra. Utan vidare undersökning kan det dock inte garanteras. Ett möjligt alternativ är att minska mängden cellplast för att behålla mängden plywood (och därmed tvärsnittet) med 500 mm limmat överlapp i underkant.

10.2.2 Energi- och fukttransport

Hur mycket isolering krävs för att uppnå energikrav och samtidigt hålla fukt på en bra nivå. Hur högt ovan marknivå är rimligt att placera färdig golvnivå? Dessa saker påverkar i första hand höjder, men i förlängningen kan det påverka bärigheten om flera lager cellplast adderas. Fler skikt ger större deformation. Fler skikt plywood bör istället resultera i en mindre ökning av deformation.

10.2.3 Håltagning

Hur stora hål samt hur nära last kan ett hål placeras i grundplattan. Hål krävs för olika installationer så som V/A, el, värme med flera. Ett mindre hål ca 120 mm placerad innanför momentnollpunkt (ca 1,1 m från kantbalk) antags vara ok. Större hål eller närmare lastpunkt bör utredas.

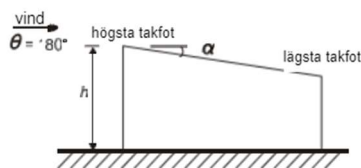
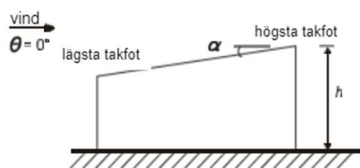
Bilaga 1. Vindlast

Taklutningen på byggnaden är 14°. Skillnaden mot formfaktorer för taklutning 15° är marginell och väljs därmed för enklare hantering. Formfaktorer på tak ger till största del lyftkrafter vilket måste kontrolleras med mothållande massa för stabilitet. Tryckande laster är upp till formfaktor 0,2 vilket ger 20 % av grundvärdet.

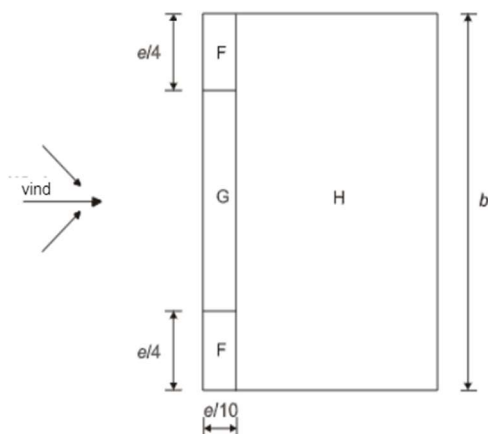
Tabell B 1. Formfaktorer tak.

Taklutning α	Zon för vindriktning $\Theta=0^\circ$						Zon för vindriktning $\Theta=180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1
	0	0	0	0	0	0						
15	-0,9	-2	-0,7	-1,5	-0,3	-0,3	-2,5	-2,8	-1,3	-2	-0,9	-1,2
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2						

Taklutning α	Zon för vindriktning $\Theta=90^\circ$									
	FUP		FLOW		G		H		I	
	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1	Cpe,10	Cpe,1
15	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2



(a) allmänt



(b) vindriktningar $\theta = 0^\circ$ och $\theta = 180^\circ$

e = det minsta av b eller $2h$

b : bredd vinkelrät mot vindriktningen

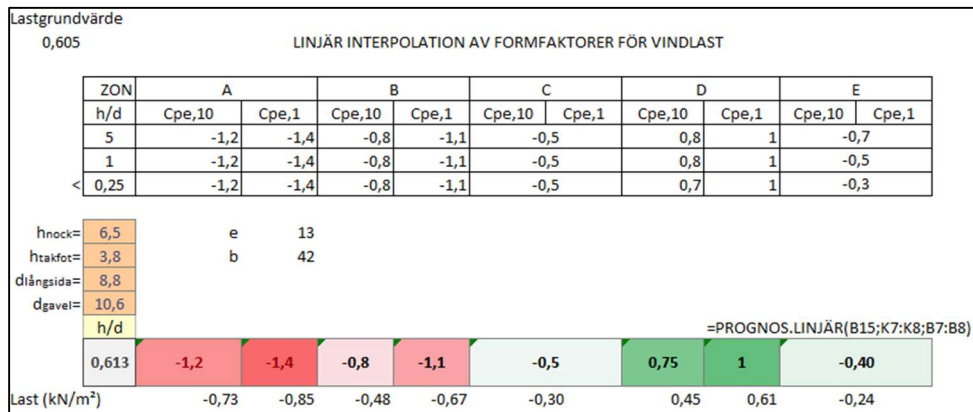
$h =$	6,5 m
$b =$	8,5 m
$e =$	8,5 m

=MIN(P18;2*P17)

