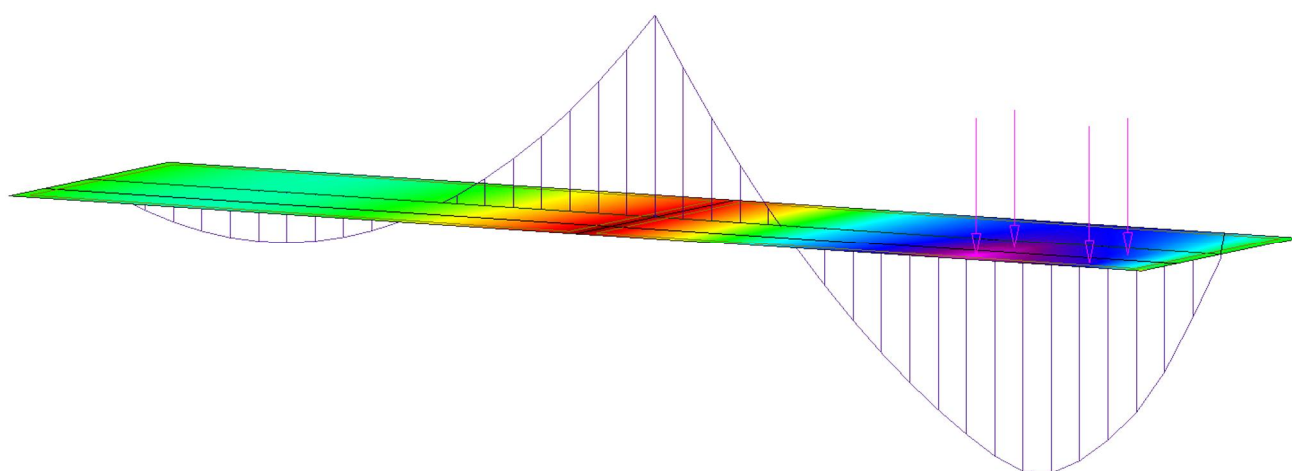




CHALMERS



Användning av Robot Structural Analysis tillsammans med Revit Structure

Utredning av funktionalitet för brokonstruktioner

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

HANNA BRYNHILDSEN
JOSEFIN TJERNLUND

Användning av Robot Structural Analysis tillsammans med Revit Structure

Utredning av funktionalitet för brokonstruktioner

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

HANNA BRYNHILDSSEN

JOSEFIN TJERNLUND

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Construction Management
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2015

Användning av Robot Structural Analysis tillsammans med Revit Structure
Utredning av funktionalitet för brokonstruktioner

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

HANNA BRYNHILDSEN

JOSEFIN TJERNLUND

© HANNA BRYNHILDSEN, JOSEFIN TJERNLUND, 2015

Examensarbete 2015:58 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2015

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för Construction Management
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Platta med tillhörande momentkurva genererad i Robot Structural Analysis.

Chalmers Reproservice/ Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2015

Användning av Robot Structural Analysis tillsammans med Revit Structure

Utredning av funktionalitet för brokonstruktioner

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

HANNA BRYNHILDSEN

JOSEFIN TJERNLUND

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Construction Management

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Sedan begreppet BIM infördes har effektivare arbetsmetoder inom byggbranschen samt fler BIM-anpassade programvaror utvecklats. Däribland Robot Structural Analysis från Autodesk vilket är en programvara för strukturanalys och armeringsdimensionering. Fördelen med programmet är dess gynnsamma tvåvägskommunikation med 3D-modelleringsverktyget Revit Structure då modeller från Revit kan utnyttjas vid strukturanalys.

Syftet med examensarbetet har varit att utvärdera programvarans funktioner för beräkningsanalys av svenska brokonstruktioner där Trafikverket är den största beställaren. Med hjälp av jämförelser har programmets resultatutformning bedömts utefter konstruktörers krav och förväntningar. En nackdel är att mjukvaran ännu inte är fullt lika utvecklad för svenska brokonstruktioner som för huskonstruktioner vilket gör att gällande regelverk i form av standarder och rapporter inte kan tillämpas eller utföras i programmets grundutförande. Dock kan dessa definieras och programmeras upp manuellt.

Arbetet analyserar enbart en betongplatta i två spann, upplagd på tre linjestöd. Förhoppningen med användningen av Robot var att programmet skulle innehålla funktioner som effektiviserar arbetet för konstruktörer. Ett exempel på det är huruvida armeringsdimensioneringen kan överföras till 3D-modellen i Revit.

Genom handledning av konstruktörer på Sweco har utredningen av programmet genomförts. Synkroniseringen mellan de två programvarorna fungerar då rätt arbetsgång används och undersökningen visar att Robot har potential för strukturanalysering av broar. Ett par problem har stötts på och då framförallt vid redovisningen av resultat då Trafikverkets krav på dessa är stora.

Nyckelord: Robot Structural Analysis 2015, Revit Structure 2015, BIM, strukturanalys, brokonstruktioner

Usage of Robot Structural Analysis together with Revit Structure

Investigation of functionality for bridge construction

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

HANNA BRYNHILDSEN

JOSEFIN TJERNLUND

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Construction Management

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Since the concept of BIM was introduced more efficient work methods in the construction sector and more BIM custom software have been produced. Among them Robot Structural Analysis from Autodesk which is a program for structure analysis and reinforcement design for concrete constructions. The advantage of the program is its beneficial two-way communication with the 3D-modeling tool Revit Structure when models from Revit can be used in structural analysis.

The aim of the thesis was to evaluate the software's functionality for calculation analysis of Swedish bridge structures where Trafikverket is the biggest purchaser. With use of result comparisons the programs outcome has been assessed along the constructors requirements and expectations. One disadvantage is that the software is not yet quite as developed for Swedish bridge structures as for house constructions which results in no capacity of applying current requirements the industry has in form of standards and procedures in the basic configuration of the program. These requirements can be defined and programmed manually.

This thesis only analyzes a concrete slab in two ranges, structured in three line supports. The hope with usage of Robot was that the program should include functions that make the work for structural engineers more efficient. An example of this is whether the reinforcement design can be transferred to the 3D model in Revit.

Through guidance of structural engineers at Sweco the investigation of the program has been accomplished. The synchronization between the two software works well when the correct work procedures are used and the survey shows that Robot has potential for structural analysis for bridges. A few problems have been encountered and then particularly in the accounting of results when the Swedish transport administration requirements are big.

Key words: Robot Structural Analysis 2015, Revit Structure 2015, BIM, structure analysis, bridge construction

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsning	2
1.4 Metod	2
2 BIM	4
2.1 BIM inom anläggningskonstruktion	5
3 BROPROJEKTERING	6
3.1 Arbetsprocess Sweco	6
3.2 Standarder och föreskrifter	7
3.2.1 Eurokoder	7
3.2.2 Trafikverkets föreskrifter	8
4 PROJEKTERINGSVERKTYG	9
4.1 Revit Structure	9
4.1.1 Modellering	9
4.1.2 Randvillkor	9
4.1.3 Laster	10
4.2 Robot Structural Analysis	10
4.2.1 FEM	10
4.2.2 Mesh	10
4.2.3 Strukturelement	11
4.2.4 Laster	11
4.2.5 Resultat av systemanalyser	12
4.2.6 Armering	13
4.3 Import och export mellan Revit och Robot	14
5 ANALYS AV BETONGPLATTA	16
5.1 Användning av Robot Structural Analysis	16
5.2 Definiering bro	16
5.3 Laster	18

5.4	Systemanalys och resultat	21
5.5	Armeringsdimensionering	23
5.6	Export tillbaka till Revit Structure	24
6	SLUTSATS	25
7	DISKUSSION	27
7.1	Utvecklingsmöjligheter	27
8	REFERENSER	28

BILAGA 1 – RAPPORT AV SYSTEMANALYS

BILAGA 2 – ARMERINGSRESULTAT

BILAGA 3 – ANVÄNDARMANUAL ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS

Förord

Uppsatsen täcker vårt examensarbete motsvarande 15 högskolepoäng och är det sista vi gör i byggingenjörsutbildningen vid Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet har genomförts på Sweco Civils kontor i Göteborg under sista delen av vårterminen 2015.

