JÖNKÖPING UNIVERSITY

School of Engineering

HUR BEBYGGELSE I JÖNKÖPING KAN ANPASSAS FÖR ATT UNDVIKA SKADOR VID SKYFALL

HOW BUILDINGS IN JÖNKÖPING CAN BE ADAPTED TO AVOID DAMAGES DURING DOWNPOUR

Evelina Bexell

Signe Ljunggren

EXAMENSARBETE 2024

Byggnadsteknik

Postadress:
Box 1026
551 11 Jönköping

Besöksadress:
Gjuterigatan 5

Telefon:
036-10 10 00 (vx)

Detta examensarbete är utfört vid Tekniska Högskolan i Jönköping inom huvudområdet Byggnadsteknik. Författarna svarar själva för framförda åsikter, slutsatser och resultat.

Examinator: Amjad Al Musaed

Handledare: Ann-Marie Dahl

Omfattning: 15 hp

Datum: 2024-06-XX

Abstract

Introduction (and aim) – The project investigates an easier way to identify a property's main damage risks in the event of torrential rain. It also examines how buildings can be adapted to reduce the risk of damage. The project focuses on new production and starts from an area in Jönköping. Factors studied are risk of flooding, landslides, erosion and mudflows. The goal of the project is to find out how the design and location of buildings on the property can be adapted to reduce the risk of damage in the event of torrential rain with regard to the risk of flooding, erosion and landslides.

Method – To simplify the analysis of the conditions of different properties, these are classified according to terrain conditions within 500 m of the property according to slope (L), height difference (H) and erosion tendency (E). Terrain classes L and H were applied to existing terrain in an area just west of Jönköping center using ArcGIS Pro. Rainfall maps were made based on examples of different terrain classes with different building forms added to the terrain in MIKE21.

Results – When applying terrain classes, it was found that H-class 3 is more often found in areas with valleys and watercourses. H-class 2 is more common in flat areas and H-class 1 is most often found at the top of slopes. When compared with downpour mapping, floods are more likely in H-class 3. Downpour simulation of type terrain showed a connection between high H-class in combination with low L-class and increased risk of flooding.

Analysis – The risk of flooding is increased in areas with LH-class 12 and in areas with H-class 3. At L-class 2 or 3, the design of the building affects flood depth and flow speed when the building blocks the water's flow path. In these cases, both flow speed and flood depth are lower when the shape of the building offers easier diversion of the water's flow path.

Discussion – The shape of the building can have some effect on the flood depth when the building blocks the water's flow path with a greater effect in case of greater blockage. Locally low-lying terrain entails an increased risk of flooding. In the case of steeply sloping terrain, the risk of flooding decreases provided that the water's flow path is not blocked, but the risk of high flow rates and further erosion increases.

Keywords: Building, Downpour, Downpour simulation, Erosion, Flood, Jönköping, Terrain, Water flow,

Sammanfattning

Introduktion (och mål) – Projektet undersöker ett enklare sätt att identifiera en fastighets främsta skaderisker vid skyfall. Det undersöker också hur byggnader kan anpassas för att minska risken för skador. Projektet fokuserar på nyproduktion och utgår från ett område i Jönköping. Faktorer som studeras är risk för översvämning, ras, erosion och slamströmmar. Målet med projektet är att ta reda på hur byggnaders utformning och placering på fastigheten kan anpassas för att minska risken för skador vid skyfall med avseende på risk för översvämning, erosion och ras.

Metod – För att simplifiera analysen av olika fastigheters förutsättningar klassificeras dessa enligt terrängförhållanden inom 500 m från fastigheten efter lutning (L), höjdskillnad (H) och erosionsbenägenhet (E). Terrängklasserna L och H applicerades på befintlig terräng i ett område strax väster om Jönköping centrum med hjälp av ArcGIS Pro. Skyfallssimuleringar gjordes utifrån exempel av olika terrängklasser med olika byggnadsformer adderade till terrängen i MIKE21.

Resultat – Vid applicering av terrängklasser konstaterades att H-klass 3 oftare hittas i områden med dalar och vattendrag. H-klass 2 är vanligare i flacka områden och H-klass 1 hittas oftast i överkant av sluttningar. Vid jämförelse med skyfallskartering är översvämningar är mer sannolika i H-klass 3. Skyfallssimuleringar av typterräng visade samband mellan Hög H-klass i kombination med låg L-klass och ökad risk för översvämning.

Analys – Risken för översvämning är förhöjd i områden med LH-klass 12 samt i områden med H-klass 3. Vid L-klass 2 eller 3 påverkar byggnadens utformning översvämningsdjup och flödeshastighet när byggnaden blockerar vattnets flödesväg. I dessa fall blir både flödeshastighet och översvämningsdjup lägre när byggnadens form erbjuder enklare omledning av vattnets flödesväg.

Diskussion – Byggnadens form kan ha viss inverkan på översvämningsdjupet när byggnaden blockerar vattnet flödesväg med större inverkan vid större blockad. Lokalt lågt belägen terräng medför ökad risk för översvämning. Vid kraftigt lutande terräng minskar risken för översvämning förutsatt att vattnets flödesväg inte blockeras men risken för höga flödeshastigheter och vidare erosion ökar.

Nyckelord – Byggnad, Erosion, Jönköping, Skyfall, Skyfallssimulering, Terräng, Vattenflöde, Översvämning

Innehållsförteckning

1 Introduktion 1

1.1 BAKGRUND OCH PROBLEMFORMULERING 1

1.2 MÅL OCH FRÅGESTÄLLNING 2

1.3 AVGRÄNSNINGAR 2

2 Teoretiskt ramverk 3

2.1 KLASSIFICERING AV SKADOR PÅ BYGGNADER 3

2.2 BYGGNADERS SÅRBARHETSKLASS 4

2.3 FÖRUTSÄGBARHET AV SKADOR 5

2.4 TERRÄNGENS EGENSKAPER OCH EROSION 5

2.5 FRÅGESTÄLLNINGENS KOPPLING TILL TEORETISKT OMRÅDE 7

3 Metod och genomförande 9

3.1 FRÅGESTÄLLNINGENS KOPPLING TILL METODVAL 9

3.2 STUDIENS FÖRUTSÄTTNINGAR 9

3.3 EMPIRIINSAMLING 10

3.3.1 Utformning av klassificeringar 10

3.3.2 Applicering av klassificering på befintlig terräng 12

3.3.3 Skyfallssimulering på exempelterräng 12

3.4 ARBETSGÅNG 13

3.5 ANALYSMETOD 14

3.6 TROVÄRDIGHET 14

4 Resultat 15

4.1 EMPIRI 15

4.1.1 Applicering av klassificering på terräng 15

4.1.2 Skyfallssimulering av typterräng 16

4.2 ANALYS AV EMPIRI 34

4.2.1 Hur påverkar byggnadens utformning belastningen vid skyfall? 34

4.2.2 Vilka yttre faktorer påverkar belastningen på en byggnad vid skyfall? 36

4.2.3 Hur kan byggnader i Jönköpings kommun anpassas för att minska risken för skador vid skyfall? 37

5 Diskussion 38

5.1 RESULTATDISKUSSION 38

5.1.1 Hur påverkar byggnadens utformning belastningen vid skyfall? 38

5.1.2 Vilka yttre faktorer påverkar belastningen på en byggnad vid skyfall? 38

5.1.3 Hur kan byggnader i Jönköpings kommun anpassas för att minska risken för skador vid skyfall? 38

5.2 METODDISKUSSION 39

6 Slutsatser och förslag till vidare forskning 40

Referenser 41

1 Introduktion

Projektet innefattar att undersöka hur byggnaders utformning kan anpassas för att minska risken av skador vid skyfall i Jönköpings kommun. Undersökning kommer innefatta både fallstudie och experiment för att undersöka hur byggnader kan placeras och utformas för att få en minskad belastning vid skyfall. Projektet kommer fokusera på nybyggnation och de faktorer som kommer studeras är risk för översvämning, ras, erosion och slamströmmar.

1.1 Bakgrund och problemformulering

Mer extremt väder till följd av klimatförändringarna leder till ökad risk för översvämning. I Jönköping kombineras detta med topografiska utmaningar med närhet till flera sjöar och sluttningar mot stadens kärna. Detta gör att Jönköping är särskilt utsatt när det kommer till risker för översvämning, skred, ras och erosion. Speciellt de mest tätbebyggda områdena i stadens kärna med låglänt terräng och närhet till de tre sjöarna Vättern, Munksjön och Rocksjön löper stor risk att översvämmas.

Klimatförändringarna är idag ett faktum som vi i framtiden kommer behöva anpassa oss efter. Med klimatförändringarna kommer också mer extremt väder, något som också blivit uppenbart de senaste åren. Statistik från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut [SMHI] (2023) visar att trenden går mot att årets största dygnsnederbörd ökar. Enligt SMHI Skyfall (2023) definieras skyfall som minst 50 mm nederbörd på en timme eller 1 mm på en minut. Detta blir alltså vanligare. Samtidigt blir det vanligare med långa perioder av torka, något som gör marken hårdare och mindre genomsläpplig när det regnar på den igen (Naturvårdsverket, u.å).

Områden som ligger lågt och nära större sjöar är särskilt känsliga för översvämningar vid skyfall och områden där terrängen är sådan att vatten ansamlas från ett större område är känsligt för att drabbas av stora flöden. Jönköping är särskilt drabbat då det ligger nära flera sjöar och vattendrag. Dessutom är terrängen mycket kuperad med sluttningar in mot staden vilket skapar både stora risker för översvämning och stora flöden in mot stadskärnan i Jönköping. I synnerhet de delar av Jönköping som är mest tätbebyggda ligger närmast de tre större sjöarna Vättern, Munksjön och Rocksjön samtidigt som Tabergsån rinner ut i Munksjön och vidare Vättern genom stadskärnan. Det finns också mycket bebyggelse med bevarandevärde i känsliga områden, vilket försvårar möjligheterna att göra förebyggande insatser.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap [MSB] identifierar tillsammans med Statens geotekniska institut [SGI] (2017) södra Vätternområdet som ett område med hög risk för översvämning, erosion, ras och slamströmmar. MSB och SGI menar att det finns en betydande risk för översvämning längs Tabergsån vid höga flöden, att Vätterns vattennivå vid Jönköping stiger med cirka 1,4 mm per år, vilket kan leda till översvämningar i staden, och att stränderna vid tätorterna runt Jönköping har en betydande erosion längs stränderna. De menar också att erosionen längs Vättern är kopplad till ras längs de branta stränderna och att det finns stora förutsättningar för ras i morän och slamströmmar i området.

Förutom de geografiska svårigheterna har Jönköping, enligt Jönköping kommun (2023), också ett gammalt vatten- och avloppssystem där spill- och dagvatten hanteras i samma ledningar. Detta i kombination med de stora höjdskillnaderna som finns gör att om ledningarna fylls över sin kapacitet med dagvatten är risken stor att spillvatten pressas upp genom avlopp och att byggnader översvämmas.

Jönköping kommun (2023) arbetar med vissa åtgärder för att hantera vattenmassorna vid ett skyfall på storskalig nivå i stadsplaneringen, exempelvis genom anpassning av gator och utformning av ytor som kan översvämmas utan att ta skada samt genom ett kontinuerligt arbete med att byta ut ledningarna i staden vatten- och avloppssystem. Däremot saknas tydligt underlag för hur den enskilde byggherren kan anpassa sin byggnad för att minska belastningen på den egna fastigheten eller underlätta hanteringen av vattenflöden. Det är ett problem då det leder till att fastigheter utformas mindre optimalt med hänsyn till skyfall.

1.2 Mål och frågeställning

Huvudmålet med denna studie är att fastställa hur utformning och placering av byggnader kan påverka de platsspecifika riskerna förknippade med skyfall i Jönköping. Detta innebär att utvärdera hur byggnadens form och terrängförhållanden i närområdet påverkar vilken typ av utmaningar som behöver hanteras. Utmaningar som undersöks är översvämning samt ras, erosion och slamströmmar till följd av vattenflöden. Ett delmål är också att kunna klassificera fastigheter utifrån omgivande terrängförhållanden, som höjdskillnader, lutning och erosionsbenägenhet. Detta för att kunna göra en generell bedömning av risker och lämpliga åtgärder på fastigheten utifrån olika förutsättningar.

Frågeställningarna som ligger till grund för arbetet är:

- Hur påverkar byggnadens utformning belastningen vid skyfall?
- Vilka yttre faktorer påverkar belastningen på en byggnad vid skyfall?
- Hur kan byggnader i Jönköpings kommun anpassas för att minska risken för skador vid skyfall?

Hypotesen är att byggnader med större väggar mot det hållet det mesta vattnet kommer ifrån kommer vara de byggnader där skyfallets påverkan är störst. De byggnaderna med utformning där exempelvis det är ett hörn mot det hållet där det mesta vattnet vid skyfallet kommer ifrån kommer troligtvis påverkan vara betydligt mindre.

1.3 Avgränsningar

Projektet kommer fokusera på Jönköpings kommun och de områden runt Vättern, Munksjön och Rocksjön som är särskilt utsatta för översvämning samt de sluttningar runt staden där det kan uppstå stora vattenflöden vid skyfall. Specifikt kommer ett område strax väster om Jönköpings centrum studeras. Projektet kommer också endast fokusera på nybyggnation. Byggnaders sårbarhet kommer studeras utifrån omgivande terräng och form och hur detta påverka översvämning och vattenflöden. Specifika byggnadsdetaljer studeras inte i projektet.

2 Teoretiskt ramverk

I detta avsnitt presenteras den teori som ligger till grund för arbetet.

2.1 Klassificering av skador på byggnader

Skador på byggnader vid översvämning kan delas in i 5 olika klasser beroende på skadans omfattning (H Maiwald & J Schwarz 2008). Klasserna används för att bedöma allvarlighetsgraden på byggnadens skador. En högre klass medför alvarligare skador (se Tabell 1).

Tabell 1: Tilldelning av skadeklasser

Skadeklass	Skada		Beskrivning
	Strukturell	Icke-strukturell	
D1	Ingen	Liten	Inträngning av fukt
D2	Ingen till liten	Måttlig	Mindre sprickor i bärande konstruktionselement Läckage vid fönster och dörrar
D3	Måttlig	Stor	Stora sprickor och/eller deformationer i bärande väggar och bjälklag Sättningar
D4	Stor	Mycket stor	Strukturell kollaps av bärande väggar och/eller bjälklag
D5	Mycket stor	Mycket stor	Kollaps av byggnaden eller stora delar av byggnaden

Klass D1 innebär inträngning av fukt med ingen strukturell skada och liten icke-strukturell skada. Klass D2 innebär mindre sprickor i bärande konstruktionselement samt läckage vid fönster och dörrar ingen till liten strukturell skada och måttlig icke-strukturell skada. Klass D3 innebär stora sprickor och/eller deformationer i bärande väggar och bjälklag samt, sättningar med måttlig strukturell skada och stor icke-strukturell skada. Klass D4 innebär strukturell kollaps av bärande väggar och/eller

bjälklag med stor strukturell skada och mycket stor icke-strukturell skada. Klass D5 innebär kollaps av byggnaden eller stora delar av byggnaden med mycket stor strukturell skada och mycket stor icke-strukturell skada. (H Maiwald, och J Schwarz 2008)

2.2 Byggnaders sårbarhetsklass

Olika byggnader är olika känsliga för översvämning. Byggnader föreslås därför delas in i fem olika sårbarhetsklasser baserat på byggnadens sårbarhet mot översvämning, i enlighet med den indelning som görs av Maiwald och Schwarz (2008). Klasserna täcker olika nivåer av översvämningsmotstånd i fem kategorier. Klasserna är HW-A till HW-E. där A är mycket känslig, B är känslig, C är normal, D är ökat översvämningsmotstånd och E är i princip resistent mot översvämning (se Tabell 2).

Tabell 2: Tilldelning av sårbarhetsklasser

Sårbarhetsklass	Beskrivning
HW-A	Mycket känslig
HW-B	Känslig
HW-C	Normal
HW-D	Ökat motstånd
HW-E	Resistent

Klass HW-A är mycket känslig. Detta innebär att byggnader i denna klass riskerar stora skador redan vid relativt lågt översvämningsdjup och låga flödeshastigheter. Lerhus tillhör normalt denna klass. Träregelhus och korsvirkeshus kan tillhöra denna klass. I vissa fall kan även murade hus tillhöra denna klass. (Maiwald och Schwarz (2012)

Klass HW-B är känslig. Detta innebär att byggnader i denna klass riskerar relativt stora skador redan vid relativt lågt översvämningsdjup och låga flödeshastigheter. Träregelhus och korsvirkeshus tillhör normalt denna klass. Murade hus kan tillhöra denna klass. (Maiwald och Schwarz (2012)

Klass HW-C är normalt känslig. Detta innebär att byggnaden kan få vissa skador vid lågt översvämningsdjup och låga flödeshastigheter och mer omfattande skador vid lite större översvämningsdjup och högre flödeshastigheter. Murade hus tillhör normalt denna klass. Träregelhus kan tillhöra denna klass. I vissa fall kan även korsvirkeshus och armerade betonghus tillhöra denna klass. (Maiwald och Schwarz (2012)

Klass HW-D har ökat motstånd. Detta innebär att byggnaden klarar sig bättre än andra byggnader och först får stora skador vid kraftig översvämning och stora

flödeshastigheter. Armerade betonghus tillhör normalt denna klass. I vissa fall kan murade hus tillhöra denna klass. (Maiwald och Schwarz (2012)

Klass HW-E är i stort set resistent. Det innebär att byggnaden kan klara stora översvämningar och flödeshastigheter utan strukturella skador. Hus som har utformats för att vara översvämningsresistenta tillhör normalt denna klass. Armerade betonghus kan tillhöra denna klass. (Maiwald och Schwarz (2012)

Maiwald och Schwarz (2008) påpekar att med hjälp av vissa byggnadsmaterial kan sårbarhetsklassen bestämmas direkt men för vissa material är det inte lika förutsägbart vilken klass bygganden kommer tillhöra.

2.3 Förutsägbarhet av skador

Maiwald och Schwarz visar i en artikel publicerad 2015 på hur modellen kan användas för att på ett relativt tillförlitligt sätt förutsäga skador som uppstår vid en översvämning. I rapporten presenteras 3 olika beräkningsmodeller som alla ger något olika resultat. Samtliga modeller har gett resultat nära verkligheten när de har applicerats på tidigare översvämningar, men vilken version som har stämt bäst har varierat vid olika tillfällen.