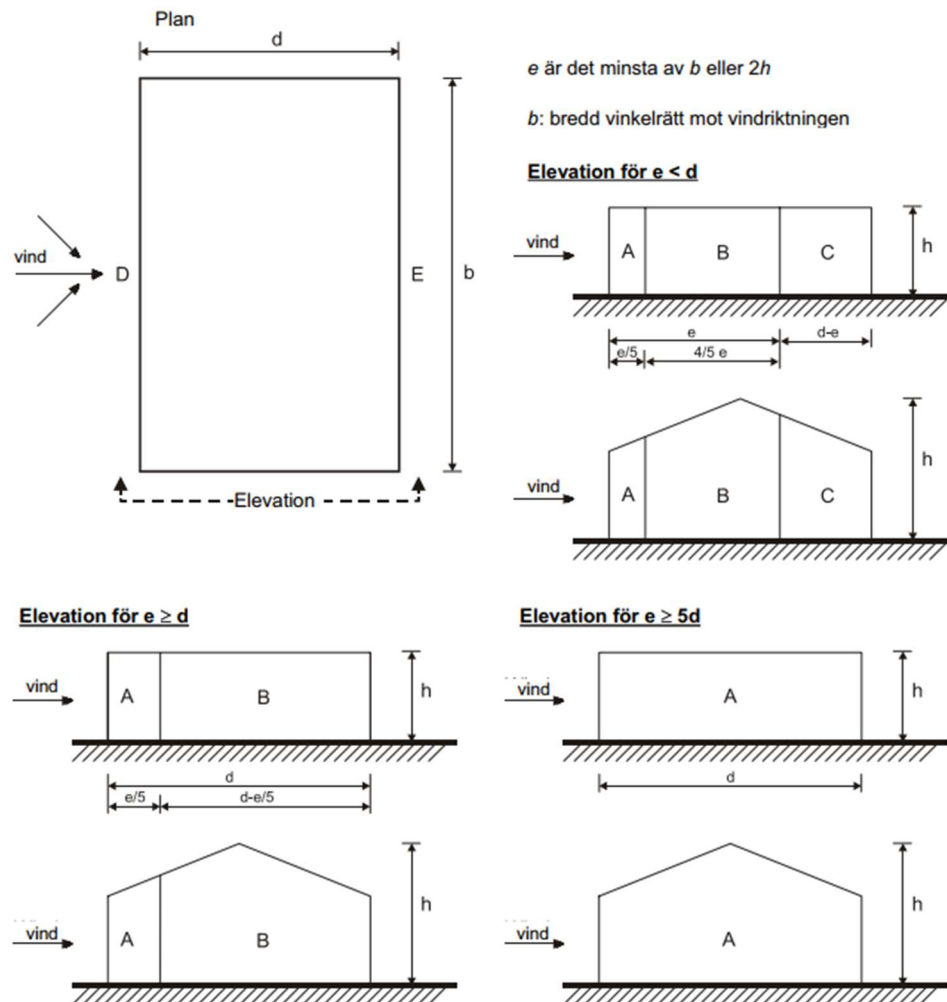
$e/10$ 0,9 m

Figur B 1. Formfaktorer pulpettak.

Väggarnas formfaktorer beror på vindriktning, bredd och höjd. Ett fall kontrolleras, där vinden är riktad mot den högsta väggen.