Idén till examensarbetet kom fram vid ett samarbete med anställda på Sweco. Vi önskar att rätta ett stort tack till våra handledare Jonas Renström och Jacob Hellgren för all den tid de har lagt ner på att hjälpa oss. Samtidigt vill vi tacka samtliga anställda på Sweco Civil i Göteborg som har hjälpt oss med problem vi stött på under vägen samt för att vi har fått vara del av en trevlig arbetsplats. Vi riktar även ett tack till vår handledare Mikael Johansson och examinator Mattias Roupé på avdelningen för Construction Management vid Chalmers Tekniska Högskola.

Göteborg juni 2015

Hanna Brynhildsen och Josefin Tjernlund

Beteckningar

Moving Load	Fordonslast
Revit	Revit Structure 2015
Robot	Robot Structural Analysis 2015
Shell Design	Skalelement
Structure Elements	Strukturelement
Translation	Förflyttning

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Idag används en mängd olika programvaror under projekteringsprocessen inom byggbranschen i Sverige. Sedan en lång tid tillbaka har tvådimensionella ritningar dominerat på marknaden med AutoCAD från leverantören Autodesk som en av de ledande mjukvarorna. Men allteftersom begreppet BIM introducerades i branschen har utvecklingen av arbetsmetodiker inom byggprojekt ökat med nya krav från beställare, främst Trafikverket som är den största inom infrastruktur i Sverige (Melin Lundgren, N. 2014).

Innebörden av BIM är bland annat att effektivisera byggbranschen genom förnyade arbetssätt och alla parter arbete mot en och samma virtuella modell. Denna modell kan i sin tur lagra samtlig information om konstruktionen, från planering till underhåll, så beslutsfattandet blir enklare och kvaliteten bättre på grund av ökat samarbete mellan olika parter i projektet.

Utvecklingen av BIM-användning har gått fort framåt, framförallt inom husbyggnad där krav på en 3D-modell allt oftare finns från beställaren. På anläggningssidan har efterfrågan och kravställningen däremot inte varit lika stor vilket märks på branschens befintliga mjukvaruprodukter som hanterar BIM. Teknikutvecklingen går emellertid snabbt framåt med nya programvaror inom modellering och analysering med gynnsamma synkroniseringsmöjligheter mellan varandra.

Sweco Civil i Göteborg arbetar idag med projektering inom mark och anläggning. Då efterfrågan på BIM blir ett allt vanligare krav från beställaren är detta en väsentlig del i företagets arbete. Autodesks programvara Revit Structure är en av de produkter som används hos Sweco i detta syfte. Programmet skapar en modell i tre dimensioner med hjälp av fördefinierade komponenter där materialegenskaper kan ändras av användaren. En stor vinst inom effektiviseringsarbetet ligger i att utnyttja datamodellen i samtliga steg under projekteringen.

Via intervjuer med konstruktörer och projektörer på Sweco framgick det att intresse finns för smarta kopplingar mellan olika program som hanterar BIM i form av 3D-modeller. Det är dock inte primärt i det inledande arbetet som en tidsbesparing kan göras. Detaljnivån på projekteringsritningarna är i detta skede oftast låg och det tar normalt kort tid att återskapa en modell för analys.

Däremot poängterade Swecos personal att det finns vinning i att i slutskedet kunna återkoppla resultatet till en 3D-modell som delas av flera aktörer. Detta genom att till exempel för betongbroar kunna återinföra armeringsmängden till modellen och se placeringen i tre dimensioner samt att utefter det kunna skapa armeringsritningar. Export av resultat från ett beräkningsprogram till ett modelleringsprogram ger således större nytta än synkronisering åt andra hållet.

Det betonades även att en väsentlig del för att få ut ett mervärde ur en ny arbetsprocess, där konstruktörerna jobbar mot en 3D-modell, är att modellen fungerar i samtliga steg.

1.2 Syfte

Examensarbetets syfte är att undersöka möjligheten att använda strukturanalysverktyget Robot Structural Analysis för brokonstruktioner för att på ett effektivt sätt kunna återkoppla resultatet till en 3D-modell i Revit Structure. Följande delmål har tagits fram för att konkret kunna arbetas efter.

- 1) Undersöka och utvärdera hur 3D-modelleringsverktyget Revit Structure och strukturanalysverktyget Robot Structural Analysis lämpar sig för brokonstruktioner. Kan programmen ge en effektiviserad arbetsprocess?
- 2) Undersöka möjligheten till koppling mellan Revit och Robot.
- 3) Undersöka anpassningen till Eurocode och Trafikverkets regelverk.

1.3 Avgränsning

Arbetet har begränsats med hänsyn till Chalmers specifikationer av examensarbete på högskoleingenjörsutbildningarna vilket avser 15 högskolepoäng och motsvarar 10 veckors arbete.

Då utformningen av en bro kan skilja sig avsevärt åt från fall till fall med avseende på till exempel storlek, geometri och material har utvärdering av programmens lämplighet behövt begränsas till en enkel typ. Utvärderingen utförs som en förenkling endast för en fritt upplagd betongplatta som är trafikbelastad i ett körfält.

Examensarbetet har fokuserats på huruvida svenska regelverk tillämpas i programmet.

En fördjupning inom olika beräkningsprogram för att få tillgång till jämförbara analyser kommer inte göras. Istället kommer denna information intas från Swecos konstruktörer genom dialoger och intervjuer.

Fokus har legat på strukturanalysprogramet Robot Structural Analysis som är en produkt från Autodesk. Andra alternativa program övervägdes men beslut togs om att enbart undersöka Robot.

1.4 Metod

Inledningsvis genomfördes en litteraturstudie av befintliga examensarbeten och artiklar för att få bakgrundsinformation och fånga behovet inom anläggningskonstruktion.

Därefter fördjupades kunskapen inom Robot Structural Analysis. Till hjälp användes manualer och arbetsbeskrivningar gjorda av Autodesk och privatpersoner. Nära kontakt har även funnits med supporten på IT-företaget Cad-Q samt Autodesk.

Programmet har sedan utvärderats med avseende på ett antal kriterier och kontrollerats huruvida de uppfylls.

Uppföljningsmöten har skett kontinuerligt med handledare på Sweco för att kontrollera att arbetet följer ursprungsplanen. Under handledningen har även konkreta frågor diskuterats och retts ut.

Under sista steget har slutsatser dragits kring hur samspelat mellan Revit och Robot lämpar sig för anläggningskonstruktioner, och då framförallt broar.

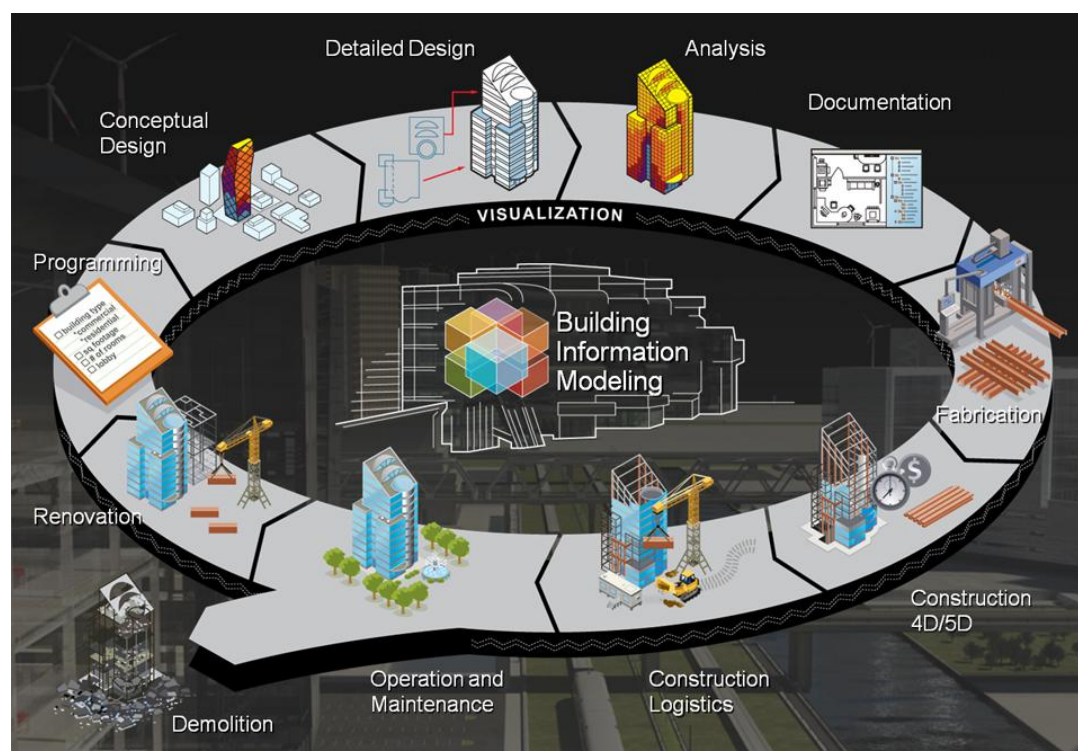
2 BIM

Begreppet BIM är välanvänt inom byggbranschen och är en av anledningarna till den teknikutveckling som pågår i branschen idag. Traditionella ritningar i två dimensioner byts allt oftare ut mot 3D-modeller.