Maiwald et al. (2022) presenterar fem varianter på vidare utveckling av funktionerna som presenterats i tidigare artiklar. Dessa funktioner presenteras även med konstanter som har bestämt med en icke-linjär regressionsprocess för olika sårbarhetsklasser av byggnader (HW-A till HW-D). Vid undersökning av fel vid jämförelse mellan förutsagda och rapporterade skador konstateras att funktionen

$$D_m = 2{,}5 \cdot \tanh\left(C_1 \cdot h_{gl} + C_2 \cdot h_{gl} \cdot v_{fl} + C_3\right) + 3{,}5$$

ger resultat med minst fel på omkring 6.3–8.2%. I funktionen är h_{gl} översvämningsnivå över golvhöjd, v_{fl} flödeshastighet och C_1, C_2 och C_3 konstanter som beror på byggnadens sårbarhetsklass (se Tabell 3).

Tabell 3: Konstanter för beräkning av förväntad skada

	C_1	C_2	C_3
HW-A	0,255	0,066	-0,572
HW-B	0,135	0,053	-0,621
HW-C	0,062	0,042	-0,647
HW-D	0,035	0,030	-0,650

2.4 Terrängens egenskaper och erosion

Terrängens egenskaper påverkar var vatten ansamlas vid ett skyfall samt var vattenflödet blir starkast. Det påverkar i sin tur erosionen. Naturligt befinner sig terrängen i jämviktsläge (Boverket, 2020) men om jämvikten rubbas kan ras eller skred

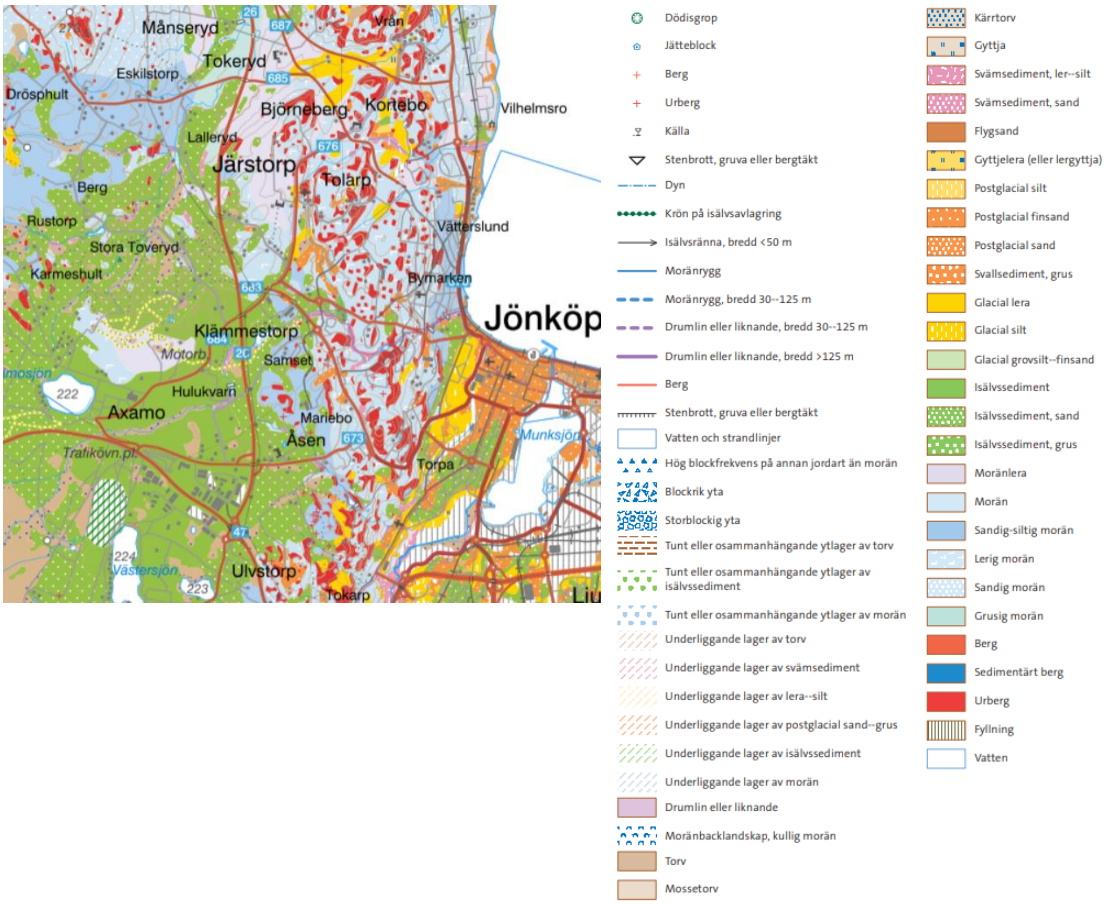
utlösas. Exempel på faktorer som kan rubba balansen kan vara förändringar i markvattenförhållanden, erosion, ökade belastningar eller förändring av markens stabilitet. Då terräng manipuleras i samband med byggnation ökar alltså risken för att ett ras på platsen ska inträffa. Om ras eller kraftig erosion sker i mark som är viktig för en byggnads grundläggning kan detta leda till skador på byggnaden då markstödet försvinner.

Marion och Wimpey (2017) menar i en studie som undersöker slitage på vandringsleder att vandringsleder som placeras längs med fallinjen (den linje som ytvatten flödar i) har ökad risk för erosion, breddning och lervälling. Effekten är i synnerhet tydlig vid kraftiga lutningar. Vandringsleder som i stället går vinkelrätt mot fallinjen har i stället låg sannolikhet för att drabbas av problem.

I en annan studie av Marion och Wimpey (2019) gjord för att titta på erosion, breddning och lervälling på vandringsleder kom de fram till att det finns ett samband mellan lutning och erosionen, desto mer det lutar desto mer erosion. Den största erosionen är på lutningar som är över 20%. Studien visar att platt mark är bäst för erosion men både breddning och lervälling blir sämre vid platt mark då vattnet kan bli stående, speciellt om marken är dåligt dränerad.

I **Fel! Hittar inte referenskälla.** visas de olika jordarterna i Jönköping och de vanligaste jordarterna i västra delarna av Jönköping är lerig morän, sandig-siltig morän, urberg, glacial silt och isälvssediment grus. I de delar av Jönköping som är flackare är det vanligare med mer erosionsbenägna jordarter såsom isälvssediment och de delar med kraftigare lutning har större andel fastare jordarter som lerig morän och urberg.

Figur 1: Jordarter i Jönköping



Kommentar. Från ” Kartvisaren Jordarter 1:25 000-1:100 000”, av Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), u.å., (https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html). Använd enligt licens CC0.

2.5 Frågeställningens koppling till teoretiskt område

Byggnadens utformning påverkar vilken sårbarhetsklass den hamnar i. För att avgöra hur byggnadens utformning påverkar skaderisken vid skyfall behöver sambandet mellan utformningen och sårbarhetsklassen studeras.

Yttre faktorer, som omgivande terräng och marktyp påverkar flödeshastigheten och infiltrationen vilket påverkar översvämningsdjupet. För att avgöra vilken effekt dessa faktorer har behöver de analyseras för att se hur flödet och översvämningsdjupet påverkas

Utifrån hur byggnadens utformning påverkar sårbarhetsklassen samt hur yttre faktorer påverkar flödet och översvämningsdjupet kan slutsatser dras om hur byggnader bör utformas för att minska risken för skador beroende på var de ska placeras.

3 Metod och genomförande

För att besvara frågeställningarna används metoderna fallstudie och ett kvantitativt experiment i form av datorsimuleringar. Säfsten och Gustavsson (2019) beskriver en fallstudie som en studie om ett eller flera fall och det kan användas för att testa eller utveckla teorier. Fallstudien används då projektet endast undersöker området i västra delen av Jönköping där teorin som uppkommit testas på området. Enligt Säfsten och Gustavsson (2019) är kvantitativ något som syftar på kvantitet, antal, storlek och uttrycks numeriskt. Säfsten och Gustavsson (2019) beskriver experiment som något som beskriver, förklarar och upptäcker, det används främst för att upptäcka hur något beter sig i olika scenarier. Kvantitativt experiment används i projektet för att kunna undersöka generella scenarier som kan bli relevanta för framtida bebyggelse.

Till grund för experimentens genomförande ligger terrängdata, väderdata och skyfallskarteringar fån Lantmäteriet, Länsstyrelsen och Sveriges Metrologiska Institut (SMHI). Datorsimuleringar används för datainsamling och detta kompletteras med sammanställning av terräng- och väderdata. Terrängdata används för att klassificera terrängen för att i simuleringarna undersöka ett begränsat antal scenarier och samtidigt få en bred bild av förutsättningar vid olika förhållanden. Programvarorna som används är ArcGIS Pro för analys av terräng och hantering av data samt MIKE21 för skyfallssimulering.

3.1 Frågeställningens koppling till metodval

Hur påverkar byggnadens utformning belastningen vid skyfall?
För att svara på denna frågeställning utförs experiment i form av skyfallssimuleringar där varierande utformning på byggnaden undersöks för att avgöra vilken skillnad utformningen gör. Tre former på byggnaden undersöks för varje terrängtyp vilket ger möjligheter att analysera hur byggnadens form genomgående påverkar belastningen vid skyfall. Formerna som undersöks är rektangulär, L-formad och rund.

Vilka yttre faktorer påverkar belastningen på en byggnad vid skyfall?
För att svara på denna frågeställning utförs en klassificering av terrängen runt fastigheter utifrån faktorerna lutning och höjdskillnad indelade i 3 klasser för respektive faktor. Experiment i form av skyfallssimuleringar görs också där samtliga klasser undersöks för att identifiera samband mellan omgivande terräng och belastning på byggnaden vid skyfall.

Hur kan byggnader i Jönköpings kommun anpassas för att minska risken för skador vid skyfall?
Frågeställning besvaras genom en sammanställning av resultaten från experimenten utifrån byggnadens utformning och omgivande terräng för att skapa en bild av hur byggnadens utformning bör anpassas beroende på terrängförhållanden.

3.2 Studiens förutsättningar

Jönköpings kommun är samarbetspartner i projektet och tar fram den data som behövs till projektet samt svarar på frågor som uppstår. Projektet är fokuserat på Jönköping

därför är Jönköpings kommun en bra aktör att arbeta med på grund av den data som finns på de olika avdelningarna på kommunen.

Terränganalys genomfördes i ArcGIS Pro med laserdata skog från Lantmäteriets Geodatabas som grund för terrängen. Analysen genomfördes grovt med flera förenklingar av datan och med hjälp av en rad funktioner. Området som analyserades är i huvudsak sluttande terräng med lutning mot Munksjön.

Skyfallssimuleringar genomfördes med hjälp av MIKE 21 på modeller av exempelfall av de terrängklasser som definierats.

Området som simuleringarna jämförs med är de västra delarna av Jönköping som består av lite plattare områden i de mer centrala delarna av Jönköping. Sedan finns ett område som lutar ned mot Jönköpings centrum och Vättern.

3.3 Empiriinsamling

3.3.1 Utformning av klassificeringar

För att simplifiera analysen av olika fastigheters förutsättningar klassificeras dessa enligt terrängförhållanden inom 500 m från fastigheten. Terrängen delas in i tre klasser utifrån genomsnittlig lutning (L), andel terräng som ligger högre än fastigheten (H), samt erosionsbenägenhet (E). Klassificeringarna sammanställs sedan som en tresiffrig kod med formatet LHE för att effektivisera och standardisera undersökningen av terrängklasser. L-klassen spänner från klass 1 (låg lutning) till 3 (hög lutning). Exakta valda parametrar för L-klassen presenteras i Tabell 4. H-klassen spänner från klass 1 (majoriteten av omgivande terräng lägre än fastigheten) till 3 (majoriteten av omgivande terräng högre än fastigheten). Exakta valda parametrar för H-klassen presenteras i Tabell 5. E-klassen spänner från klass 1 (låg erosionsbenägenhet) till 3 (hög erosionsbenägenhet). Exakta valda parametrar för E-klassen presenteras i Tabell 6.

Tabell 4: L-klass

Genomsnittlig lutning	L-klass
<10%	1
10%-20%	2
>20%	3

L-klasserna valdes för att avgöra om marken har en kraftig lutning eller en låg lutning.

Tabell 5: H-klass

Alternativ 1	Alternativ 2	H-klass

Andel terräng högre än fastigheten	Skillnad mellan medelhöjd och mittens höjd	
<40%	< -2 m	1
40%-60%	-2 – 2 m	2
>60%	> 2 m	3

H-klasserna valdes för att avgöra om vatten vid ett skyfall till största del rinner mot fastigheten eller bort från fastigheten. Två alternativ skapades då alternativ 1 fungerar bättre vid en godtycklig bedömning av fastighetsägaren och alternativ 2 fungerar bättre vid en exakt bedömning med datorstöd. Värdena bestämdes godtyckligt.

Tabell 6: E-klass

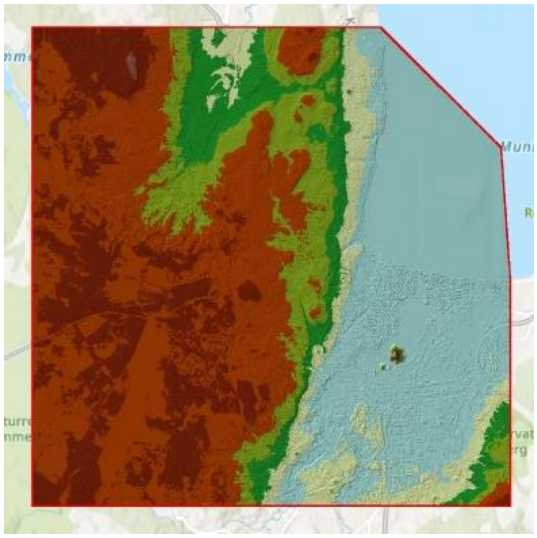
Erosionsbenägenhet	E-klass
Låg	1
Medel	2
Hög	3

E-klasserna valdes för att avgöra risken för att vattenflöden för med sig partiklar från marken. Låg erosionsbenägenhet bedöms föreligga om marken till största del består av blandade jordarter med stor variation i kornstorlek och ytan består av hårdgjord yta, såsom betong, asfalt eller tegel, eller är täckt av vegetation i varierande storlek (träd, buskar och gräs/örter). Hög erosionsbenägenhet bedöms föreligga om marken till största del består av luckra jord- eller sandlager med relativt liten kornstorlek utan större variation och minst 50% av marken saknar vegetation. Medel erosionsbenägenhet bedöms föreligga då marken inte kan bedömas som vare sig låg eller hög. Exempelvis kan terräng med blandade jordarter med varierande kornstorlek och stora vegetationsfria ytor bedömas ha medel erosionsbenägenhet. På samma sätt kan sandiga jordar med kraftig vegetation bedömas ha medel erosionsbenägenhet.

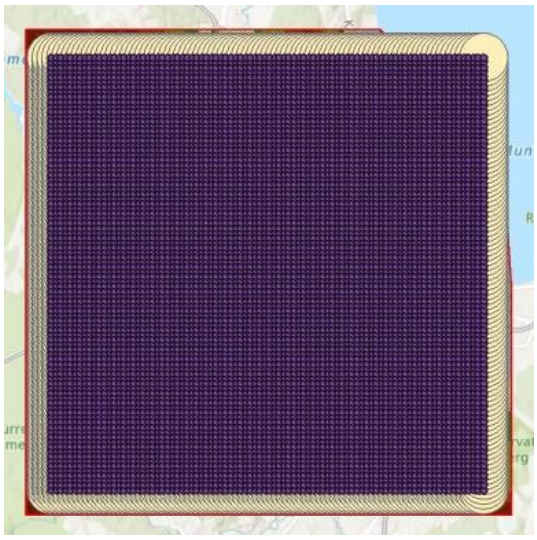
3.3.2 Applicering av klassificering på befintlig terräng

Klasserna för L och H applicerades med hjälp av ArcGIS Pro på ett område om ca 10 x 10 km strax väster om Jönköpings centrum. Detta gjordes genom att Laserdata från Lantmäteriet för området omvandlades från .laz-format till .las-format med hjälp av verktyget ”Convert LAS”. Punkter som hade annan klassning än mark sorterades bort från datan. Därefter sattes LAS-filerna samman i en datauppsättning med verktyget ”Create LAS Dataset”. Datan tunnades sedan ut med ”Thin LAS” med 0,1 m som målskärpa i höjdled och 1 m som målskärpa i sidled. De nya LAS-filer som skapades sammansattes i en datauppsättning med ”Create LAS Dataset”. Den uttunnade LAS-datauppsättningen konverterades till en TIN (Triangulated Irregular Network) med verktyget ”LAS Dataset To TIN” med en ytterligare uttunning med 10% slumpmässig uttunning (se Figur 2). Därefter skapades en polygon-”Feature Class” och en punkt-”Feature Class”. En cirkel med Radien 500 m ritades i polygonklassen och en punkt placerades i punktklassen i cirkelns mitt. Dessa flyttades till områddets sydvästra hörn oc h verktyget ”Array” användes för att skapa 90 x 90 cirklar och punkter med ett centrumavstånd på 100 m (se Figur 3). Verktyget ”Add Surface Information” användes för att beräkna medel höjdkordinat och genomsnittlig lutning på cirklarna och höjdkordinat för punkterna. Attributtabellerna för cirklarna och punkterna sammanfogades med ”Join Table” i attributtabellen för punkterna. Ett fält för beräkning av skillnaden av cirkelns medel höjdkordinat och punktens höjdordinat adderades i attributtabellen för punkterna. Slutligen användes verktyget ”Point To Raster” för att skapa en raster utifrån punkternas tabellvärden. En raster med meddellutning och en raster med skillnaden av cirkelns medel höjdkordinat och punktens höjdordinat skapades. Symbioloogin för rastererna anpassades för att fördela efter de L- och H-klasser som hade definerats.