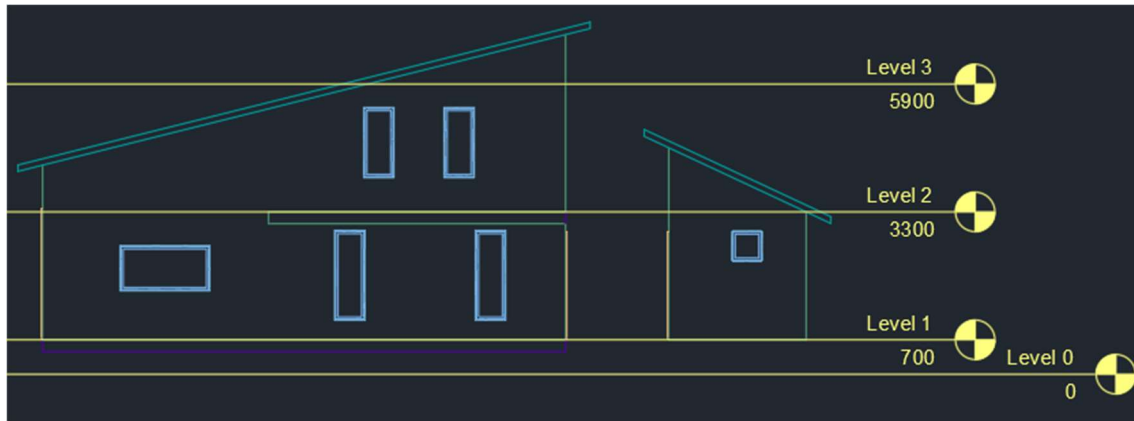
Figur B 2. Formfaktorer väggar.



Figur B 3. Zoner mot vägg enligt SS-EN 1991-1-4.

Bilaga 2. Lastnedräkning

En uppskattning av laster görs baserat på underlag från beställare i form av dwg-filer samt information om vägg- och takuppbbyggnad. Verifiering av olika hållfasthetsparametrar görs med hjälp av en blandning av handböcker från Svenskt Trä samt Eurokod med tillägg av EKS 11.



2.1 Yttervägg

Vägg enligt beställare:

Stående panel-spikläkt-luftläkt-vindduk-bärande regel 45x?-korsad regel 45x45-stående regel 45x95-ångbroms-spikläkt-innerpanel.

Informationen används i en egen beräkningsmodell för egentygnd i flerskiktsvägg baserat på generella densiteter.

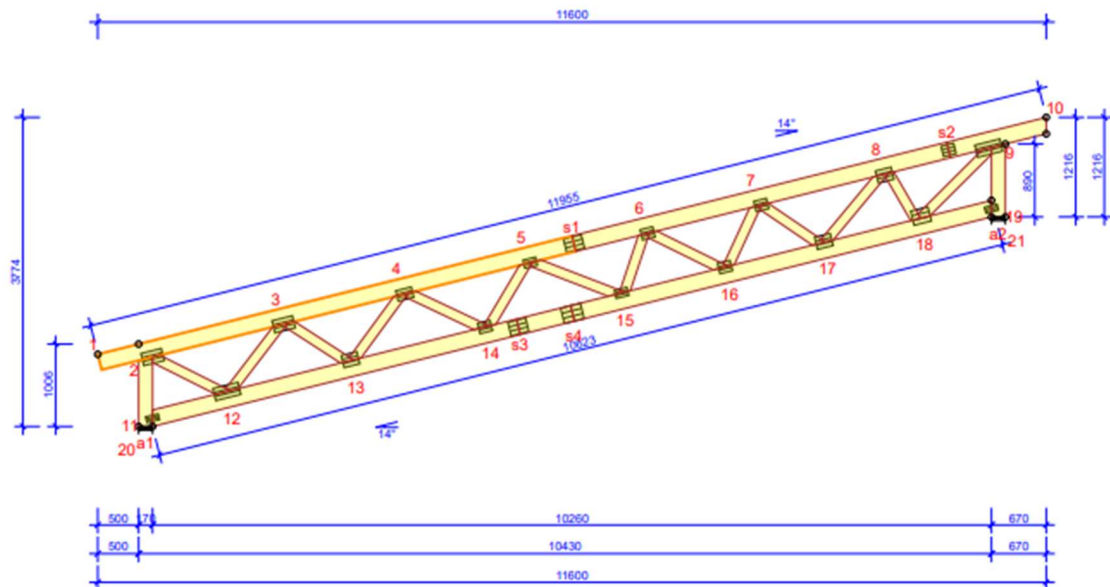
[illegible]

Väggen väger med den bedömningsmodellen $0,37 \text{ kN/m}^2$, eller för en 6 m hög vägg $2,22 \text{ kN/m}$.

2.2 Tak

Taket byggs av prefabricerade takstolar från Pilgrimsta. Sedan tidigare dimensionering sammanfattades tyngden enligt:

"Tak = stolar + isolering + råspont + takbeläggning + innertak = ca 0,5 kN/m²".