Förkortningen står för Building Information Modeling och är ett arbetssätt eller arbetsmetod med syfte att effektivisera byggprocessen (Lindström, M; Jongeling, R. 2010). En central del är att information kan skapas, lagras och delas i en enda virtuell modell som finns tillgänglig för alla parter i processen under hela konstruktionens livslängd. Ofta förknippas BIM med 3D-modellering vilket inte är hela sanningen men en biprodukt av arbetet. Fördelen med en 3D-modell framför en vektorbaserad 2D-ritning är att materiella och mekaniska egenskaper även finns tillgängliga.

Strävan efter att finna ett beräkningsprogram som kan synkroniseras till en 3D-modell av en konstruktion ligger i linje med arbetet att all information som berör ett projekt ska finnas samlad på ett ställe. Det blir dessutom ett mer effektivt arbetsflöde om informationen inte måste föras in manuellt utan direkt kan utnyttjas i bland annat strukturanalysen av en konstruktion. En komplicerad konstruktion visualiseras även i många fall bättre i tre dimensioner då det finns möjlighet att se ett element från olika vinklar.

Förutom tekniska verktyg innefattar BIM smarta processer vilket illustreras i Figur 2.1. Tekniken skapar möjligheter till effektivisering men förutsätter att arbetsprocesserna i projekten förändras och optimeras vilket kräver att olika yrkeskategorier möts och förstår varandras behov. Det är vid kombinationen av process och teknik som den största effektiviseringen av byggprocessen möjliggörs (Knutsson, M. 2009).



Figur 2.1 Illustration av BIM.

BIM-verktyg kan appliceras på både kort och lång sikt. Kortsiktigt används verktygen för att effektivisera den interna projekteringen genom att inom företaget utveckla och anpassa programvaror efter behov. Långsiktigt arbetar leverantörer med ett öppet filformat, även kallat IFC-format, med mål att bli en internationell standard. Formatet är utvecklat av buildingSMART som arbetar för ökad användning av BIM (BuildingSMART, 2015). Med ett slutet filformat kan programvaran inte modifieras vilket förhindrar möjligheten att kombinera olika disciplinspecifika programvaror med varandra.

Användningen av BIM medför ökat samarbete mellan olika aktörer och fler kommer arbeta i samspel med varandra. Därmed blir ny information tillgänglig i tidigare processer och kollisioner mellan olika element upptäcks.

2.1 BIM inom anläggningskonstruktion

Norge och Finland är två länder som ligger längre fram än Sverige i arbetet med BIM. Detta på grund av kraven från statliga beställare (Hindersson, P. 2011). I Sverige är Trafikverket den största beställaren inom anläggningskonstruktioner och har från och med 2015 det nya kravet att samtliga investeringsentreprenader ska jobba med BIM (Melin Lundgren, N. 2014). I framtiden kommer därför 2D-modeller att ha ersatts med datamodeller vars struktur är uppbyggd av objekt med egenskaper där alla ändringar slår igenom direkt så ingen information går förlorad (Andersson, U. 2014). Det kommer följaktligen bli nödvändigt för konsultbolagen att arbeta med BIM vilket förutsätter att tekniken utvecklas i samma takt.

Ett område som kommer att förbättras tack vare BIM är produktiviteten. Normalt sett betalar Trafikverket 10-15 procent extra för sina projekt på grund av projekteringsfel (Andersson, U. 2014). Dessa onödiga kostnader kan med hjälp av BIM minimeras. Jobbar alla parter mot en och samma modell kan kollisioner upptäckas direkt i modellen och fel behöver inte åtgärdas på plats. Det kommer även bli möjligt att förutse kostnader då hela anläggningen visualiseras på samma plats (Trafikverket, 2013).

Inom anläggningsbranschen idag är arbetet inom modellering och beräkning separerat från varandra. Modeller och ritningar kan inte utnyttjas fullt ut vid strukturanalyser utan tolkas och ritas upp på nytt. Ökad användning av BIM inom anläggningsprojekt skulle innebära att en gemensam modell kan användas för samtliga parter där den med rätt filformat även kan utnyttjas i ett beräkningsprogram.

3 Broprojektering

3.1 Arbetsprocess Sweco

Arbetsflödet för broprojektering ser i dagsläget olika ut för olika projekt. Nedan följer en generell beskrivning av de olika momenten som utförs vid Sweco Civils projekteringsarbete i Göteborg, med fokus på konstruktörens roll som tar vid vid detaljprojekteringen, se Figur 3.1.



Figur 3.1 Arbetsgång för broprojekt på Sweco.

I takt med att projektet blir godkänt av beställaren kan detaljprojekteringen starta där en modell inledningsvis ritas upp av projektören. Detta görs i dagsläget oftast i modelleringsprogrammet AutoCAD. Därefter får konstruktören ritningarna som underlag för dimensionering. I samtliga strukturanalysprogram krävs en modell att utgå ifrån, vars detaljnivå är låg. De nödvändiga delarna är de bärande elementen, resten kan skalas bort. Därmed är projektörens ritningar överflödiga ur dimensioneringssynpunkt, vilket gör att modellen bestående av analyslinjer blir en förenkling av verkligheten.

De två metoderna för att skapa en analysmodell är att manuellt bygga upp en struktur i programvaran, alternativt lyfta in en 2D- eller 3D-ritning från ett annat program. För att kunna utföra en överföring krävs det att aktuell filtyp stöds. Programvarorna som används för 2D- och 3D-analys på Sweco Civil i Göteborg är framförallt Nastran och Brigade Plus från tillverkarna Scanscot respektive Siemens. Båda programvarorna är generella FE-program och fungerar på liknande sätt där filer med DWG/DXF-format från AutoCAD kan importeras.

Randvillkor, laster och andra faktorer som påverkar beräkningarna definieras i analysprogrammet. Efter att beräkningen har gjorts överlämnas modelländringar till projektören. Justeringar görs och därefter påbörjas arbetet med framtagning av arbetsritningar. Dessa levereras i slutsteget till beställaren som normalt är byggherren eller entreprenören.

Som beskrivet ovan skickas ritningarna fram och tillbaka mellan projektör och konstruktör där de olika ritningarna måste uppdateras på olika håll för att stämma överens. Det är en arbetsprocess som ger utrymme för feltolkningar och kvalitetsbrister men som kan effektiviseras om samma modell kan användas för att på ett smidigt vis få ut de ritningarna som behövs.

Brigade Plus och Nastran som används på Sweco i Göteborg har de funktioner som behövs för analys av brokonstruktioner. Därmed finns det inget behov av ett nytt beräkningsprogram ur funktionalitetssynpunkt. Utvecklingspotential finns däremot mellan modellering- och dimensioneringsarbetet. Framtidsplaner finns det även för

användningen av 3D-modeller under tidigare skeden i processen. Idag påbörjas arbetet med BIM vanligtvis under arbetet med arbetsplan och systemhandlingar.

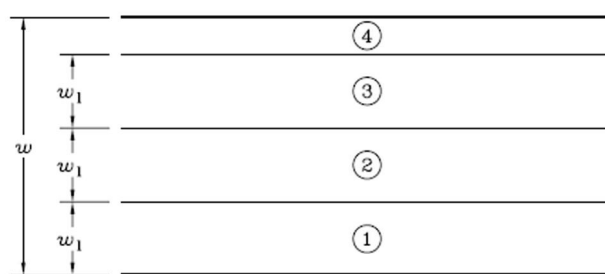
3.2 Standarder och föreskrifter

Vid broprojektering i Sverige finns ett par regelverk som måste följas. Det är dels olika eurokoder och dels regelverk framtagna av Trafikverket och Boverket. Eurokoderna är uppdelade i tio huvudkapitel och är en allmän samordning för tekniska specifikationer anpassade för europeiska länder, medan Trafikverkets föreskrifter anger värdet på de nationella parametrarna som lämpar sig för svensk byggnation. I de olika regelverken beskrivs bland annat formler, lastkombinationer, lastmodeller och typfordon.