Figur 2: TIN-data visualiserad



Figur 3: Array av cirklar och punkter



3.3.3 Skyfallssimulering på exempelterräng

Skyfallssimuleringarna gjordes med hjälp av laserdata för Jönköping från Lantmäteriet. Datan från Lantmäteriet bearbetades först i ArcGIS Pro för att generera terrängmodeller, det importerades sedan till MIKE 21 för att göra

skyfallssimuleringarna. Laserdatan från Lantmäteriet importerades till ArcGIS Pro för att formatet på laserdata gjordes om. Verktyget ”LAS Dataset” användes först och sedan användes verktyget ”LAS Dataset to Raster” för att göra om laserdata till Raster. Nio olika typterrängen valdes genom att utgå från resultatet från den applicering på befintlig terräng som gjorts tidigare och utifrån det valdes olika punkter på terrängen som var i de olika LH-klasserna. Utifrån punkten som valts för de olika LH-klasserna gjordes en cirkel med en radie på 500m och cirkeln gjordes genom att skapa polygonlager med verktyget ”Create Feature Class” och sedan valdes formen på polygonlagret. Rasterlager till de olika terrängklasserna skapades genom att rasterfilen delades upp i cirklarna och skapade raster i cirklar, det gjordes med hjälp av verktyget ”Extract by mask”. Totalt valdes nio olika typterränger utifrån LH-klasserna och de sparades till rasterfiler. De olika rasterna sparades sedan ned i en TIFF-filer genom att exportera rasterfilen till en TIFF-fil genom verktyget ”Copy Raster”. Tre byggnader med tre olika arkitektoriska mönster (rektangulära, L-formade och cirkulära) skapades med hjälp av programvaran Revit och filerna för de tre olika bygganderna sparades ner i DWG-filer. Ett nytt projekt öppnades i MIKE 21 och först importerades TIFF-filen för första simuleringen genom verktyget ”Import & Export” i MIKE 21 och då importerades också en av byggnaderna i form av en DWG. De filer som importerats placerades så byggnaden var i mitten av rasten för typterrängen. Historiskväderdata för Jönköping från SMHI importerades också till MIKE 21 genom samma verktyg som bygganderna och typterrängerna importerades med. Simulerings inställningarna ställdes upp utifrån vad som ska simuleras och de olika parametrarna bestämdes för simuleringen. De inställningar som ställdes in var att definiera studieområde och det ställdes in till hela rasten som importerats. En annan inställning var att nederbördsdatan bestämdes bland annat med hjälp av den historiskanederbördsdatan och där valdes nederbördsdatan som skulle användas för att simulera skyfallet utifrån intensitet på skyfall och den historiska datan. Den parametern som valdes med hjälp av den historiskadatan och generell densitet för skyfall var att skyfallet sattes till en mm per minut utifrån vad skyfall hade varit historiskt i Jönköping och vad som var normalt. Tiden för skyfallet i simuleringen sattes till en halvtimme. En annan inställning som gjordes var att det tidsberoende gränsvillkoret sattes till att nederbörden inte skulle förändras över tid utan vara konstant. Därefter valdes den utdata från simuleringen och det som valdes var vattendjup och flödeshastighet. Efter att inställningarna för simuleringarna var klara sattes simuleringen igång varje simulering tog mellan 1-2 timmar. Under tiden simuleringarna gjordes kollades resultatet till under tiden för att se att processen var på rätt väg. Resultatet från simuleringarna visades sedan genom att visualisera resultatet i kartor för de olika resultaten, en karta för vattendjup och en karta för flödeshastigheten. Det resulterade i att 54 kartor gjordes för att visa resultatet för de olika terrängtyperna med olika byggnader på och för varje typtärräng med byggnad visades en för vattendjup och en för flödeshastighet.

3.4 Arbetsgång

Arbetet inleddes med insamling av teori och formulering av undersökningsstrategi. Programvara för experimentet valdes och det följdes av en inlärningsperiod i programmet då kunskapen om det inte fanns.

För analys av terräng skapades godtyckliga klassificeringar för indelning av terrängegenskaper i klasser. Dessa applicerades med hjälp av ArcGIS Pro på ett område om ca 10 x 10 km strax väster om Jönköpings centrum. Under arbetets gång dök flera hinder upp som krävde att datan anpassades för att minska filstorlekar och analyseringstid. Den slutliga versionen av analysen krävde ca 3 timmar för datorberäkningarnas slutförande. Resultaten från applicering av dessa klasser jämfördes slutligen med en skyfallskartering gjord på uppdrag av Länsstyrelsen i delar av området genom att denna lades in som en bild i kartan och anpassades med två georeferenspunkter i Munksjöns båda ändar.

För simulering av skyfallsmodellerna valdes nio punkter för terränger och de valdes från terrängmodellen för Jönköping. Varje simulering tog mellan 1-2 timmar och totalt gjordes 27 simuleringar för att få med alla LH-klasser och byggnadsformer. Resultatet för simuleringarna jämfördes sedan med resultatet från appliceringen på befintlig modell samt den teori som finns i ämnet.

3.5 Analysmetod

Den insamlade data i studien måste analyseras för sig själv och presenteras innan analys mellan olika insamlingstekniker kan göras. När analyserna i studien är gjord kunde analyser kring andra teorier i förhållande till studien göras.

3.6 Trovärdighet

Klasserna som ligger till grund för analyserna bestämdes godtyckligt. Detta medför att indelningarna kan vara ojämnt eller på annat sätt olämpligt fördelade. Då det endast är 3 klasser inom varje kategori blir också kategorierna breda vilket kan medföra att för stora variationer för att ge ett enhetligt svar finns inom de olika kategorierna. Indelningarna valdes för att ha en utgångspunkt att börja i och indelningen i endast 3 klasser per kategori gjordes för att klasserna ska vara enkla att uppskatta och det ska vara möjligt att snabbt definiera klasserna för en fastighet utan utförliga geologiska undersökningar.

Terränganalyser utfördes med den högsta detaljnivå som var möjlig med tanke på programvarans begränsningar samt begränsad datorkapacitet. Detta innebar dock fortfarande att datan behövde tunnas ut avsevärt. För dess syfte bör dock detta inte medföra några större problem då analysernas resultat inte kräver exakthet för att bidra med önskad information då avsikten är att på grova drag snabbt kunna utvärdera omgivande terräng.

Då studien endast tittar på områden inom Jönköping kan generaliserbarheten ifrågasättas. Tanken är dock att samma system ska kunna användas i andra områden.

4 Resultat

4.1 Empiri

I detta avsnitt sammanställs resultat av applicering av terrängdata på det valda området i Jönköping samt resultatet av de genomförda skyfallssimuleringarna med olika terrängklasser och olika byggnadsformer.

4.1.1 Applicering av klassificering på terräng

I Tabell 4 och Tabell 5 presenteras klassindelningarna för L-klassen (lutning) och H-klassen (höjdskillnad). Figur 4 a och b illustrerar tillämpningen av dessa klassificeringar på terrängen i Jönköping, med mörkare färger som indikerar högre klasser. Figur 4 c sammanfattar de kombinerade klassificeringarna av L- och H-klasser

Tabell 4: L-klass

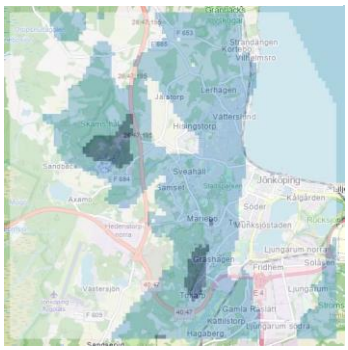
Genomsnittlig lutning	L-klass
<10%	1
10%-20%	2
>20%	3

Tabell 5: H-klass

Alternativ 1	Alternativ 2	
Andel terräng högre än fastigheten	Skillnad mellan medelhöjd och mittens höjd	H-klass
<40%	< -2 m	1
40%-60%	-2 – 2 m	2
>60%	> 2 m	3

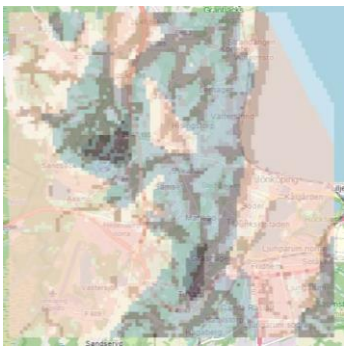
Figur 4

a: L-klass. Mörkare blå innebär högre klass.



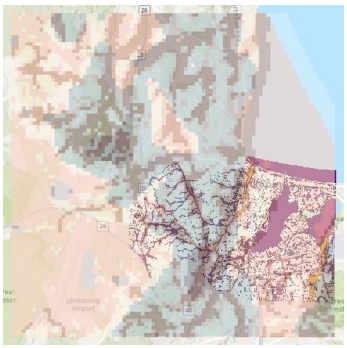
b: H-klass. Mörkare orange innebär högre

c: Sammanställning av L-klass och H-klass.



H-klass 3 hittas oftare i områden med dalar och vattendrag samt längs vissa vägar. H-klass 1 hittas oftare i överkant av sluttningar, vid gränsen mellan L-klass 1 och 2. H-klass 2 är vanligare i flacka områden. Vid jämförelse med skyfallskarteringen för maximalt vattendjup vid ett 100-årsregn (se Figur 5) framträder att översimningar är mer sannolika i områden med H-klass 3.

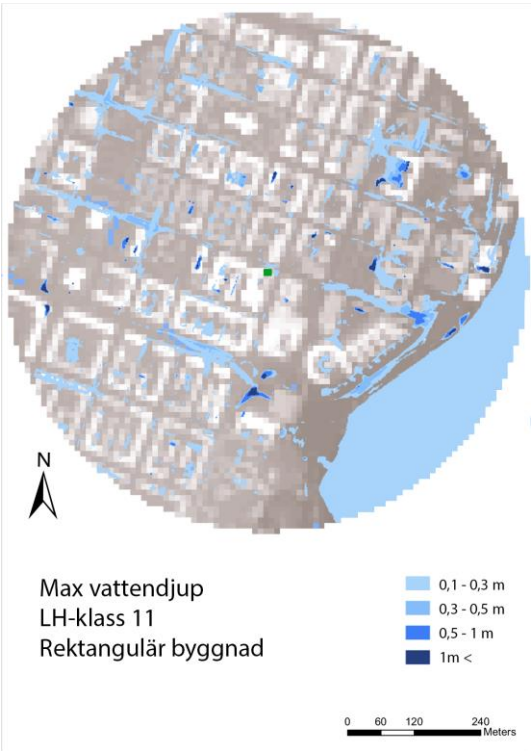
Figur 5: H-klass och L-klass med skyfallskartering maximalt vattendjup



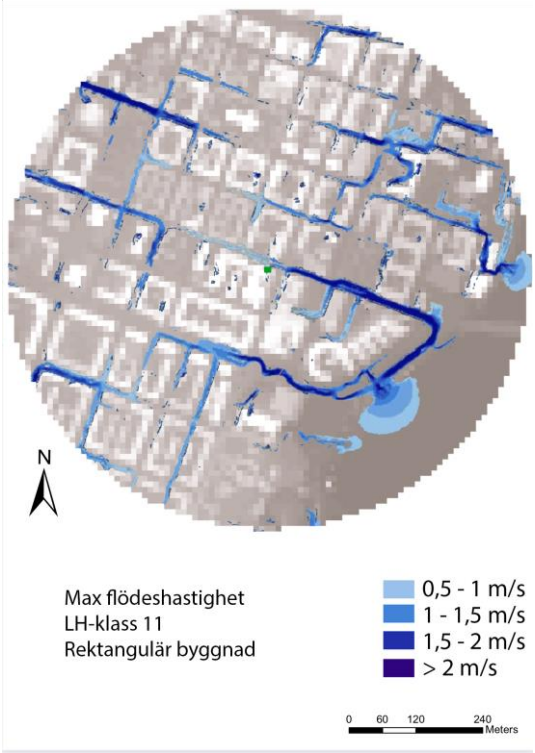
4.1.2 Skyfallssimulering av typterräng

LH-klass 11 innebär låg lutning och att majoriteten av terrängen runt fastigheten lutar bort från fastigheten. Simuleringar utförda med denna terrängklass (se Figur 6 - Figur 10) visar en låg risk för översvämning. Flödeshastigheten kan variera mycket i närområde men är generellt relativt låg. För denna terrängklass syns inga skillnader beroende på byggnadens form.

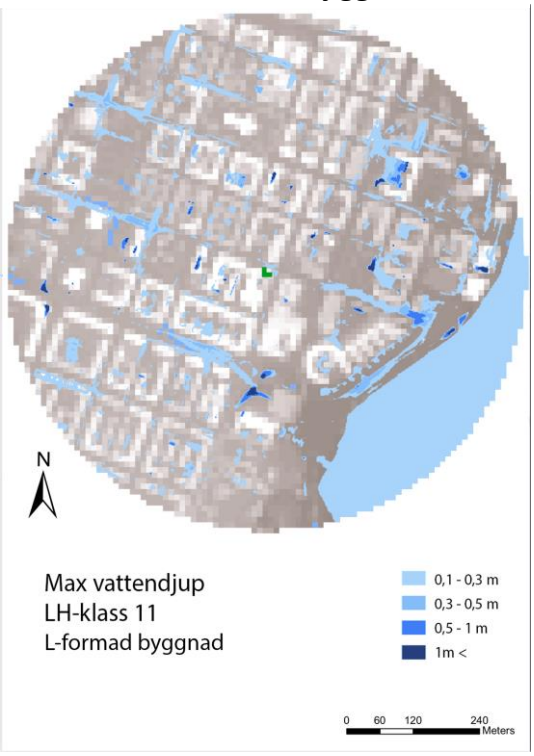
Figur 6: Maximalt vattendjup för LH-klass 11 med rektangulär byggnad



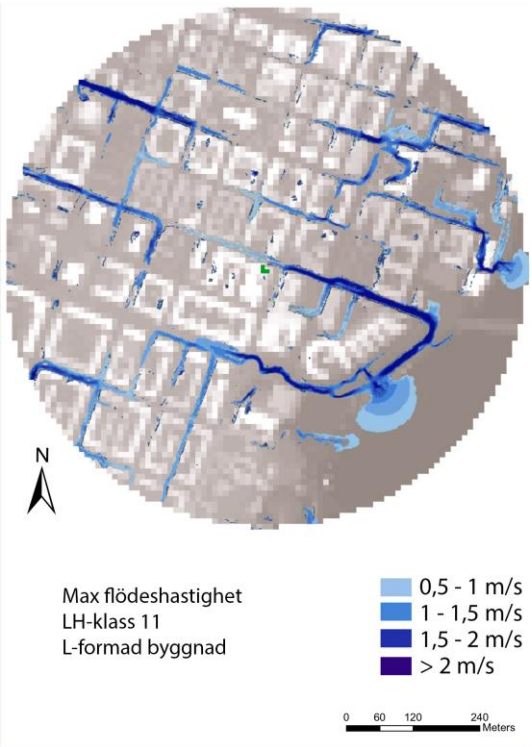
Figur 7: Maximal flödeshastighet för LH-klass 11 med rektangulär byggnad



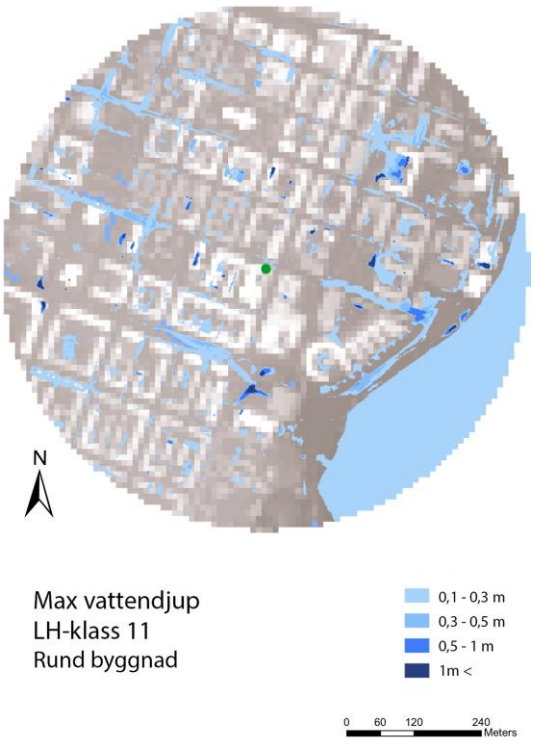
Figur 8: Maximalt vattendjup för LH-klass 11 med L-formad byggnad



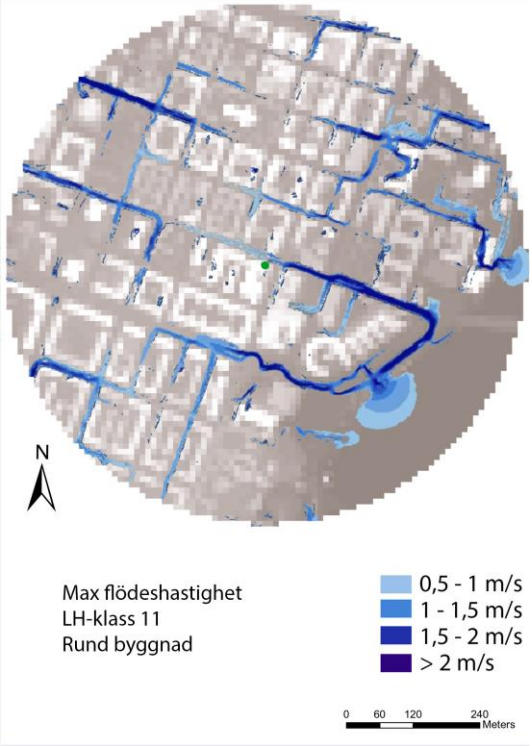
Figur 9: Maximal flödeshastighet för LH-klass 11 med L-formad byggnad



Figur 11: Maximalt vattendjup för LH-klass 11 med rund byggnad

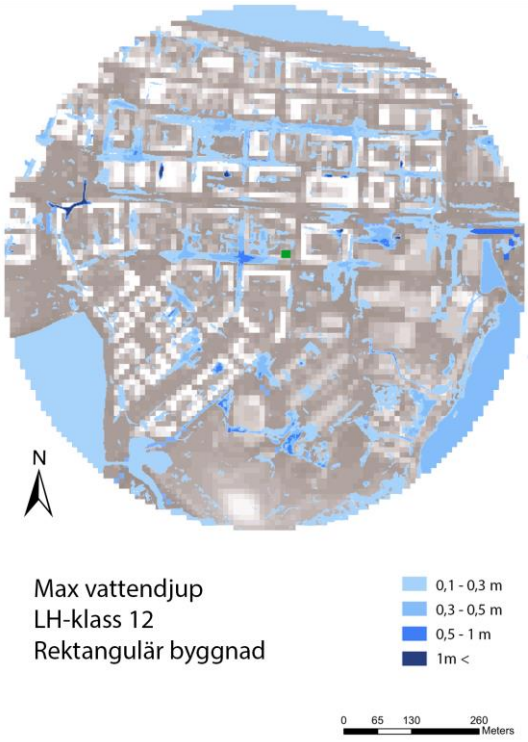


Figur 10: Maximal flödeshastighet för LH-klass 11 med rund byggnad

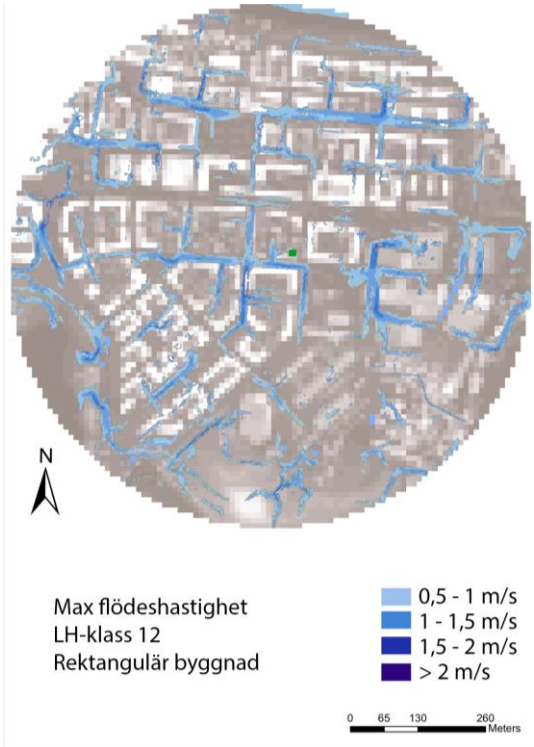


LH-klass 12 innebär låg lutning och att terrängen runt fastigheten lutar ungefär lika mycket mot fastigheten som bort från den. Simuleringar utförda med denna terrängklass (se Figur 13 - Figur 17) visar en något högre risk för översvämning i närområdet jämfört med LH-klass 11. Översvämning tycks främst uppstå i lokalt lågt belägna områden. Flödeshastigheten är låg. För denna terrängklass syns inga skillnader beroende på byggnadens form.