Figur 18. Takstol från Pilgrimsta.

Detta ger en linjelast baserat på spännvidd 10,27 m $q_{\text{tak}} = 0,5 \times 10,27/2 = 2,57 \text{ kN/m}$

2.3 Snölast

Snölast i Östersund $2,5 \text{ kN/m}^2$. Takvinkel 14° ger en projicerad last $S_k = 2,5 / \cos(14) = 2,577 \text{ kN/m}^2$. Detta ger en linjelast baserat på spännvidd 10,27 m $q_{\text{snö}} = 2,577 \times 0,8 \times 10,27/2 = 10,58 \text{ kN/m}$ (med formfaktor 0,8).

2.4 Last från vind

Tidigare beräkningsmodell i Statcon visar vindtryck $0,627 \text{ kN/m}^2$. Detta ger en linjelast på hammarbandet med $q_{k,v} = 0,627 \times 10,27/2 = 3,22 \text{ kN/m}$.

2.5 Total last mot grund

Summan av de karaktäristiska lasterna mot grunden blir enligt följande.

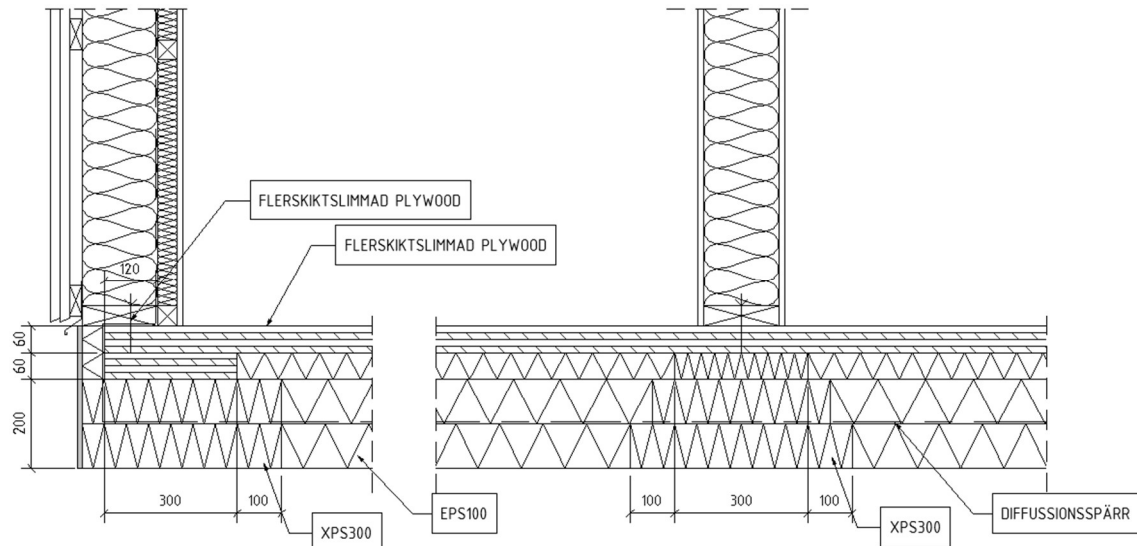
$$q_{k,\text{tot}} = 2,22 + 2,57 + 10,58 + 3,22 = 19,51 \text{ kN/m}$$

Den mest sannolika lastkombinationen för enskilt bostadshus av trä är STR-B 6.10b. Räknar i säkerhetsklass 2 utan att skilja mellan tak och övrig stomme.

$$q_{d,\text{tot}} = 0,91 (1,2(2,22 + 2,57) + 1,5(10,58 + 0,3 \times 3,22)) = 20,99 \text{ kN/m}$$

Bilaga 3. Konstruktionsprincip

Från de beräkningar och antaganden som gjorts har en princip arbetats fram. Som princip är den sund men den som eventuellt producerar grunden står själv för det ansvar som utförandet innebär.



Figur B 4. Konstruktionsprincip.

Följande parametrar har lett till Figur B 4:

- Plywood 15 mm Moelven K20/70
- Tjocklek kantbalk 120 mm
- Tjocklek platta 60 mm
- Cellplast under laster, lägst XPS 300
- Cellplast i övrigt, EPS 100
- Regelstomme 45x170, minst 120 mm upplag på kantbalk
- Ingen håltagning
- Väl sammanhållen platta från kantbalk till kantbalk