3.2.1 Eurokoder

Eurokodernas syfte är att effektivisera byggverksamheten i europeiska länder genom att underlätta handeln över gränserna och bidra till säkrare processer och produkter. 1975 antog EG-kommissionen ett arbetsprogram vars syfte var att eliminera tekniska handelshinder och samordna tekniska specifikationer. Standarderna blev till en början ett alternativ till de europeiska ländernas regler som så småningom ersattes helt och hållet. Det eurokoderna skiljer sig åt mellan olika länder är de nationella parametrarna som anges av landets föreskrivna myndighet. De olika eurokoderna berör olika typer av material och verksamhetsområden. Om koderna har följts uppfyller konstruktionen de väsentliga kraven i EG-kommissionens direktiv vilket i stora drag är bärförmåga, stabilitet, beständighet och säkerhet i händelse av brand (SIS, 2002).

En grundläggande del inom brokonstruktioner som behandlas i eurokoderna är lastmodeller vars syfte är att simulera effekterna från verklig trafik. I modellen täcks alla trafiksituationer som normalt kan ske på en vägbro in och gäller för konstruktioner med en belastad längd av högst 200m (SIS, 2003). Vid beräkning delas vägbron in i 3m breda lastfält i vägens färdriktning som sedan belastas så lasteffekten blir den mest ogynnsamma, se Figur 3.2.



Förklaring

w Körbanebredd

w_1 Lastfältsbredd

1 Lastfält nr. 1

2 Lastfält nr. 2

3 Lastfält nr. 3

4 Återstående yta

Figur 3.2 Exempel på numrering av lastfälten på en vägbro där lastfältsbredden $w_1 = 3m$.

3.2.2 Trafikverkets föreskrifter

I Trafikverkets föreskrifter anges vilka parametrar som gäller vid tillämpning av eurokoderna i Sverige samt andra regelverk, krav- och rådsdokument och tekniska beskrivningar (Trafikverket, 2014). För just brokonstruktioner följs de tekniska krav som beskrivs i trafikverksdokumentet TRVK Bro vilket innehåller regler för dimensionering och utformning av svenska broar (TRV 2011).

Sedan Vägverkets och Banverkets sammanslagning till en gemensam myndighet 2010 innefattar Trafikverkets föreskrifter både vägar och järnvägar. Speciellt för järnvägsbroar är att även föreskrifter från Boverket måste beaktas.

4 Projekteringsverktyg

Detta examensarbete inriktar sig mot brokonstruktioner, där Revit Structure har använts för modellering och Robot Structural Analysis för analys.

4.1 Revit Structure

Revit är en programvara för byggdesign som är speciellt utformad för hantering av BIM då programmet bland annat används som 3D-modelleringsverktyg och kan kommunicera med andra program. Revit finns i tre olika versioner: Revit Architecture, Revit MEP och Revit Structure. De olika versionerna inriktar sig mot områdena arkitektonisk design, ventilation, el och VVS, konstruktionsteknik och byggnation (Autodesk, 2015b). I och med examensarbetets inriktning mot brokonstruktioner är Revit Structure mest lämpad.

4.1.1 Modellering

Viktigt att tänka på under modellering i Revit är att modellen byggs upp av *Structure elements* eftersom enbart dessa element kan exporteras till Robot för vidare analys. *Structure elements* är element som är uppbyggda kring systemlinjer och som i Revit inte kan delas in i mindre delar, till exempel balkar och pelare. Var systemlinjerna är placerade i elementen, vanligtvis tyngpunkten eller centrumpunkten, spelar ingen roll så länge det görs konsekvent. Om familjer, det vill säga färdigutvecklade objekt, används vid modellering är det viktigt att även dessa är uppbyggda av *Structure elements*. Är elementet inte uppbyggt på det vis som beskrivits ovan följer komponenterna inte med vid export till Robot, se Figur 4.1.



Figur 4.1 Den vänstra modellen visar en bromodell i Revit Structure medan den högra bilden visar de strukturelement som har kommit med vid export till Robot. Till exempel har brodäcket inte förts över.

4.1.2 Randvillkor

Valet av randvillkor påverkar strukturens kraftfördelning och följande upplag finns tillgängliga i Revit:

Rörligt lager: I ett rörligt lager tillåts fria rörelser i horisontalled medan de i vertikalled är fastlåsta. Det är fri rotation i ett rörligt lager och den enda upplagskraft som kan uppstå är vertikalkraft.

Fixlager: Vid ett fixlager hindras rörelse i vertikalled och horisontalled, men det är fri rotation i upplagspunkten. De upplagskrafter som kan finnas i denna upplagstyp är vertikal- och horisontalkrafter.

Fjädrande upplag: I ett fjädrande upplag är det såväl fri translation som rotation.

4.1.3 Laster

Variabla laster och permanenta laster skiljer sig åt genom att variabla laster varierar över tid, som till exempel snölaster och fordonslaster, medan permanenta laster är konstanta, till exempel egentygden. Revit begränsas av att det inte kan hantera variabla laster, vilket är en nackdel vid bland annat import av Robot-filer som innehåller fordonslaster, som används när en bro skall analyseras och dimensioneras för armering. Detta är dock något som skall förbättras i 2016 års version enligt supporten på Autodesk¹. Permanenta laster hanteras av programmet och kan läggas till på två olika sätt. Antingen genom *Hosted Load* där lasterna är kopplade till modellen, vilket gör att lasten hänger med om modellens geometri förändras, eller genom *Load* där lasten är fast vid en punkt. I Revit finns olika lastfall fördefinierade vilka bland annat definierar hur belastningsmönstret tillämpas, statiskt eller dynamiskt, och hur strukturen responderar, linjärt eller olinjärt. För att utföra en analys måste ett eller flera lastfall definieras (CSi, 2014). Lastkombinationer som består av flera olika lastfall kan också skapas som tillsammans med lasterna hänger med modellen vid export till Robot.

4.2 Robot Structural Analysis

Robot Structural Analysis är ett analysprogram från Autodesk som tillåter tvåvägskommunikation med Revit Structure, vilket bland annat möjliggör en omfattande BIM-process. Robot hjälper ingenjörer att utföra simuleringar, analyser och kodbaserad design för olika typer av strukturer (Autodesk, 2015a).

4.2.1 FEM

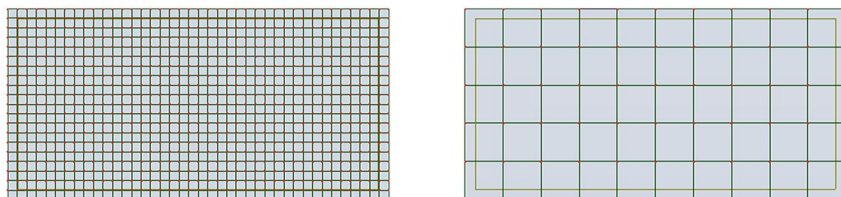
Beräkningar som görs i Robot bygger på finita elementmetoden, FEM. Det är en numerisk beräkningsmetod som baseras på att sammansatta problem delas in i mindre delar, så kallade element. Approximativa lösningar tas fram för varje element som sedan kopplas ihop och löses i förhållande till varandra (Combitech, 2013). Till exempel kan randvärdesproblem, det vill säga partiella differentialekvationer med givna randvillkor, lösas approximativt då exakta lösningar kan vara svåra att få fram. Eftersom det ofta är mycket tidskrävande att lösa ekvationer numeriskt, det vill säga med tal istället för algebraiska uttryck, kan beräkningarna med fördel överlåtas till en dator.

4.2.2 Mesh

FEM bygger som tidigare beskrivit på att stora problem delas in i mindre element. När approximativa lösningar har tagits fram för varje element måste dessa element sedan kopplas ihop i ett sammanhängande område, så kallat elementnät eller *mesh*, med en nod i var korsning för att tillsammans ge en komplex lösning på problemet. Noderna är kopplade till element där snittkrafter erhålls, medan förskjutningar fås i

¹ Support Autodesk, telefonsamtal den 5 maj 2015.

noderna. En modell med fin *mesh* ger en mer noggrann analys och ett glest nät genererar en mer approximativ lösning, se Figur 4.2.