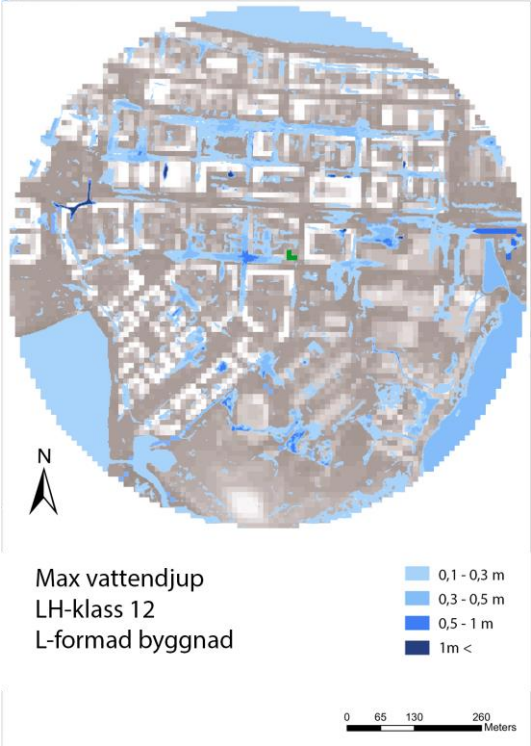
Figur 13: Maximalt vattendjup för LH-klass 12 med rektangulär byggnad



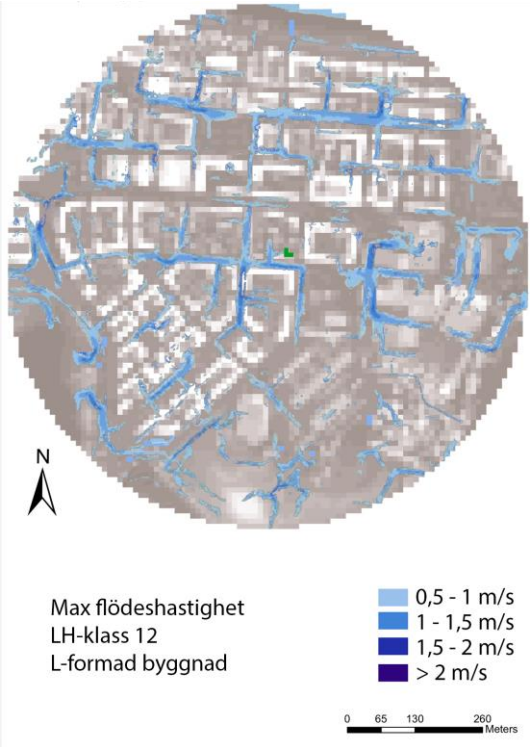
Figur 12: Maximal flödeshastighet för LH-klass 12 med rektangulär byggnad



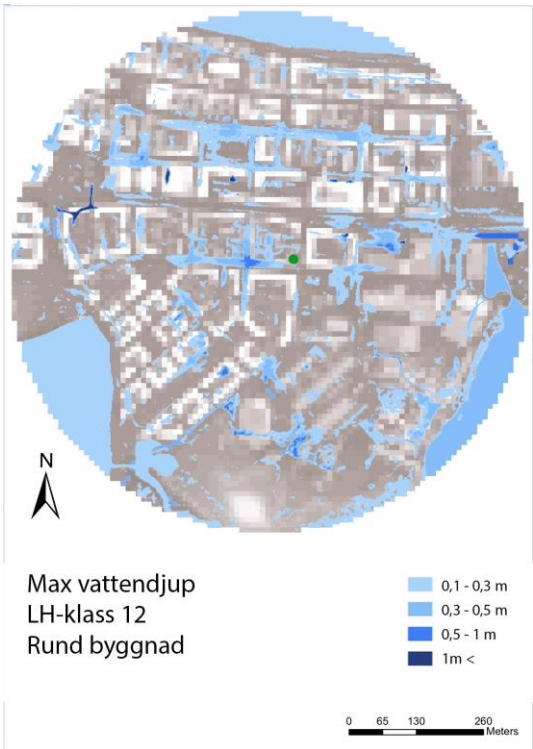
Figur 14: Maximalt vattendjup för LH-klass 12 med L-formad byggnad



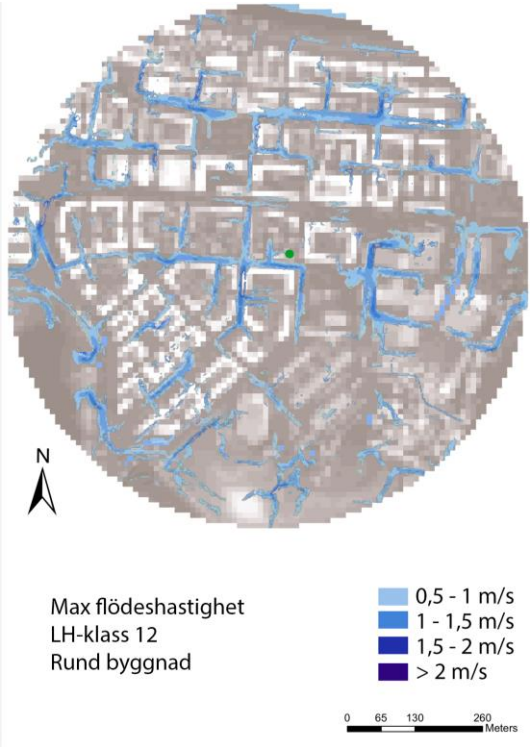
Figur 15: Maximal flödeshastighet för LH-klass med 12 L-formad byggnad



Figur 16: Maximalt vattendjup för LH-klass 12 med rund byggnad

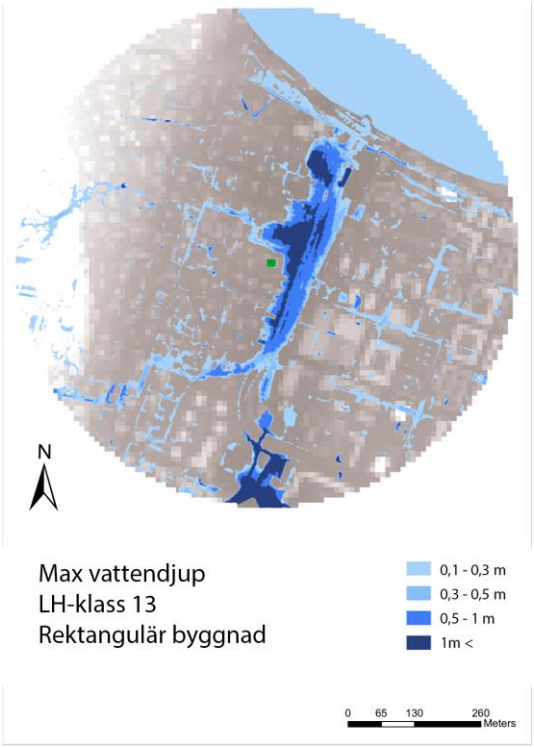


Figur 17: Maximal flödeshastighet för LH-klass 12 med rund byggnad

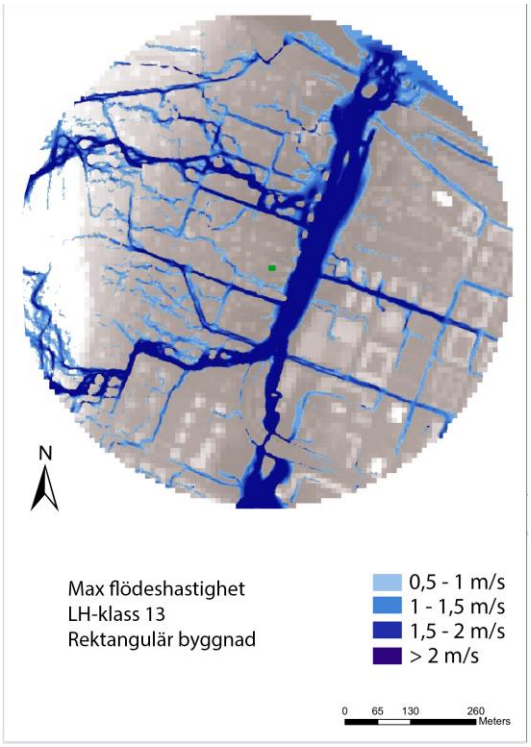


LH-klass 13 innebär låg lutning och att majoriteten av terrängen runt fastigheten lutar mot fastigheten. Simuleringar utförda med denna terrängklass (se Figur 18 - Figur 23) visar en högre risk för översvämning i närområdet med risk för högt översvämningsdjup. Flödeshastigheten är också hög i närområdet. För denna terrängklass syns inga skillnader beroende på byggnadens form.

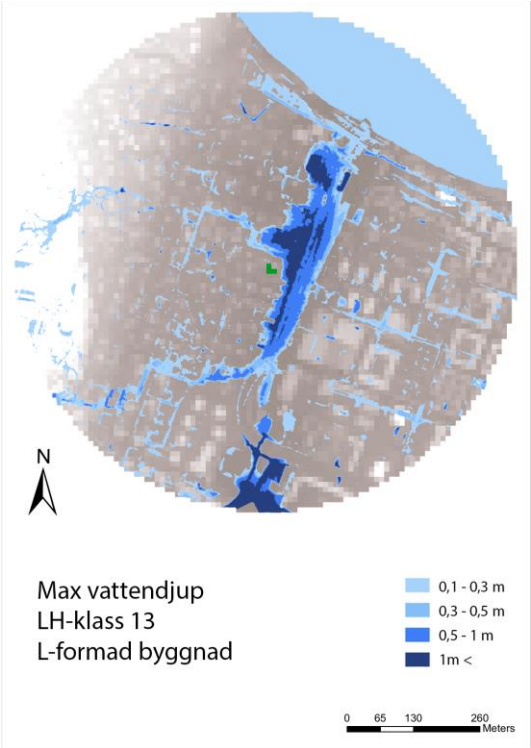
Figur 18: Maximalt vattendjup för LH-klass 13 med rektangulär byggnad



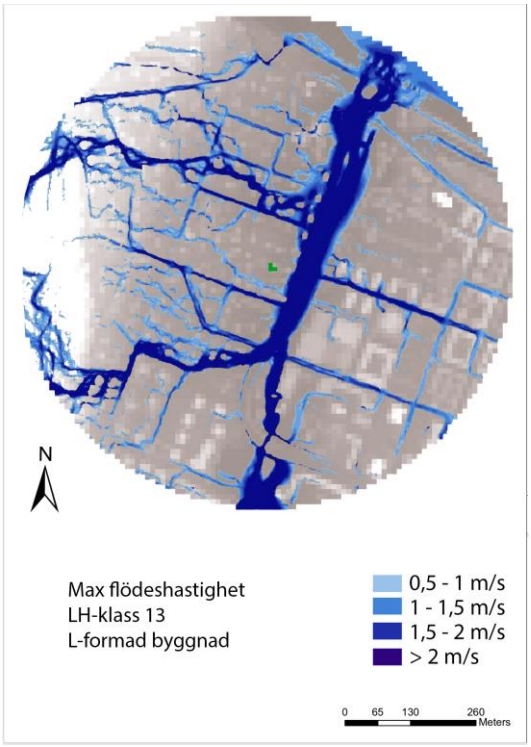
Figur 19: Maximal flödeshastighet för LH-klass 13 med rektangulär byggnad



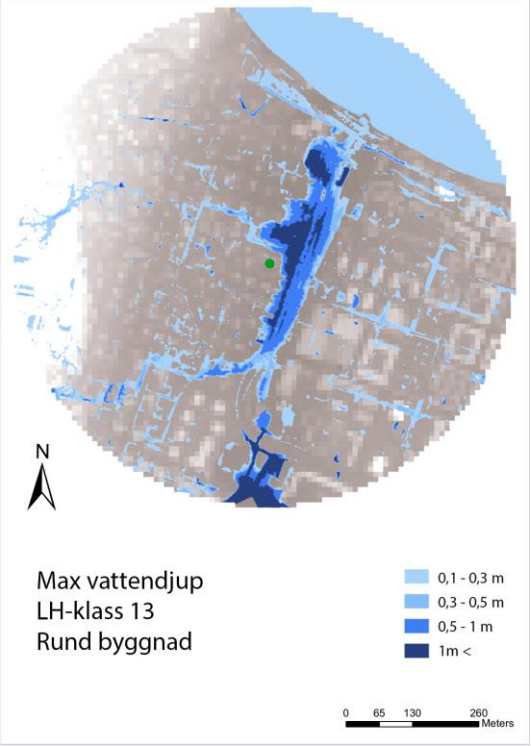
Figur 20: Maximalt vattendjup för LH-klass 13 med L-formad byggnad



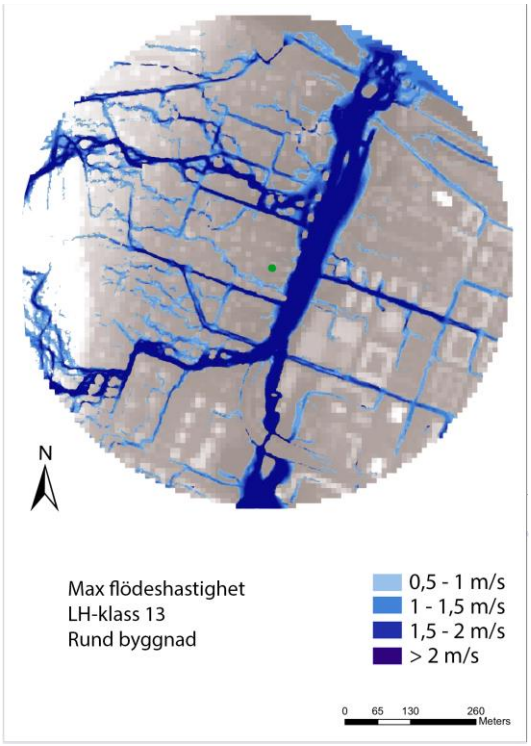
Figur 21: Maximal flödeshastighet för LH-klass 13 med L-formad byggnad



Figur 22: Maximalt vattendjup för LH-klass 13 med rund byggnad

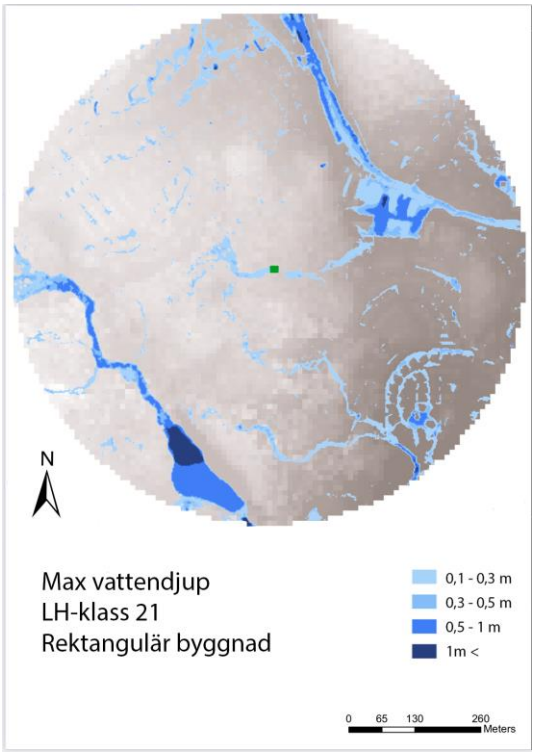


Figur 23: Maximal flödeshastighet för LH-klass 13 med rund byggnad

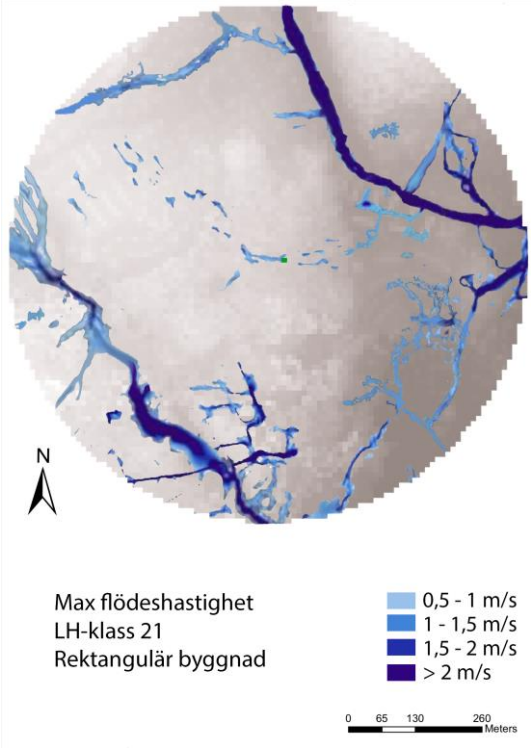


LH-klass 21 innebär medel lutning och att majoriteten av terrängen runt fastigheten lutar bort från fastigheten. Simuleringar utförda med denna terrängklass (se Figur 24 - Figur 28) visar en viss risk för översvämning i närområdet, i synnerhet längs lokala dalgångar. Flödeshastigheten är låg. För denna terrängklass syns vissa skillnader beroende på byggnadens form där en byggnad med lång sida vikleratt mot flödesrikningen orsakar något djupare översvämning och något högre flödeshastighet. Minst översvämningsdjup och flödeshastighet syns med en cirkulär byggnad och störst översvämningsdjup och flödeshastighet syns med en L-formad byggnad.

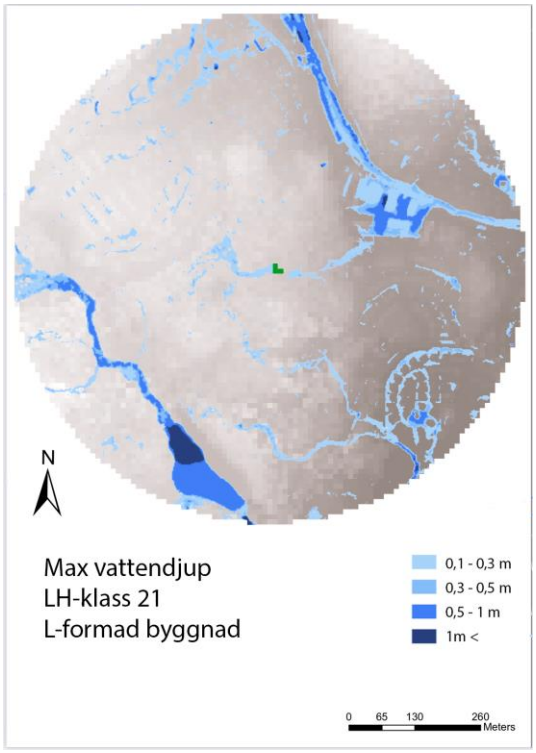
Figur 24: Maximalt vattendjup för LH-klass 21 med rektangulär byggnad



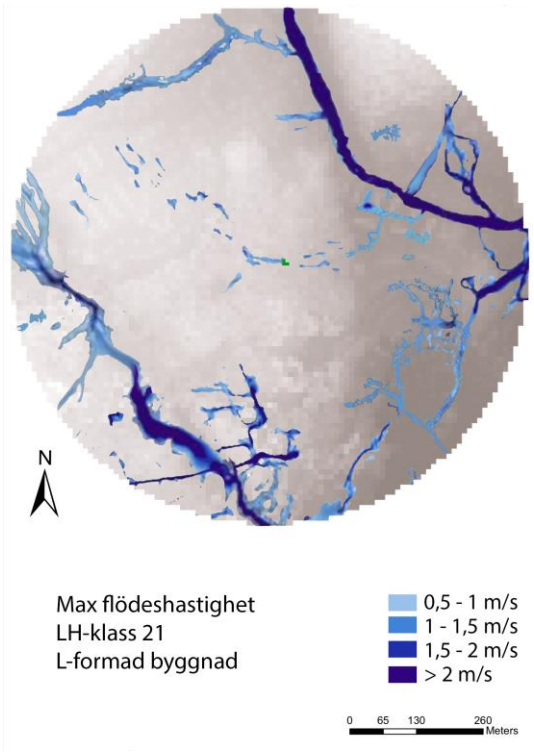
Figur 25: Maximal flödeshastighet för LH-klass 21 med rektangulär byggnad



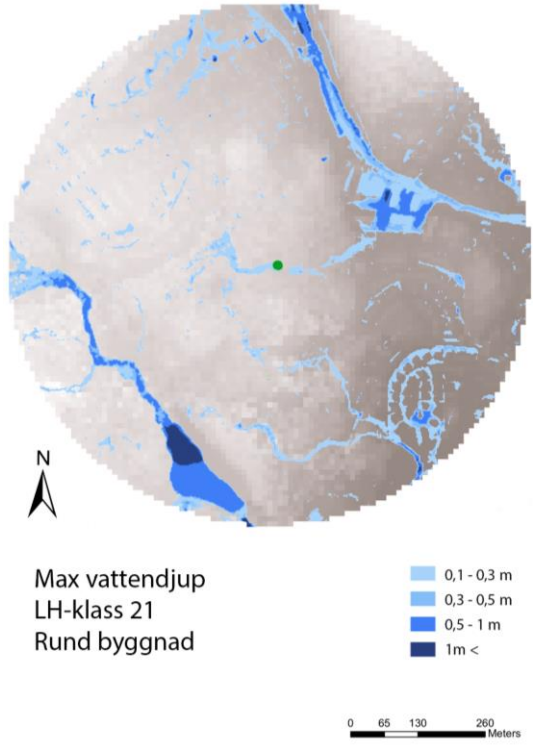
Figur 26: Maximalt vattendjup för LH-klass 21 med L-formad byggnad



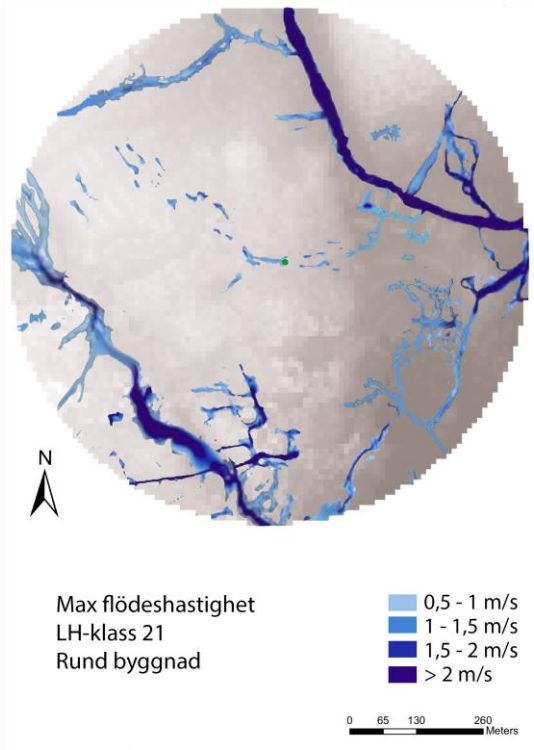
Figur 27: Maximal flödeshastighet för LH-klass 21 med L-formad byggnad



Figur 29: Maximalt vattendjup för LH-klass 21 med rund byggnad

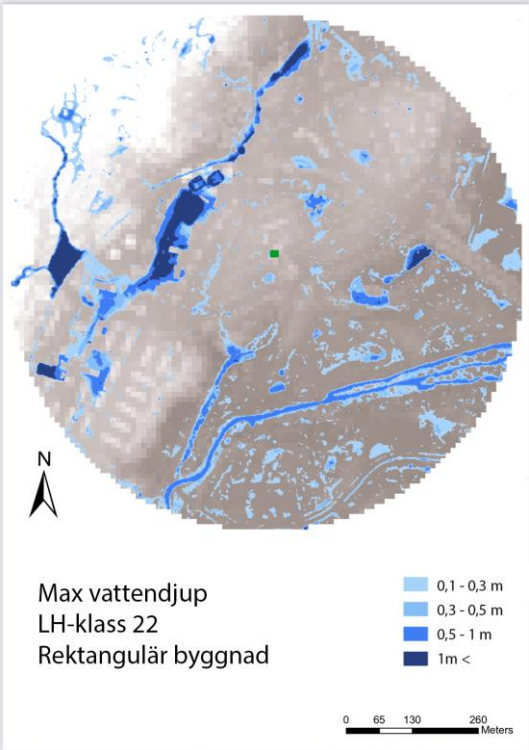


Figur 28: Maximal flödeshastighet för LH-klass 21 med rund byggnad

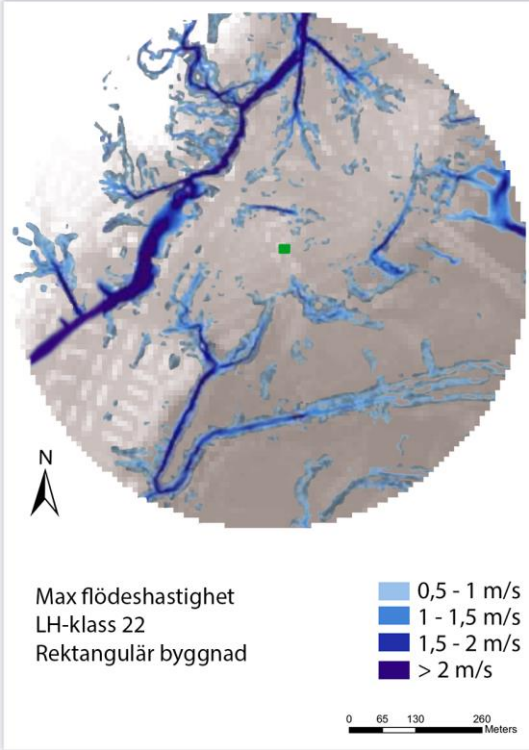


LH-klass 22 innebär medel lutning och att terrängen runt fastigheten lutar ungefär lika mycket mot fastigheten som bort från den. Simuleringar utförda med denna terrängklass (se Figur 30 - Figur 34) visar en relativt låg risk för översvämning och låga flödeshastigheter. Variationer finns dock beroende på den lokala terrängen. För denna terrängklass syns mycket små skillnader beroende på byggnadens form där en L-formad byggnad ger mer översvämning och en cirkulär byggnad ger minst översvämning.

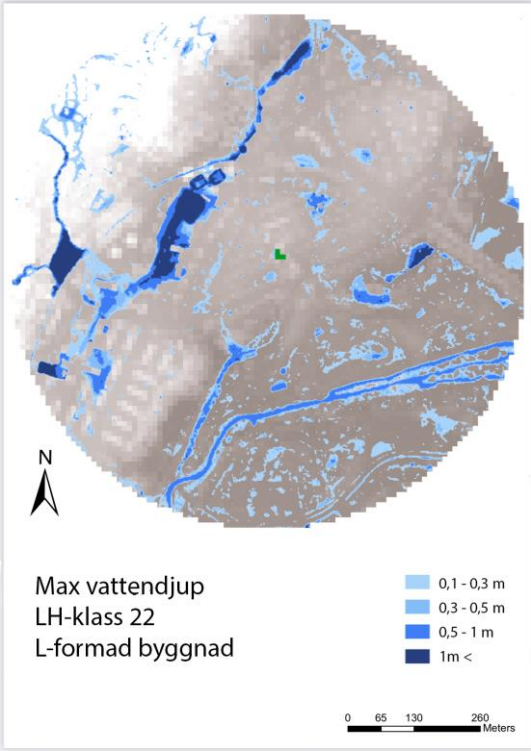
Figur 30: Maximalt vattendjup för LH-klass 22 med rektangulär byggnad



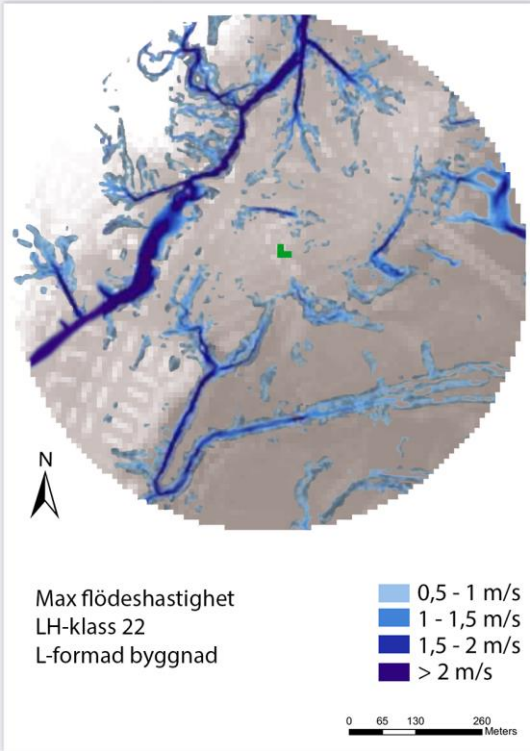
Figur 31: Maximal flödeshastighet för LH-klass 22 med rektangulär byggnad



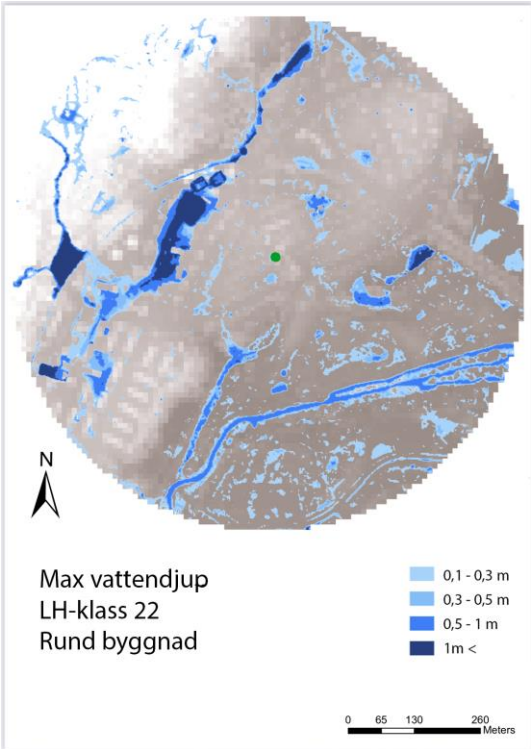
Figur 32: Maximalt vattendjup för LH-klass 22 med L-formad byggnad



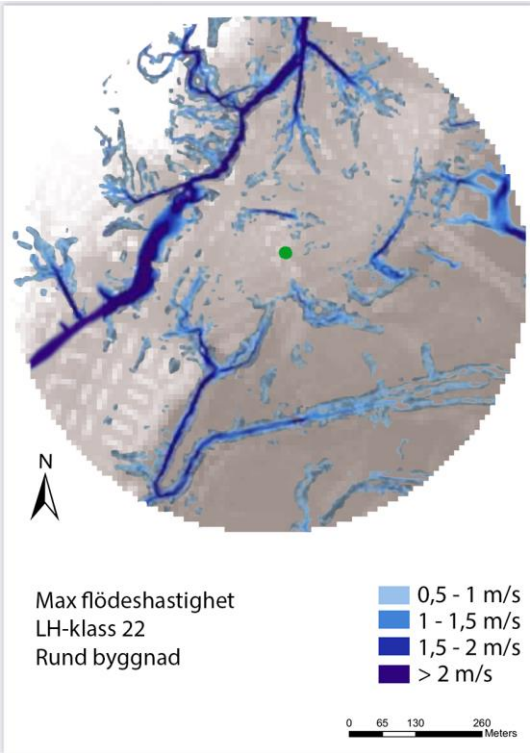
Figur 33: Maximal flödeshastighet för LH-klass 22 med L-formad byggnad



Figur 35: Maximalt vattendjup för LH-klass 22 med rund byggnad

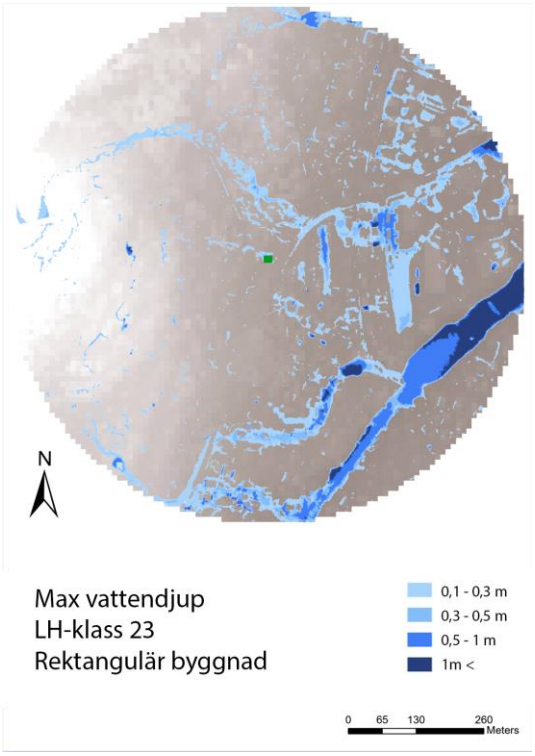


Figur 34: Maximal flödeshastighet för LH-klass 22 med rund byggnad

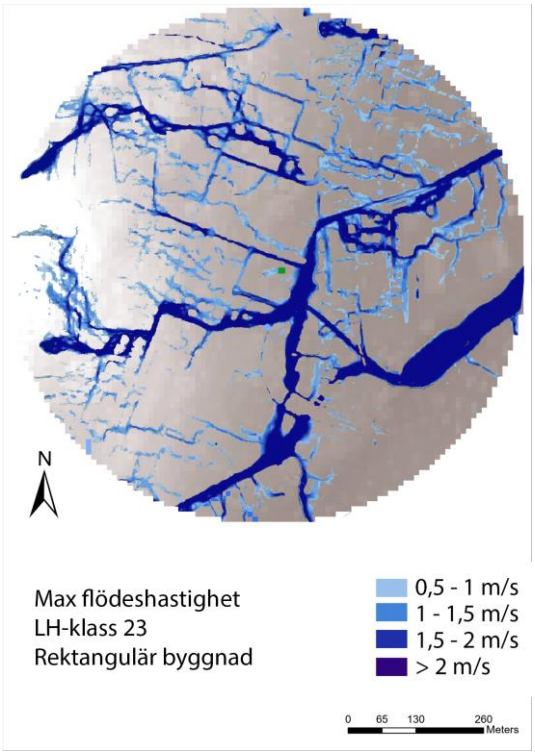


LH-klass 23 innebär medel lutning och att majoriteten av terrängen runt fastigheten lutar mot fastigheten. Simuleringar utförda med denna terrängklass (se Figur 36 - Figur 41) visar viss risk för översvämning men relativt höga flödeshastigheter. För denna terrängklass syns inga skillnader beroende på byggnadens form.