Figur 4.2 En fin respektive gles mesh.

4.2.3 Strukturelement

Strukturelement används vid beräkningar baserade på finita elementmetoden där beräkningsmodellen delas in i olika strukturelement baserade på strukturens olika egenskaper. Målet är att den förenklade beräkningsmodellen skall spegla verkligheten på bästa möjliga sätt. Olika teorier används för strukturelementen som bland annat skiljer sig åt genom att fler frihetsgrader blir tillgängliga vid högre dimensioner. I Tabell 4.1 redovisas en del av de vanligaste elementtyperna.

Tabell 4.1 Indelning av finita elementtyper.

Dimension	Strukturelement	Kontinuumelement
1D	Stångelement	Stångelement
2D	2D balk-, skiv-, platt och övergångselement	Plant spännings- och töjningselement samt axelsymmetriska element
3D	3D balk-, skal-, och övergångselement	Volymelement

4.2.4 Laster

När en Revit-modell har importerats till Robot kan lastpåläggningar göras. För att möjliggöra användning av variabla laster måste strukturtypen ändras till *Shell Design*, det vill säga skalelement. Detta görs för att Revit-filen till en början kategoriseras som *Building*, vilket är en *template* och inget skalelement. En *template* är en fil som definierar modellens mönster. Det är dessutom viktigt att vara noga med att modellen består av ett material då detta inte är en självklarhet när den har skapats i Revit.

Fördefinierade lastfall samt laster som har lagts till i Revit följer med modellen vid export, vilka ses under *Load Table* där lasterna listas upp. Egentyngden läggs in automatisk och utgår från angiven volymvikt. Armerad betong har till exempel värdet 25 kN/m^3

Laster, lastfall och lastkombinationer kan läggas till i Robot, men till skillnad från Revit kan även fordonslaster användas i programmet. I mjukvaran finns fördefinierade fordon från bland annat eurokod tillgängliga, samt möjlighet att skapa egna om önskade fordon inte existerar. Trafikverkets fordonstyper som används för

svenska brokonstruktioner saknas. Som en lösning på detta kan egna databaser skapas där egendefinierade fordon och lastkombinationer kan sparas. Databaserna finns sedan tillgängliga för användning av olika personer och olika projekt vilket minskar arbetet med manuell handpåläggning. Fordon och dess vägbanor skapas under fliken *Moving Loads* som ligger under *Loads* i ribbonmenyn. Mer än en vägbana kan dessutom skapas till ett och samma fordon, vilket ofta görs då analyser genomförs för att hitta hur en bro eller vägbana belastas i värsta tänkbara fall.

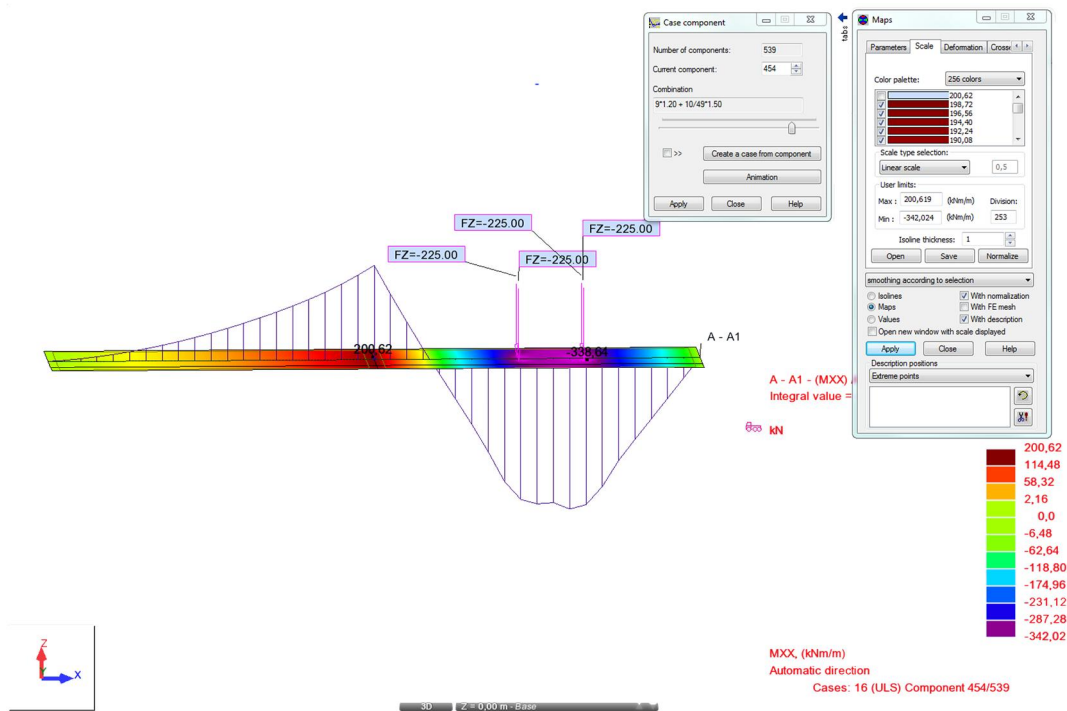
4.2.5 Resultat av systemanalyser

När lastpåläggningar och lastkombinationer har gjorts kan systemanalysen utföras. För att utföra beräkningar ska *Calculations* väljas, vars symbol ser ut som en miniräknare. Efter att olika parametrar har ändrats, till exempel om en last har lagts till, måste en ny beräkning genomföras för att resultatet ska vara korrekt.

Resultaten kan därefter demonstreras grafiskt eller med hjälp av tabeller. Under fliken *Results* i ribbonmenyn väljs hur dessa ska visas. Om en fordonslast har lagts till kan även en animation skapas där fordonet kör längs med definierad bana. Grafisk framställning samt animation ger en bättre helhetsbild av resultatet än vad tabellframställningen gör då resultatet redovisas nodvis.

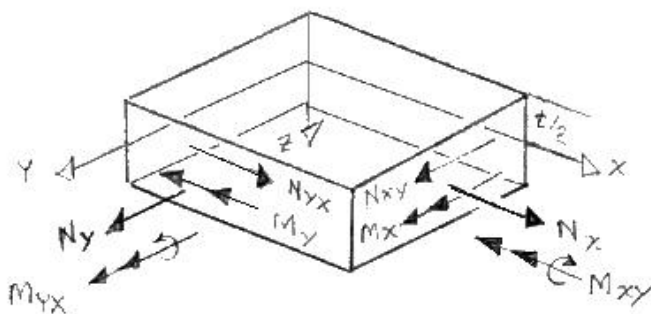
Vid grafisk framställning av resultat visas ett färgdiagram över strukturen. I dagsläget är lagringsutrymmet i Autodesk's användarmapp där bland annat animationsfiler sparas begränsat. Det leder till att om lastkombinationer har skapats blir animationen för tung för att köras igenom. Istället för en automatisk animering får det göras manuellt, se Figur 4.3. Vid manuell animering måste färgdiagrammet uppdateras för varje steg vilket görs via knapptryck på *Normalize*. Utrymmet för lagring ska enligt supporten på Autodesk² förbättras.

² Support Autodesk, telefonsamtal den 22 maj 2015.



Figur 4.3 I rutan "Case component" utförs både automatisk och manuell animation.

För plattor uppstår krafter längs med och kring flera axlar, vilket illustreras i Figur 4.4.



Figur 4.4 Krafter som uppstår i en platta.

Resultat redovisas med programmets standardenheter m, kN och Deg, men kan om så önskas ändras genom att klicka på[m][kN][Deg] längst ner till höger i programfönstret. Då visas fönstret *Job Preferences* där varje enhet kan ändras.

4.2.6 Armering

Armeringsdimensionering för bland annat betongkonstruktioner kan genomföras i Robot där beräkningarna bygger på moment som uppstår på grund av olika lastfall och eventuellt skapade lastkombinationer. Beräkningarna görs efter regelverket EKS8 trots att föreskriften ersattes av EKS9 år 2013 (Boverket, 2013). Vid armeringsdimensionering bestäms först vilken typ av järn som ska användas samt dess storlek. Även andra inställningar som till exempel armeringsjärnets placering,

maximal sprickbredd och miljöklass går att ställa in. Därefter beräknas *Required reinforcement*, vilket är den teoretiska mängd armering som behövs i strukturen. Baserat på detta resultat bestäms *Provided reinforcement* som ger armeringen dess slutgiltiga placering vilket kan visas i form av rapporter.