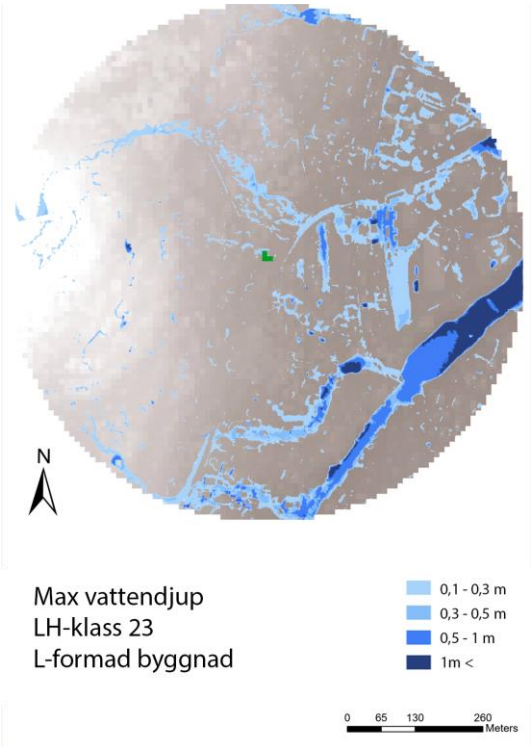
Figur 36: Maximalt vattendjup för LH-klass 23 med rektangulär byggnad



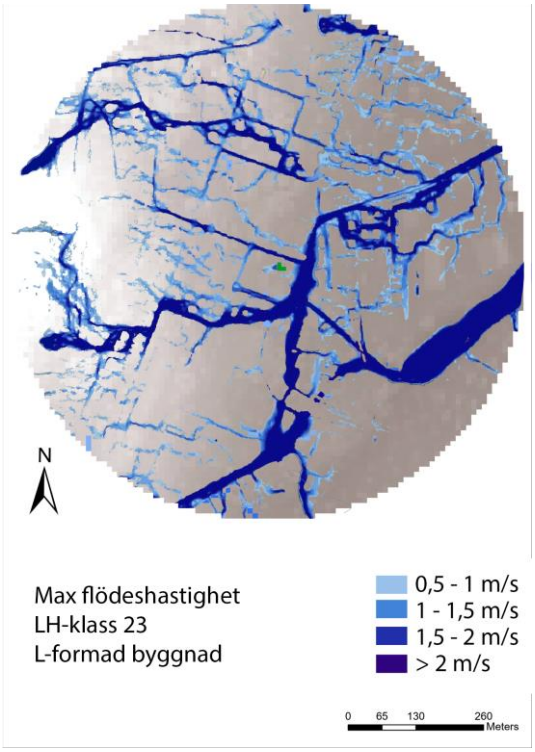
Figur 37: Maximal flödeshastighet för LH-klass 23 med rektangulär byggnad



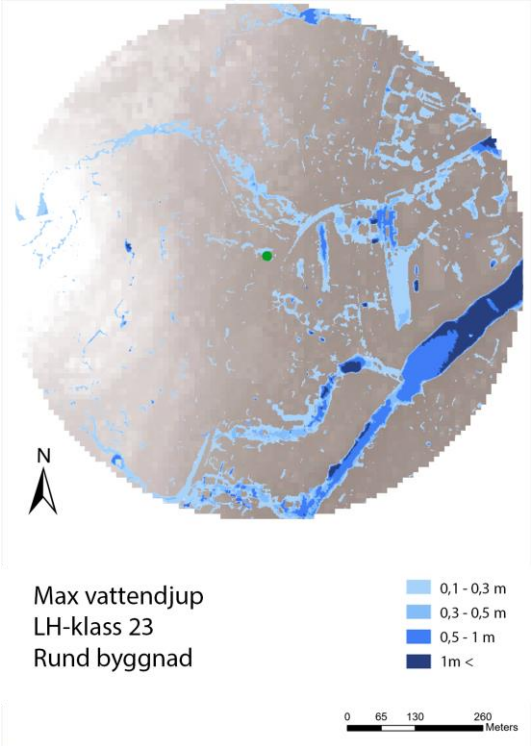
Figur 38: Maximalt vattendjup för LH-klass 23 med L-formad byggnad



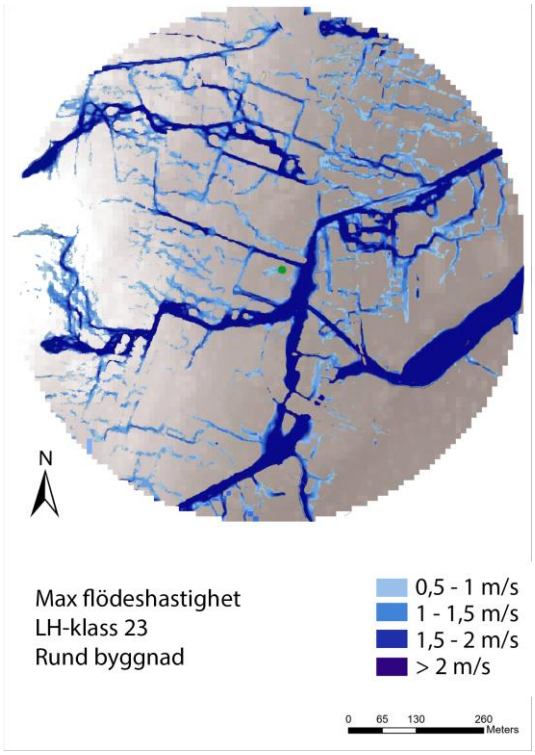
Figur 39: Maximal flödeshastighet för LH-klass 23 med L-formad byggnad



Figur 40: Maximalt vattendjup för LH-klass 23 med rund byggnad

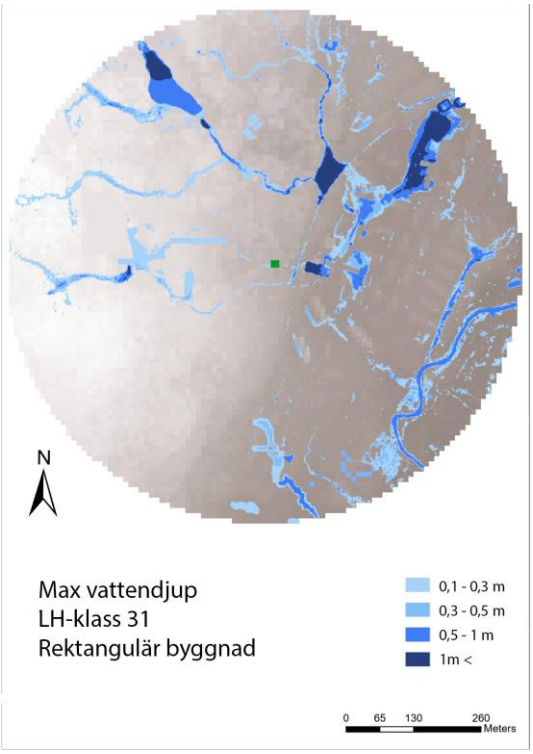


Figur 41: Maximal flödeshastighet för LH-klass 23 med rund byggnad

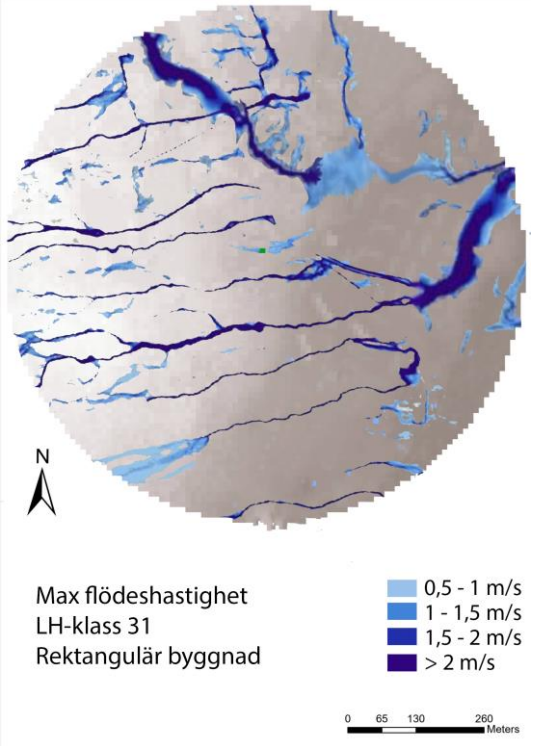


LH-klass 31 innebär hög lutning och att majoriteten av terrängen runt fastigheten lutar bort från fastigheten. Simuleringar utförda med denna terrängklass (se Figur 42 - Figur 47) visar en viss risk för översvämning i närområdet men risk för relativt höga flödeshastigheter. För denna terrängklass syns små skillnader beroende på byggnadens form där en byggnad med lång sida vikelrätt mot flödesrikningen orsakar något djupare översvämning och något högre flödeshastighet. Minst översvämningsdjup och flödeshastighet syns med en cirkulär byggnad och störst översvämningsdjup och flödeshastighet syns med en L-formad byggnad.

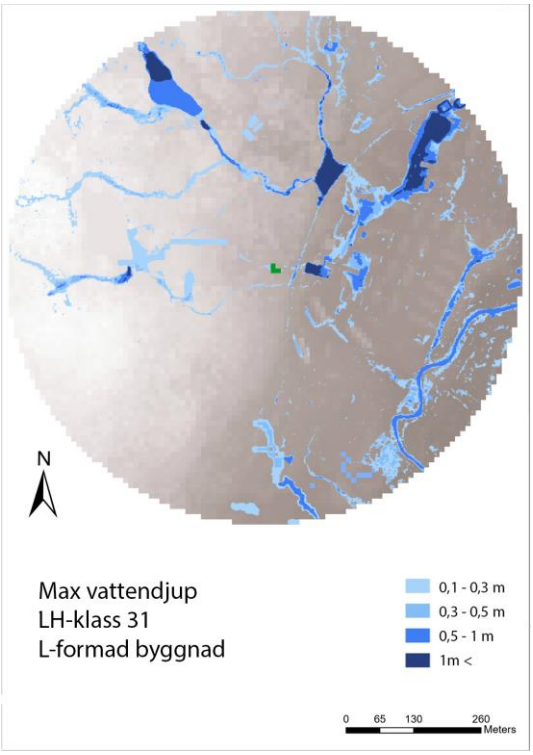
Figur 42: Maximalt vattendjup för LH-klass 31 med rektangulär byggnad



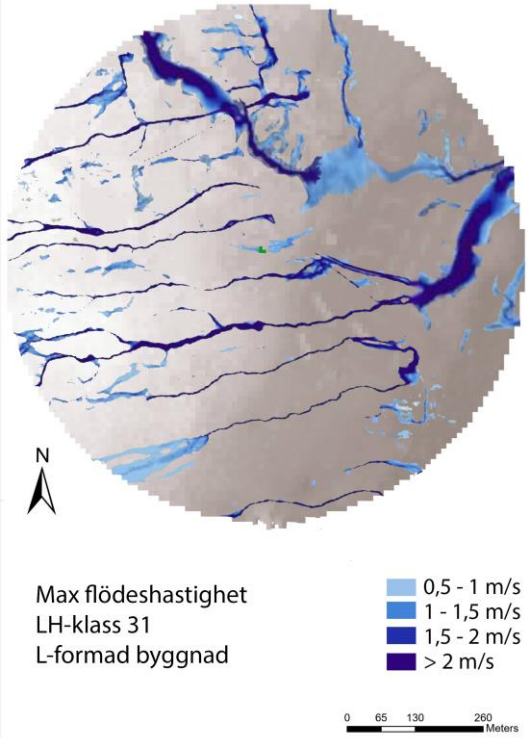
Figur 43: Maximal flödeshastighet för LH-klass 31 med rektangulär byggnad



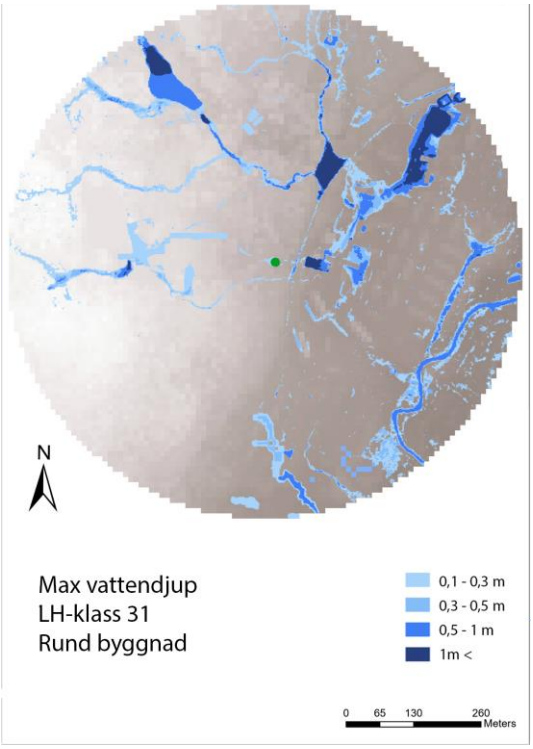
Figur 44: Maximalt vattendjup för LH-klass 31 med L-formad byggnad



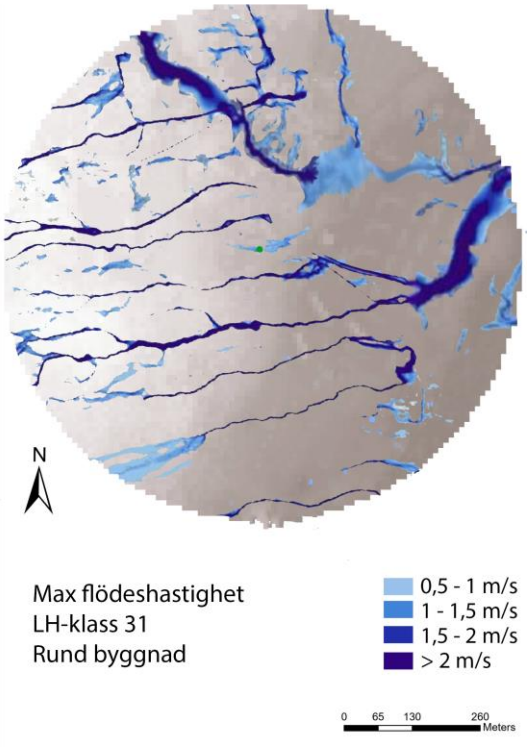
Figur 45: Maximal flödeshastighet för LH-klass 31 med L-formad byggnad



Figur 46: Maximalt vattendjup för LH-klass 31 med rund byggnad

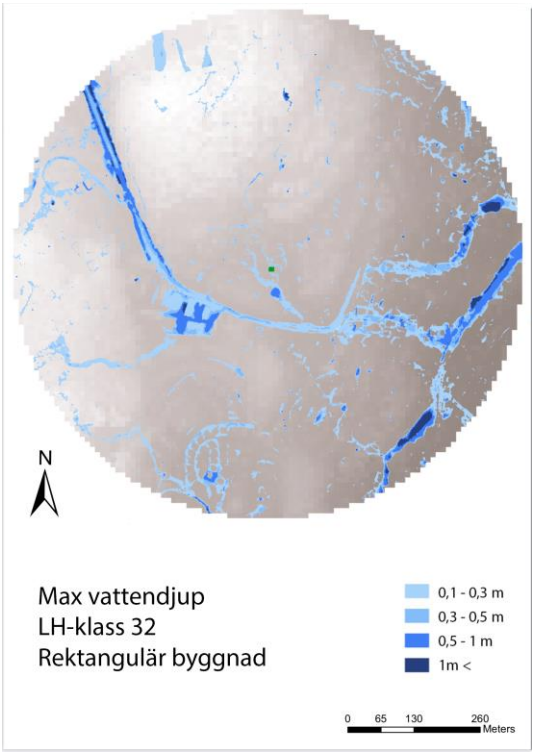


Figur 47: Maximal flödeshastighet för LH-klass 31 med rund byggnad

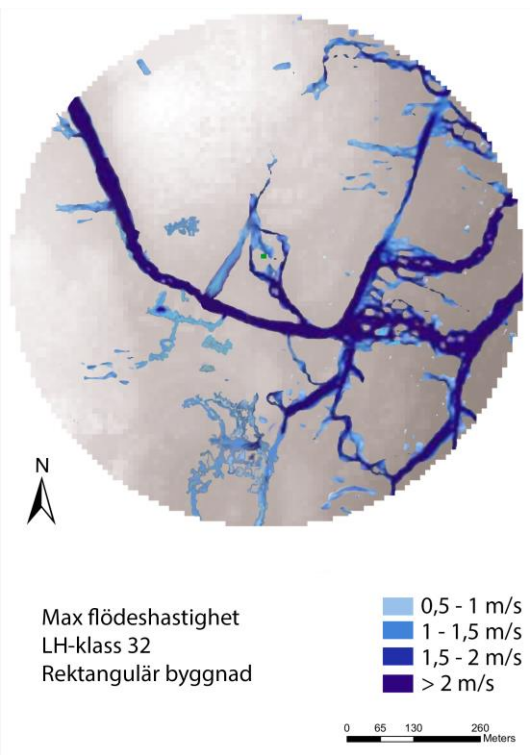


LH-klass 32 innebär hög lutning och att terrängen runt fastigheten lutar ungefär lika mycket mot fastigheten som bort från den. Simuleringar utförda med denna terrängklass (se Figur 48 - Figur 53) visar en viss risk för översvämning och höga flödeshastigheter. För denna terrängklass syns inga skillnader beroende på byggnadens form.