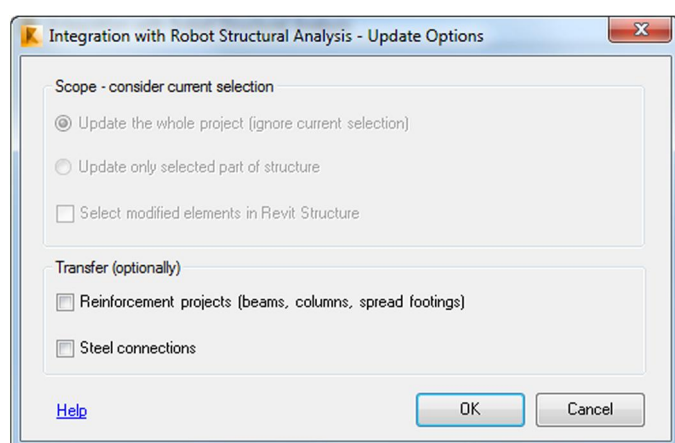
Robot framställer ingen redovisning av beräkningsgång för dimensionering av armering utan visar enbart resultatet i form av grafer och rapporter. Trafikverket som är den största beställaren inom anläggningssidan har av säkerhetsskäl stora krav på att hänvisningar och tydliga beskrivningar framgår i rapporten.

4.3 Import och export mellan Revit och Robot

Autodesk är leverantör av både Revit och Robot, vilket gör att tvåvägskommunikationen inte är ett hinder, dock finns vissa begränsningar i programmen.

Är ursprungsfilen i ett projekt skapad i Revit och därefter exporterad till Robot finns möjligheten att uppdatera Revit-modellen på ny information från analysen. Swecos förhoppningar var i stora drag att resultat och armeringsmängder skulle kunna överföras mellan programmen. Armering kan inte exporteras till 3D-modellen utan måste ritas in manuellt. Enligt supporten på Autodesk³ kan armering föras över till Revit för pelare och balkar men inte för plattor. Det är en funktion som leverantören har som avsikt att åtgärda, men i dagsläget vet de inte när detta kommer ske.

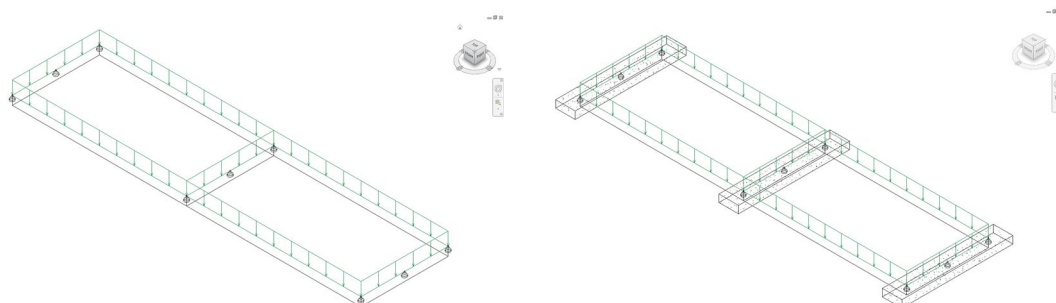
Enligt Autodesk ska det dessutom finnas en funktion i Revit som markerar nya eller modifierade element (Autodesk, 2014). En fördel med detta är att om flera personer jobbar med ett och samma projekt i olika program kan ändringar som har gjorts av andra tydligt visas, se Figur 4.5. Denna funktion finns dessvärre inte tillgänglig i versionen som har utvärderats i detta examensarbete, ej heller i 2016 års version. Supporten menar på att detta har fungerat i tidigare versioner men att länken av någon anledning har upphört.



Figur 4.5 Rutan "Select modified elements in Revit Structure" kan ej kryssas i för 2015 eller 2016 års version av Revit.

³ Support Autodesk, telefonsamtal den 12 maj 2015.

När modellen har analyserats i Robot kommer *structural foundations* adderas till upplagen i Revit, se Figur 4.6. Enligt supporten på Autodesk³ har de ingen funktion utan tillkommer på grund av att *footings* behandlas som upplag i Robot och kan därför utan konsekvenser raderas av användaren. Det är följaktligen möjligt att definiera upplag genom antingen *footings* eller *boundary conditions*. I 2016 års version av Robot är fenomenet åtgärdat och uppstår inte enligt supporten.



Figur 4.6 3D-modell i Revit före respektive efter analys i Robot. *Structural foundations* har tillkommit i den högra modellen.

Under arbetet med en BIM-modell skapad i Revit som sedan har analyserats finns även scenariot att ändringar görs i ursprungsmodellen. Att ändra olika värden och egenskaper i Revit gör att Robot-modellen måste uppdateras på ny information. I de flesta fall fungerar det bra men om ett varningsmeddelande dyker upp vid förändring av just laster, där det framgår att det har blivit något fel vid överföringen, innebär det att nya ändringar kommer läggas över öppen Robot-fil. De två projekten läggs på varandra istället för att bytas ut. För att undvika detta måste alla tidigare öppna projekt i Robot stängas ner innan ett nytt öppnas.

I 2015 års version av Robot måste dessutom en omväg tas när storleken på importerade laster ändras. Enligt support på Autodesk⁴ är detta problem löst i nästa års version av programmet. För att arbeta sig runt problemet ändras värdet på lasterna under *Load Properties* istället för under *Load Table*. Fönstret för lastegenskaper nås genom att högerklicka på den visualiserade lasten som blir synlig när *Layouts* väljs till *Loads*.

⁴ Support Autodesk, mailkorrespondens den 24 april 2015.

5 Analys av betongplatta

I uppgiften att utvärdera strukturanalysverktyget Robot Structural Analysis funktioner har en fritt upplagd betongplatta över två spann använts. Utgångspunkt har varit de moment som genomförs i existerande analysprogram på Sweco Civil. Vilka program det rör sig om står i avsnitt 3.1. Därefter har de funktioner som är tillgängliga i Robot undersökts och evaluerats för att bedöma om nödvändiga analyser kan genomföras. Det har då handlat om standarder, lastmodeller, systemanalyser, armeringsdimensionering, hantering av resultat och synkroniseringsmöjligheterna med Revit Structure. En användarmanual som noggrannare går igenom Robots funktioner finns bifogat, se Bilaga 3.

5.1 Användning av Robot Structural Analysis

Första steget var att lära sig hur Robot och dess verktyg på bästa sätt används. Många av funktionerna i Revit Structure finns tillgängliga i analysverktyget vilken innebär att stora delar av arbetet kan göras direkt i Robot. Fördelen med att börja arbetet i Revit är att det är ett rent modelleringsprogram med en layout som uppfattas som enklare. Menyn är väl strukturerade och det finns fler specialfunktioner att utnyttja där det dessutom visas en kort demonstration över vad som kan uppnås med hjälp av funktionen. I Robot kan enbart de mest grundläggande formerna skapas.

Till hjälp har supporten på Autodesk använts, men även Cad-Q har varit behjälpliga som i tidigt skede demonstrerade hur programvaran fungerade i stora drag.

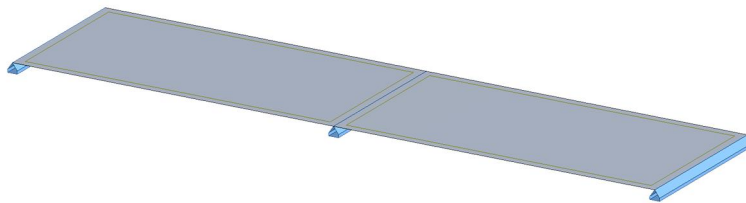
5.2 Definiering bro

Definiering av geometrin är det första som görs vid skapandet av en beräkningsmodell, i detta fall en bro. Då arbetet har stort fokus på huruvida Revit och Robot synkroniserar med varandra modellerades plattan i Revit. De ingångsdata som har använts i uppgiften ses i Tabell 5.1 och avser en vägbro utformad i två spann på 10m vardera med ett körfält.