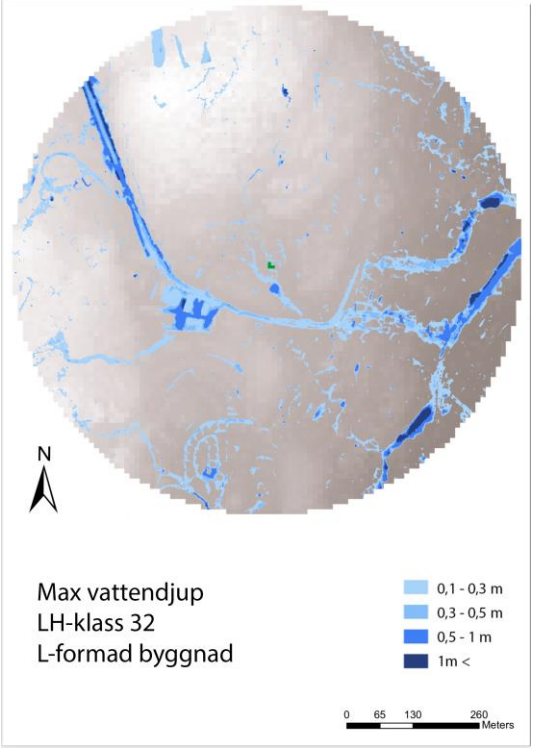
Figur 48: Maximalt vattendjup för LH-klass 32 med rektangulär byggnad



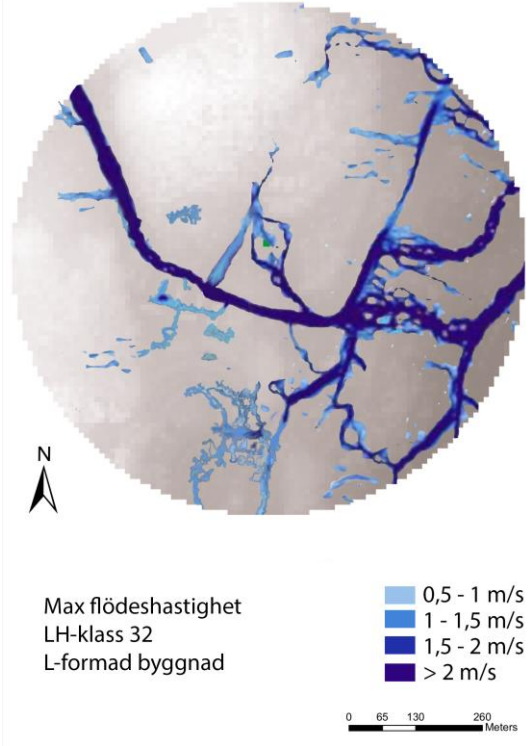
Figur 49: Maximal flödeshastighet för LH-klass 32 med rektangulär byggnad



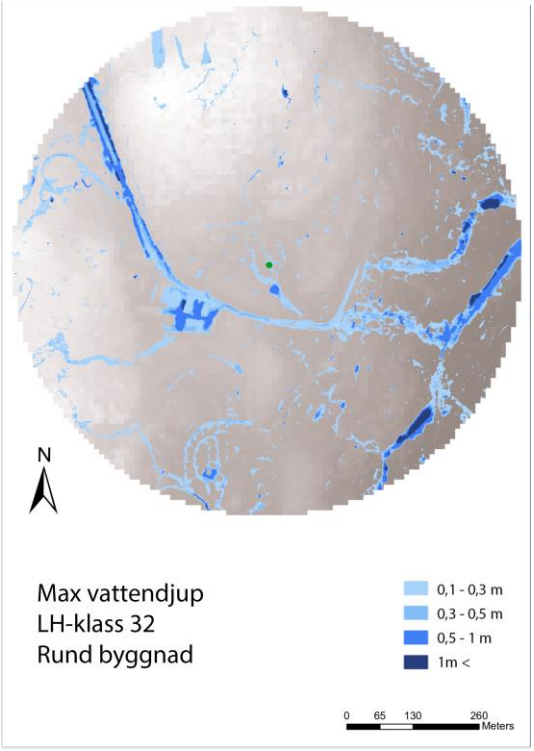
Figur 50: Maximalt vattendjup för LH-klass 32 med L-formad byggnad



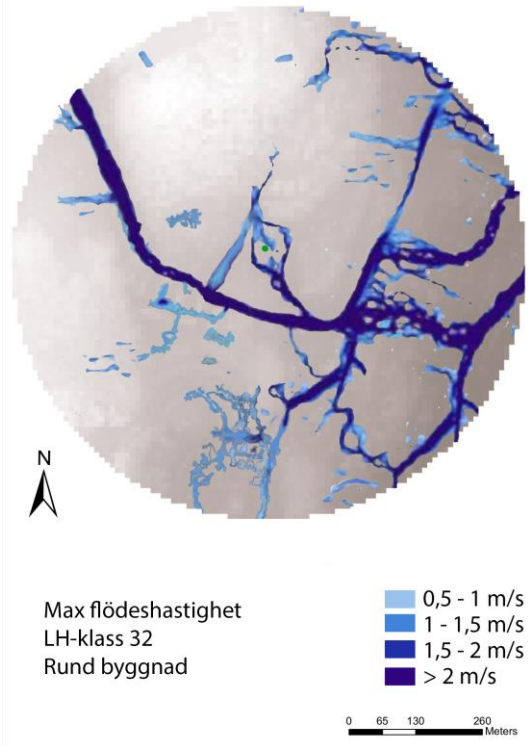
Figur 51: Maximal flödeshastighet för LH-klass 32 med L-formad byggnad



Figur 52: Maximalt vattendjup för LH-klass 32 med rund byggnad

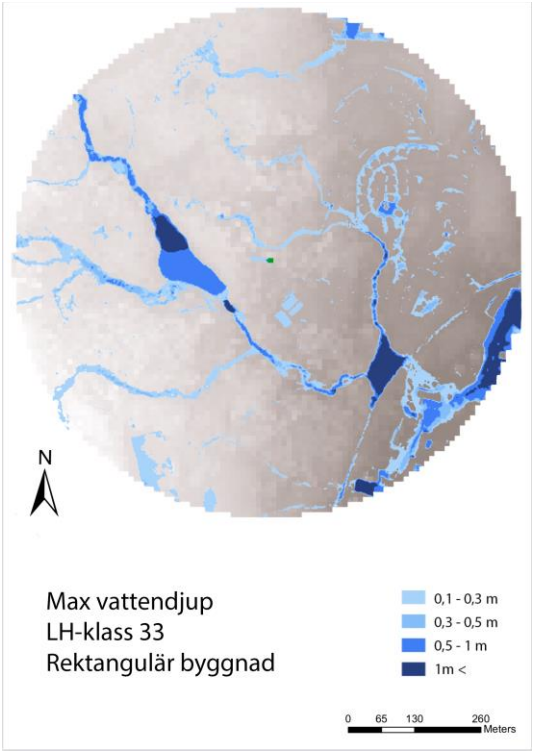


Figur 53: Maximal flödeshastighet för LH-klass 32 med rund byggnad

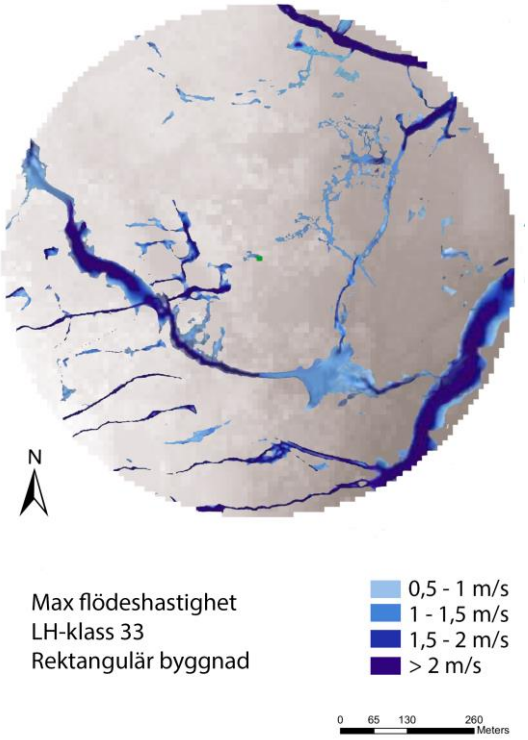


LH-klass 33 innebär hög lutning och att majoriteten av terrängen runt fastigheten lutar mot fastigheten. Simuleringar utförda med denna terrängklass (se Figur 54 - Figur 59) visar viss risk för översvämning och risk för höga flödeshastigheter. För denna terrängklass syns tydliga skillnader beroende på byggnadens form. Byggnader med en lång sida vikleratt mot flödesrikningen orsakar djupare översvämning och högre flödeshastighet. Minst översvämningsdjup och flödeshastighet syns med en cirkulär byggnad och störst översvämningsdjup och flödeshastighet syns med en L-formad byggnad.

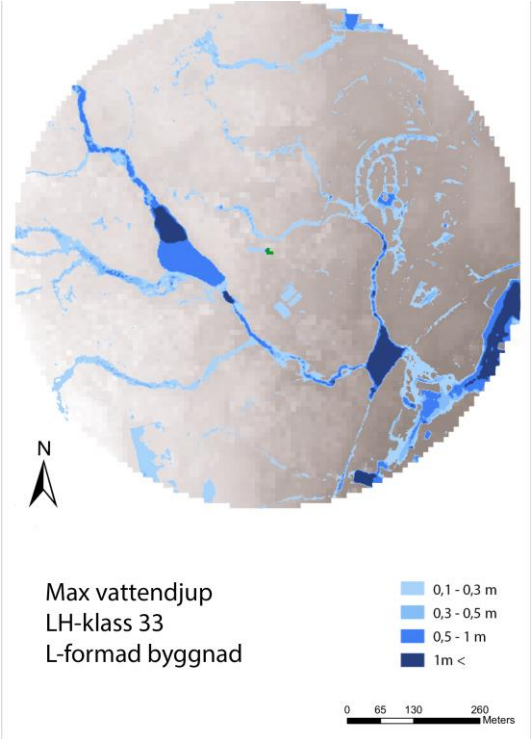
Figur 54: Maximalt vattendjup för LH-klass 33 med rektangulär byggnad



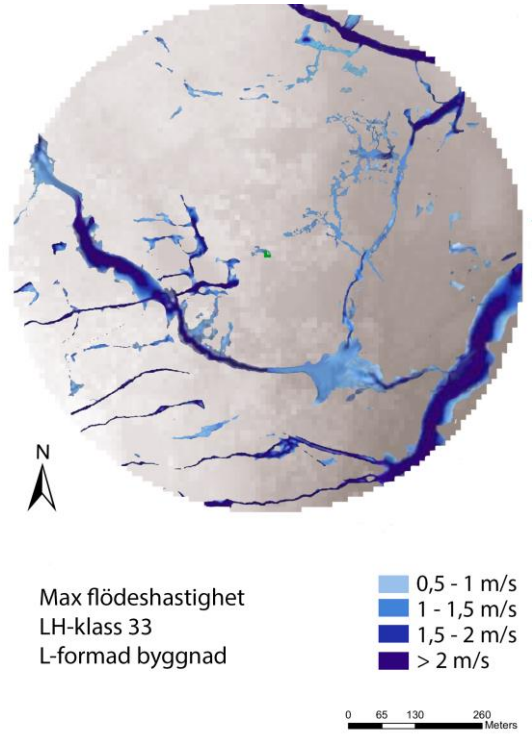
Figur 55: Maximal flödeshastighet för LH-klass 33 med rektangulär byggnad



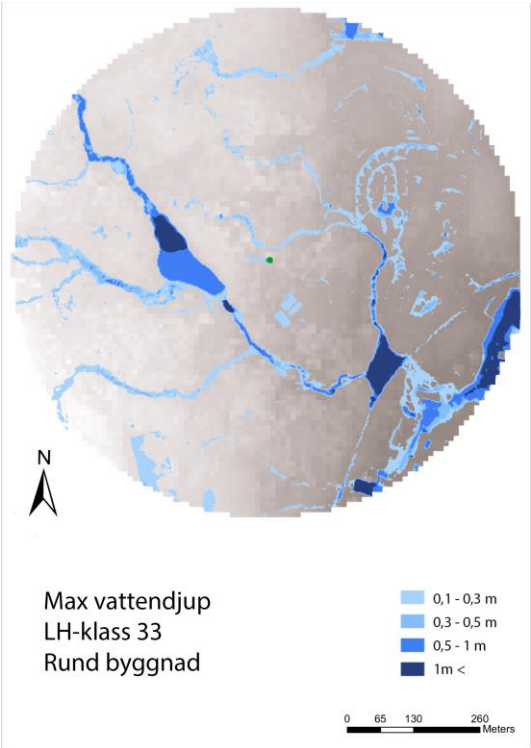
Figur 56: Maximalt vattendjup för LH-klass 33 med L-formad byggnad



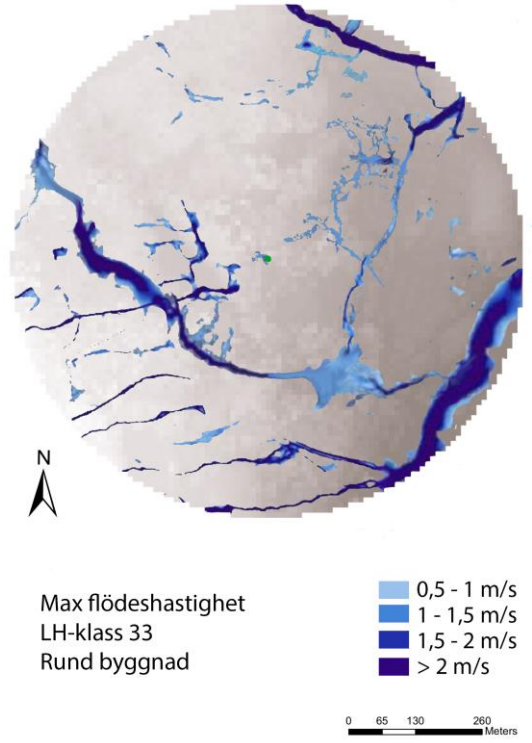
Figur 57: Maximal flödeshastighet för LH-klass 33 med L-formad byggnad



Figur 58: Maximalt vattendjup för LH-klass 33 med rund byggnad



Figur 59: Maximal flödeshastighet för LH-klass 33 med rund byggnad



4.2 Analys av empiri

I detta avsnitt analyseras och sammanställs empirin utifrån frågeställningarna.

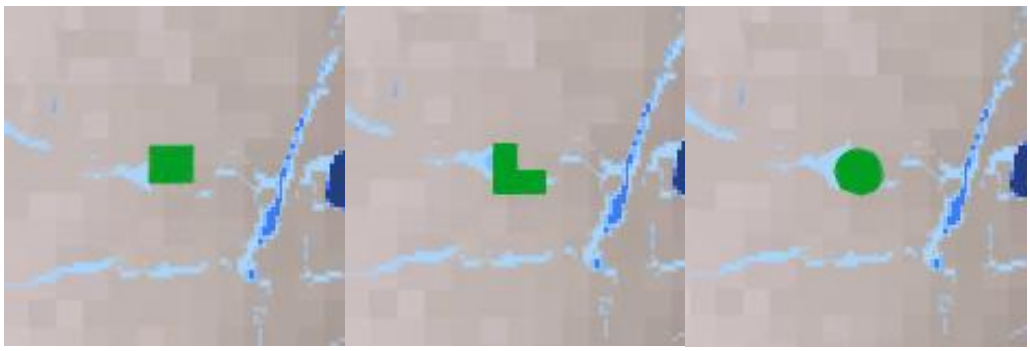
4.2.1 Hur påverkar byggnadens utformning belastningen vid skyfall?

Simuleringar visar att byggnadens utformning till viss del kan påverka vilket område som översvämmas om byggnaden blockerar vattnets flödesväg (se Figur 60 - Figur 63). Översvämningsdjupet kan påverkas något om det saknas en naturlig väg för omledning av vattnet. Exempelvis ger rektangulär och L-formad byggnad något större översvämningsdjup än rund byggnad när vattnets flödesriktning är vinkelrät mot fasaden jämfört med cirkulära byggnader (se Figur 61, Figur 62 Figur 63).Med en cirkulär byggnad blir översvämningsdjupet mindre men det översvämmade området blir större (se Figur 60 - Figur 62).

Figur 60: Jämförelse översvämningsdjup för LH-klass 21 med olika husformer

Figur 61: Jämförelse översvämningsdjup för LH-klass 23 med olika husformer

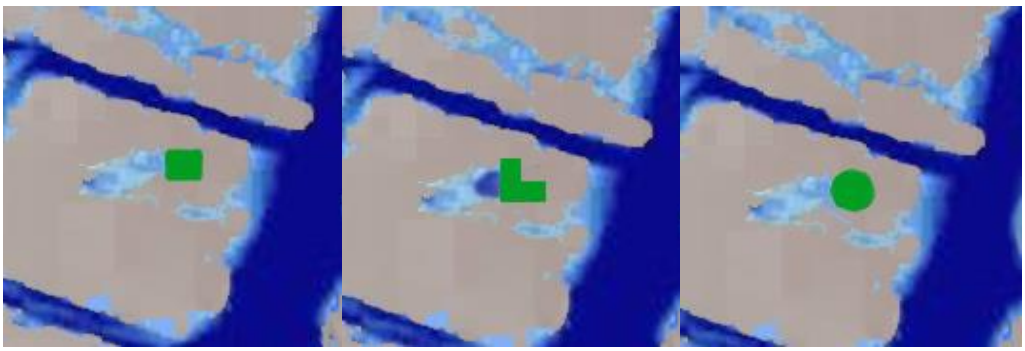
Figur 62: Jämförelse översvämningsdjup för LH-klass 31 med olika husformer



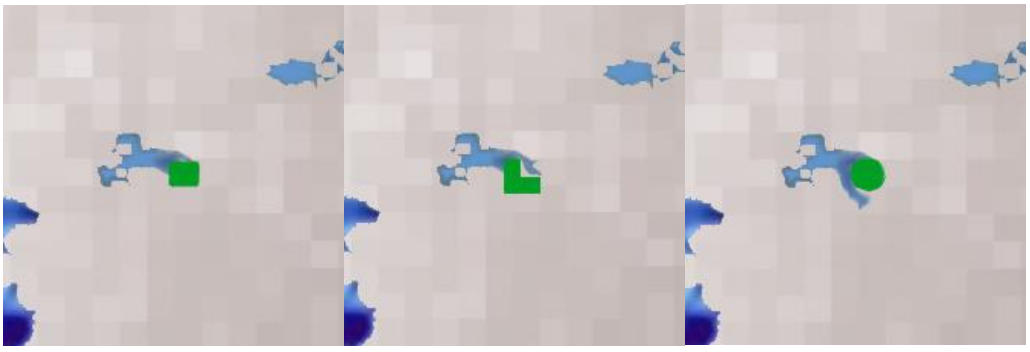
Figur 63: Jämförelse översvämningsdjup för LH-klass 33 med olika husformer

Även flödeshastigheten kan påverkas av byggnadens form (se Figur 64 och Figur 65). Om flödesriktningen ändras av byggnaden korrelerar detta med ökad flödeshastighet vid byggnaden.