Tabell 5.1 Ingångsdata för betongplattan.

	Storlek	Enhet
Dimension betongplatta		
Total längd	20	m
Spännvidder	10+10	m
Bredd	5	m
Tjocklek	0,5	m
Dimension beläggning		
Total längd	20	m
Bredd	5	m
Tjocklek	0,11	m
Material		
Betong	C35/45	
Armering	K500CT	
Laster		
Egentyngd betong (inklusive armering)	25	kN/m ³
Egentyngd beläggning	23	kN/m ³

Därefter definierades upplagvillkoren. Betongplattan som studerats har varit en fritt upplagd platta vilket innebär låsta translationer och fri rotation i samtliga riktningar, det vill säga i x-, y- och z-riktning. Trots att flertalet broar är konstruerade med punktupplag förenklades modellen till linjeupplag, se Figur 5.1 och 5.2.



Figur 5.1 Linjeupplag i Robot.



Figur 5.2 Punktupplag på bro.

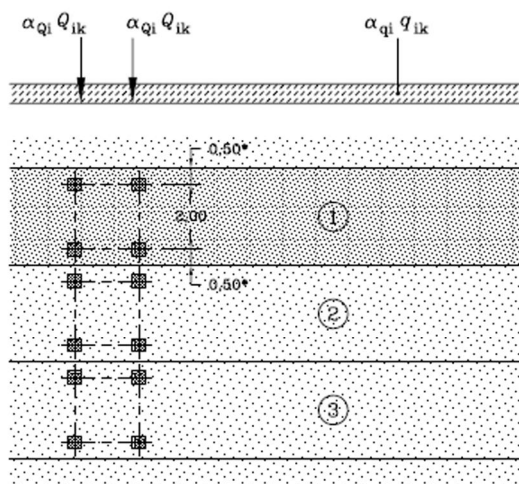
Med den enkla betongplatta som har undersökt i denna rapport kan befintliga modelleringsverktyg i Revit användas. Ska mer komplexa broar utformas är det en fördel att använda applikationen Civil Structures som består av olika familjer av broelement. Viktigt för att elementen ska kunna analyseras i Robot är att kropparna är uppbyggda med systemlinjer, se även avsnitt 4.1.1.

5.3 Laster

Nästa steg är att skapa och placera ut laster. När en modell skapas i Revit och importeras till Robot skapas automatiskt åtta olika lastfall; egenvikt, två nyttolaster, vindlast, snölast, oavsiktlig last, temperaturlast och seismisk last. Om plattan däremot definieras i Robot finns inga laster angivna och samtliga måste istället skapas manuellt.

Viktigt att tänka på är att vid analysering i Robot beräknas lasteffekten ut för varje lastfall. Har en lastkombination skapats räknas även denna som ett lastfall. Därför är det fördelaktigt att istället för ett lastfall med egenvikt för betong och beläggning dela upp det i två fall, egenvikt nummer ett för betong och egenvikt nummer två för beläggning.

En central del i analysen av brokonstruktioner är de rörliga lasterna. Manuellt skapades i denna uppgift ett typfordon att analysera efter som hämtades från lastmodell 1, LM1. Se avsnitt 3.2.1 för beskrivning av lastmodell. LM1 täcker in effekterna av trafik med last- och personbilar och består av en koncentrerad boggilast och en jämt utbredd last, se Figur 5.3 (SIS, 2003). Boggilasten består av två axellaster vars avstånd till varandra är 1,2m och där hjulens centrumavstånd är 2m. På den ytan där varken boggilasten eller den utbredda lasten verkar placeras en annan utbredd last ut.



Förklaring

(1) Lastfält nummer 1: $Q_{1k} = 300 \text{ kN}$; $q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$

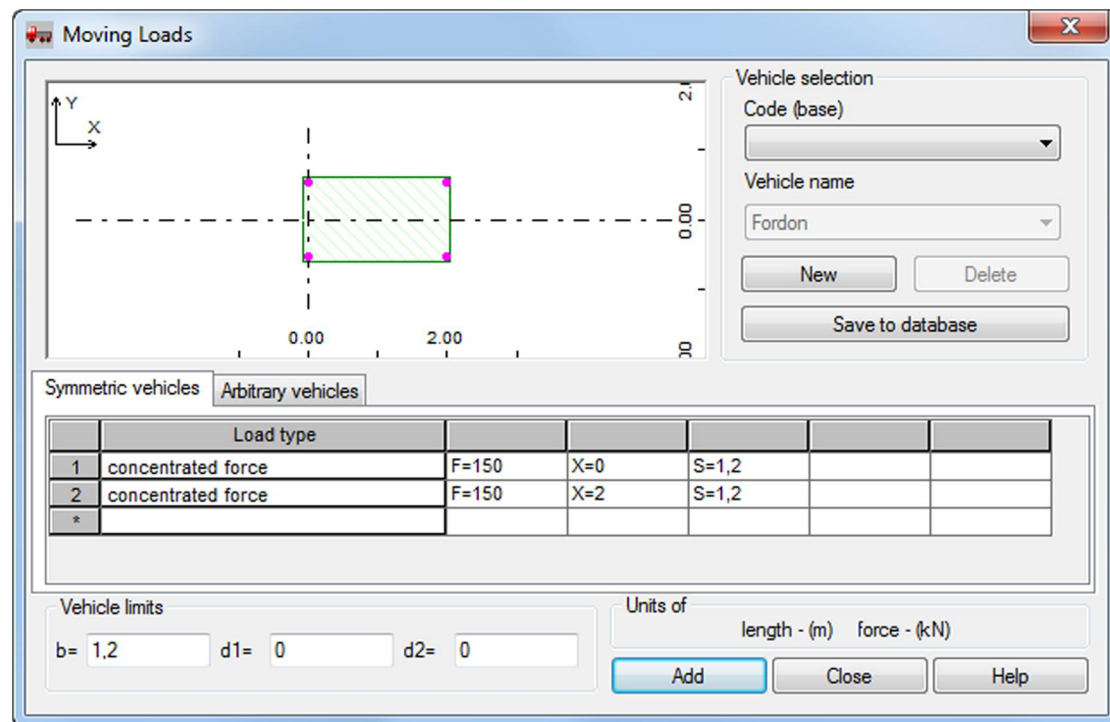
(2) Lastfält nummer 2: $Q_{2k} = 200 \text{ kN}$; $q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

(3) Lastfält nummer 3: $Q_{3k} = 100 \text{ kN}$; $q_{3k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

* med $w_l = 3,00 \text{ m}$

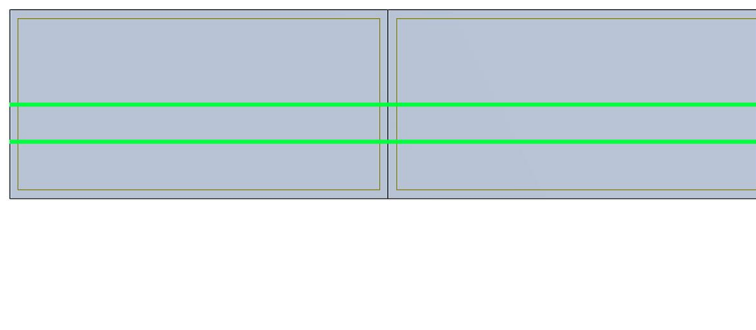
Figur 5.3 Lastmodell 1 där Q_{1k} motsvarar punktlasten och q_{1k} den utbredda lasten i varje lastfält.

Den efterliknande och något förenklade utformningen på fordonet som användes under analysen illustreras i Figur 5.4 och är tagen från lastfält nummer 1.



Figur 5.4 Egendefinerat fordon på 2x1,2m belastad med två axellaster på 300kN vardera.

Rutten som fordonen transporteras längs med definieras av användaren själv. I fallet med betongplattan lades en sträckning genom centrum på körbanan och en 1,1m in från kanten, se Figur 5.5. Avståndet 1,1m från kanten valdes då avståndet mäts från fordonets centrum och på grund av eurokodernas fördefinierade lastmodeller där ett fordon inte får placeras på lastfältets yttersta 0,5m, se Figur 5.3.