Figur 64: Jämförelse flödeshastighet för LH-klass 23 med olika husformer



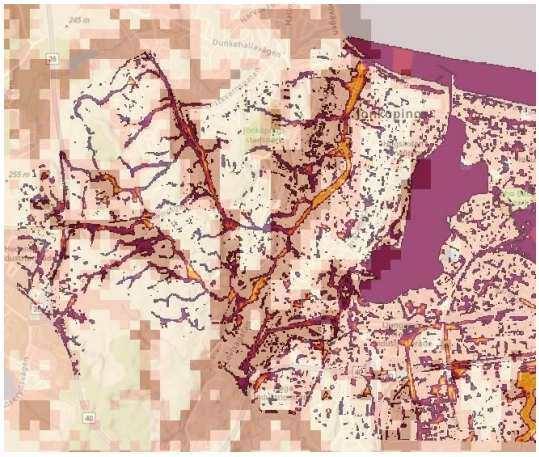
Figur 65: Jämförelse flödeshastighet för LH-klass 33 med olika husformer



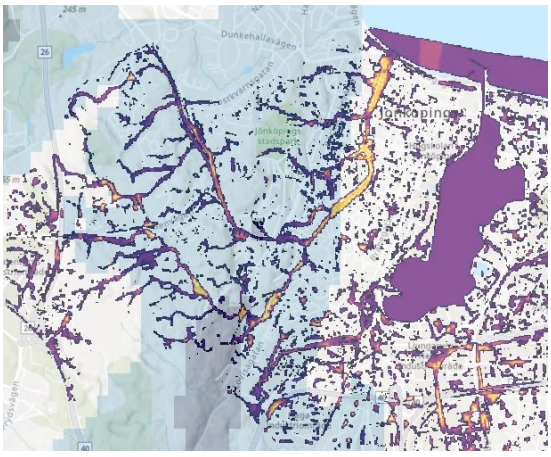
4.2.2 Vilka yttre faktorer påverkar belastningen på en byggnad vid skyfall?

Vid jämförelse med skyfallskarteringen gjord av Länsstyrelsen runt Tabergsåns utmyntning framträder ett samband mellan H-klass 3 och högre risk för översvämning (se Figur 66). Något liknande samband tycks inte finnas mellan risken för översvämning och markens lutning (se Figur 67). Dock tycks en kombination av H-klass 2 och L-klass 1 ge ökad risk för översvämning. Detta skulle kunna bero på att de områden av terränganalysen som sammanfaller med skyfallskarteringen främst är lågt belägna. Värt att notera är dock att även de mest västra delarna av området för skyfallskartering har vissa tendenser till vattenansamlingar, trots att dessa ligger högre belägna.

Figur 66: Jämförelse skyfallskartering och H-klass



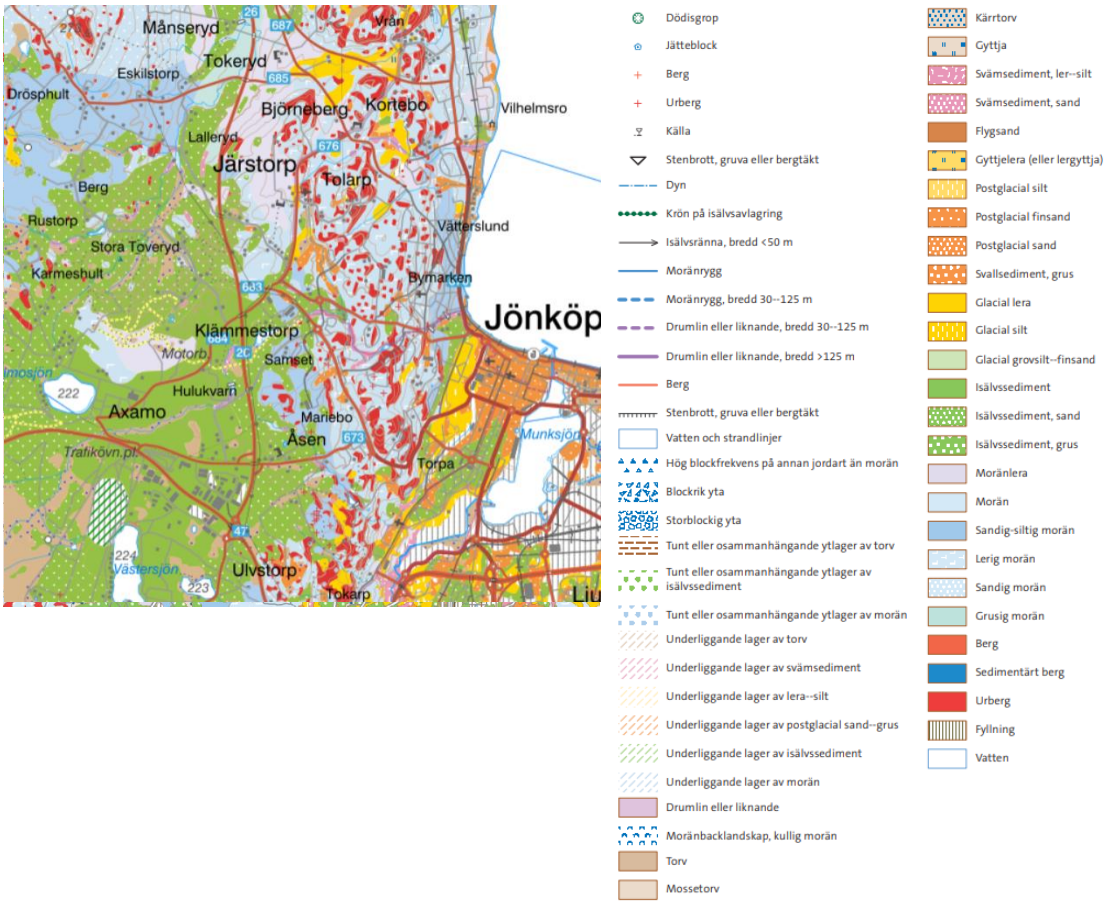
Figur 67: Jämförelse skyfallskartering och L-klass



Vid jämförelse av analysen av L-klasserna i Jönköping och jordartskarta över samma område framträder ett samband mellan högre L-klass och lägre E-klass (se **Fel! Hittar inte referenskälla.** på nästa sida).

Vid skyfallssimulering på typterräng framkommer liknande resultat. H-klass 3 medför en ökad översvämningsrisk, i synnerhet i kombination med L-klass 1. Vid högre L-klass minskar risken för översvämning tydligt samtidigt som flödeshastigheten ökar. Flödeshastigheten är generellt sett högre i smalare passager.

Fel! Hittar inte referenskälla.



Kommentar. Från ” Kartvisaren Jordarter 1:25 000-1:100 000”, av Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), u.å., (https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html). Använd enligt licens CC0.

4.2.3 Hur kan byggnader i Jönköpings kommun anpassas för att minska risken för skador vid skyfall?

Vid hög L-klass är risken för översvämning lägre men flödeshastigheten högre. För att minska risken för översvämning och begränsa flödeshastigheten i dessa fall kan byggnaden placeras så att vattnets flödesväg inte blockeras. Fastigheten kan också utformas för att undvika smala passager för vattnet att passera. Hög H-klass medför ökad risk för översvämning, speciellt i kombination med låg L-klass. I dessa fall ger byggnadens form inte några större skillnader. Däremot kan omledning av vattnet runt byggnaden påverka var översvämningen hamnar och byggnadens placering i höjdled kan påverka risken för skador på grund av högt vattenstånd.

5 Diskussion

I detta avsnitt diskuteras resultatet som framkommit och metoden som använts med dess styrkor och svagheter. Detta kan ge fastighetsägare en konkret utgångspunkt för att i ett tidigt skede avgöra vilka faktorer som blir avgörande. Då väder, samt vatten- och sedimentrörelser är oförutsägbara går inga exakta förutspående att göra utifrån studiens resultat. En mer detaljerad undersökning kan ge tydligare information då det krävs, men sannolikt är det inte möjligt att ha med alla faktorer i beräkningen.

5.1 Resultatdiskussion

Studien visar hur relativt lokala terrängförhållanden kan ge en fingervisning om vilken typ av utmaningar en fastighet kan drabbas av vid ett skyfall.

5.1.1 Hur påverkar byggnadens utformning belastningen vid skyfall?

Byggnadens form kan ha viss inverkan på översvämningsdjupet när byggnaden blockerar vattnet flödesväg. I detta fall ökar översvämningsdjupet främst när vattnet behöver ledas om längs en lång sträcka för att runda byggnaden. Flödeshastigheten kan i samma situationer påverkas på liknade sätt med högre flödeshastighet då vattnets flödesriktning tvingas ändras.

5.1.2 Vilka yttre faktorer påverkar belastningen på en byggnad vid skyfall?

Terränganalyserna visar ett samband mellan lokalt låg terräng (H-klass 3) och översvämning samt ett samband mellan kombinationen relativt flack terräng (L-klass 1) och terräng med en liknande eller lägre höjd än omgivande terräng (H-klass 2-3) ökad risk för översvämning. Enligt Maiwald et al (2022) är översvämningsdjupet, i samverkan med flödeshastigheten, en faktor som kan spela roll i hur stor risken för att en byggnad drabbas av skador är. Flödeshastigheten påverkas främst av terrängens lutning. Detta innebär att områden med en kombination av hög lutning och lokalt låg terräng är speciellt utsatta då byggnader riskerar att utsättas för både översvämning och skador till följd av vattenströmmar.

Vattenströmmar kan förutom att påverka omgivningen med stora krafter också bidra till erosion, genom att det för med sig jord i sin väg. Marion och Wimpey (2017, 2019) visade hur erosionen i kombination med lutning ökar risken för erosion. De visade också hur topografin och vattnets fallinje kan samverka för att ge ännu mer erosion, eller minska dess effekter. Även jordarterna i markytan spelar roll för att avgöra risken för erosion. Ett jordlager med hög E-klass forslas lättare bort av strömmande vatten vilket gör terrängen mer känslig.

5.1.3 Hur kan byggnader i Jönköpings kommun anpassas för att minska risken för skador vid skyfall?

För att minska risken för skador vid skyfall behöver byggnader anpassas efter de terrängförhållanden som förefaller i området. Om Fastigheten ligger i H-klass 3 eller H-klass 2 i kombination med L-klass 1 bör särskild hänsyn tas till risken för översvämning. Ligger istället fastigheten i en hög L-klass bör särskild hänsyn tas till risk för erosion och E-klassen bör tas i beaktning. Som Marion och Wimpey (2017, 2019) visade kan även terrängens exakta utformning påverka risken för skador på

terräng. Utformning av terräng runt byggnader på fastigheter i erosionskänsliga områden bör därför också planeras för att ge vattnet lämpliga flödesvägar och minska risken för att ras sker på fastigheten vid ett skyfall. Vidare bör manipulering av mark på fastigheter göras med eftertanke för att minska risken för att det jämviktsläge som beskrivs av Boverket (2020) ska rubbas.

5.2 Metoddiskussion

Den metod som använts är experiment i form av datorsimuleringar. Styrkorna med metoden är bland annat den reproducerbarheten som finns, att simuleringen enkelt kan göras om och leda till liknande resultat. En annan styrka är den detaljrika informationen man kan få med hjälp av datorsimuleringar. Svagheter med metoden är de förenklingar som görs vid simuleringarna för att kunna genomföra dem. Ytterligare en svaghet är kunskapen som krävs i olika program för att producera bra simuleringar.

Vid applicering av terrängklasser på befintlig terräng hade större noggrannhet kunnat uppnås genom att beräkna värden för fler punkter. Det skulle även kunna skapas en mer nyanserad bild genom att dela in klasserna i mindre spann. Då klasserna är tänkta som ett grovt mått ansågs detta inte nödvändigt för syftet. Däremot hade ett betydligt större område kunnat analyserats och erosionsbenägenheten hade kunnat inkluderas i analysen för en mer komplett bild. Vid jämförelse med skyfallskarteringen utförd av Länsstyrelsen hade mer exakt data än en bild med två approximerade georeferenspunkter kunnat användas.

Utifrån mål och frågeställningar har arbetet tillstordel lyckats åstadkomma det som skulle åstadkomma genom metodval och tillvägagångsätt. En sak som inte blev som det var tänkt var att simuleringarna av typterräng inte skulle gjorts på en verklig terräng utan på en fiktiv terräng som skulle skapats. Det var dock inte möjligt att göra det på grund av bland annat tidsbrist och brist på kunskap i GIS för att göra det på ett enkelt sätt. Resultatet av det blev att simuleringarna gjordes på terräng med byggnader i Jönköping som var klassad enligt de klasser som undersöktes, ett resultat kan dock ses i simuleringarna ändå.

De olika marktyper är inte med i simuleringen utan simuleringen är gjord på en standardtyp och därför är inte risken för slamströmmar och liknande medräknat i simuleringen. Det var tanken att det skulle vara med så det är en svaghet med den valda metoden.

En möjlig förbättringspotential är att simuleringarna på typterrängen skulle kunna göras på ett annat sätt för att inte behöva göra lika många simuleringarna. På alla terrängklasserna skulle en byggnadsutformning kunna göras och sen för någon specifik terrängklass skulle olika byggnadsutformningar kunna simuleras för att se hur olika byggnadsutformningar påverkas av vattnet. Det hade troligtvis räckt att testa de olika terrängtyperna på en byggnad.

6 Slutsatser och förslag till vidare forskning

Arbetet visar på tydliga samband mellan enkelt observerbara terrängförhållanden och olika typer av påfrestningar på fastigheter vid skyfall. Informationen bör underlätta för fastighetsägare som söker bättre förståelse för vilka unika utmaningar den enskilda fastigheten har.

För vidare forskning rekommenderas djupare analyser i byggnaders sårbarheter. Det bör också utföras observerande studier på områden som drabbats av skyfall för att undersöka hur väl resultaten från denna studie knyter an till verkliga scenarion. Mer detaljfokuserad forskning bör också göras för att definiera byggtekniker och detaljer som påverkar byggnaders sårbarhet samt för att applicera sårbarhetsklasserna definierade av Maiwald och Schwarz (2008) på svensk bebyggelse. Vidare forskning bör eftersträva att inkludera mer omfattande topografisk data och markdata för att få fram ett mer generaliserbart resultat och för att förbättra noggrannheten i resultatet kring översvämningsrisker.

Referenser

Boverket (2020, 22 december). *Ras och skred*. Hämtad 8 maj, 2024, från https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturolyckor/sakerhetsfragor/ras/

Jönköping kommun (2023, 2 oktober). *Förnyelse av vatten- och avloppsledningsnätet*. Hämtad 22 november, 2023, från https://www.jonkoping.se/bygga-bo--miljo/vatten-och-avlopp/kommunalt-vatten-och-avlopp/utveckling-och-planer-for-kommunalt-vatten-och-avlopp/fornyelse-av-vatten--och-avloppsledningsnatet

Jönköping kommun (2023, 10 juli). *Skydd mot översvämning*. Hämtad 22 november, 2023, från https://www.jonkoping.se/kommun--politik/sakerhet-och-krisberedskap/krisberedskap-vid-kriser-och-samhallsstorningar/skydd-mot-oversvamning

Maiwald, H., & Schwarz, J. (2008). *Damage and loss prediction model based on the vulnerability of building types*. [Papperspresentation]. 4th International Symposium on Flood Defence, Toronto, Kanada http://doi.org/10.13140/2.1.1358.3043

Maiwald, H., & Schwarz, J. (2012). *Damage and loss prediction model considering inundation level, flow velocity and vulnerability of building types*. https://doi.org/10.2495/FRIAR120051

Maiwald, H., & Schwarz, J. (2015). Damage and loss prognosis tools correlating flood action and building's resistance-type parameters. *International Journal of Safety and Security Engineering, 5*(3), 222-250. https://doi.org/10.2495/SAFE-V5-N3-222-250

Maiwald, H., Schwarz, J., Kaufmann, C., Langhammer, T., Golz, S., Wehner, T. (2022). Innovative Vulnerability and Risk Assessment of Urban Areas against Flood Events: Prognosis of Structural Damage with a New Approach Considering Flow Velocity. *Water*, *14*(18), http://doi.org/10.3390/w14182793

Marion, J. L., Wimpey, J., (2017) Assessing the influence of sustainable trail design and maintenance on soil loss, *Journal of Environmental Management*, *189*, 46-57. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.074

Marion, J. L., Wimpey, J., (2019) The influence of layout on Appalachian Trail soil loss, widening, and muddiness: Implications for sustainable trail design and management, *Journal of Environmental Management*, *257*, 109986. https://doi-org.proxy.library.ju.se/10.1016/j.jenvman.2019.109986

Naturvårdsverket. (u.å.). Klimatförändringarnas effekter i Sverige. Hämtad 8 november 2023, från

https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/klimatet-i-framtiden/effekter-i-sverige/

Statens geotekniska institut, SGI, Linköping och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB, Karlstad. (2021). *Riskområden för ras, skred, erosion och översvämning, Redovisning av regeringsuppdrag enligt regeringsbeslut M2019/0124/Kl*.

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU). (u.å.). *Kartvisaren Jordarter 1:25 000-1:100 000*. https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. (2023, 20 oktober). *Extrem nederbörd*. Hämtad 8 november, 2023, från https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-extrem-nederbord-1.29819

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. (2023, 4 september). *Skyfall*. Hämtad 8 november, 2023, från https://www.klimatanpassning.se/klimatanpassa/vagledning-for-klimatanpassning/hantera-risker/skyfall-1.89213

Säfsten, K. & Gustavsson, M. *Forskningsmetodik för ingenjörer och andra problemlösare.* Studentlitteratur