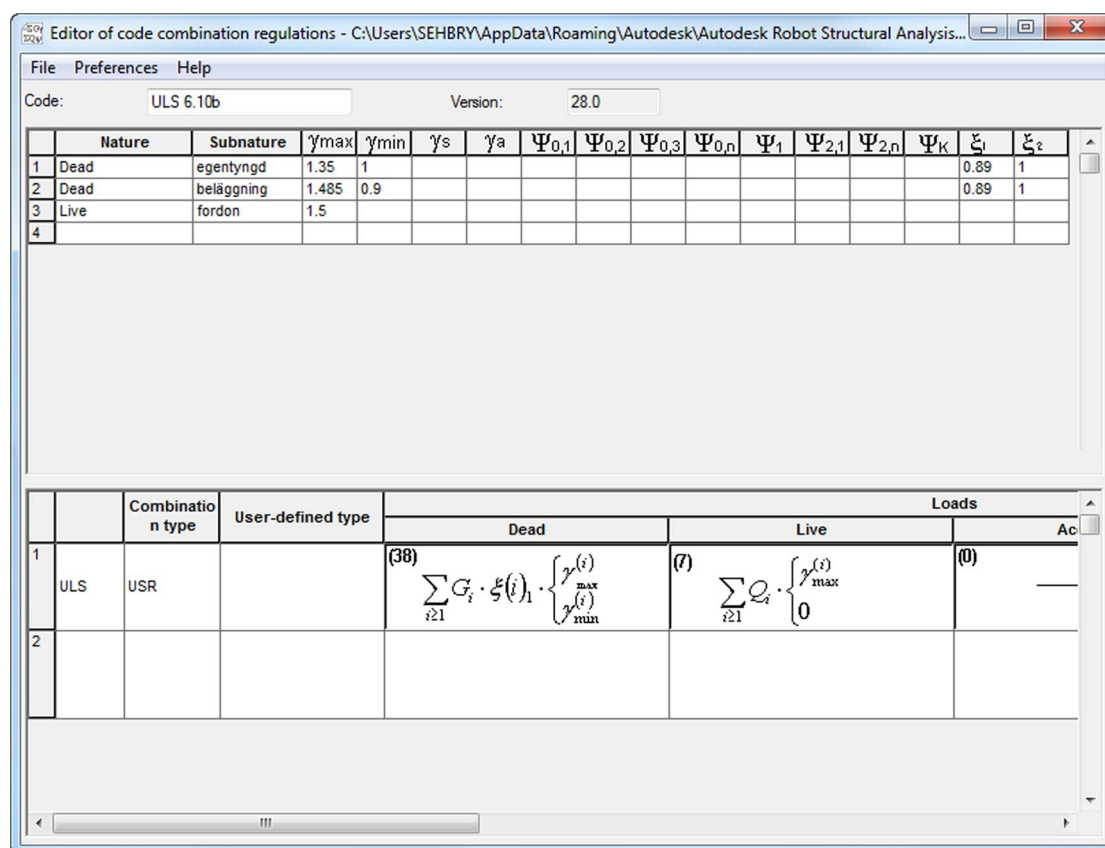


Figur 5.5 De två rutterna visas genom två gröna linjer. Den ena i centrum på plattan och den andra 1,1m från kanten.

Nästa steg vid definieringen av laster är att skapa lastkombinationer. Totalt skapades tre kombinationer, ULS 6.10a, ULS 6.10b och SLS kvasipermanent (QP) 6.16b som hämtades ur SS-EN 1990. Säkerhetsklass 3 valdes trots att plattans spännvidd är mindre än 15 meter vilket ger gammavärdet $\gamma_d = 1.0$. ULS-kombinationerna är båda skapade för ogynnsam inverkan och gäller för brottgränstillstånd medan SLS QP 6.16b används för sprickkontroll. ULS 6.10b blir dimensionerande för lastfall där variabel last är den dominanta och ULS 6.10a då permanent last dominerar. Se Tabell 5.2 och Figur 5.6 för de använda värdena i uppgiften.

Tabell 5.2 Definierade lastkombinationer som använts i uppgiften.

	ULS 6.10a	ULS 6.10b	SLS QP 6.16b
Egentyngd	1.0×1.35	$1.0 \times 1.35 \times 0.89$	1.0
Beläggning	$1.0 \times 1.35 \times 1.1$	$1.0 \times 1.35 \times 0.89 \times 1.1$	1.0×1.1
Variabel last (trafik)	$1.0 \times 0.75 \times 1.5$	1.0×1.5	0



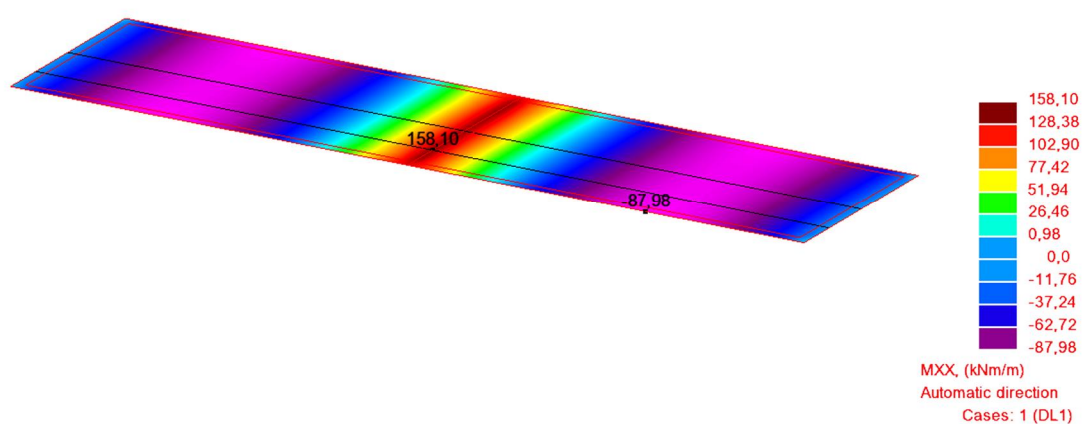
Figur 5.6 Lastkombinationen ULS 6.10b definierad i Robot.

Lastkombination ULS 6.10b visar sig bli det dimensionerade lastfallet och vidare analyser bygger på detta resultat.

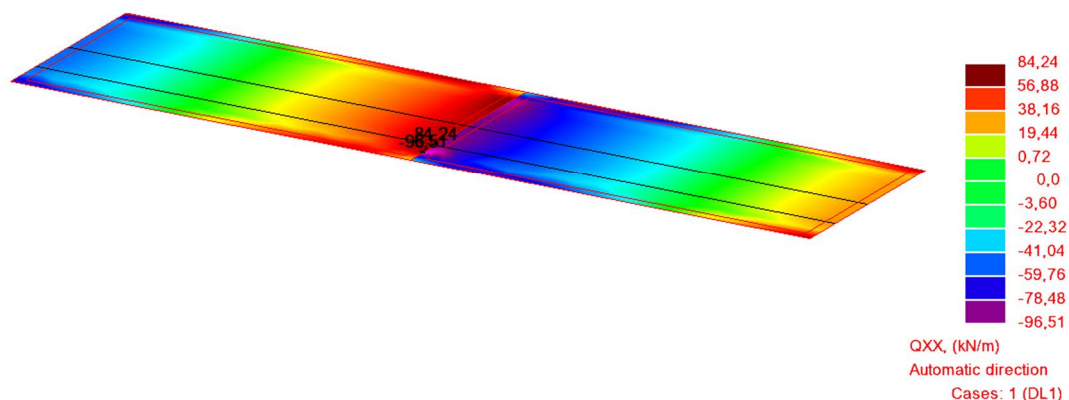
5.4 Systemanalys och resultat

När önskade laster är definierade och utplacerade kan strukturen beräknas i Robot. I denna uppgift genererade programmet elementstorleken för *meshen* till 0,5x0,5m, se även avsnitt 4.2.2 för beskrivning av *mesh*.

Resultatet kan därefter redovisas på olika sätt och visas då per lastfall och eventuellt skapade lastkombinationer. Den lasteffekt som är intressant för armeringsdimensionering är moment och tvärkraft och eftersom resultatet visas separat för varje lastfall har egenvikten en fördelning, beläggningen har en annan och fordonslasten med tillhörande vägsträckning likaså. Väljs lasteffekterna att redovisas grafiskt illustreras moment och tvärkraft för egentvynghden med hjälp av färger på modellen, se Figur 5.7 och Figur 5.8.

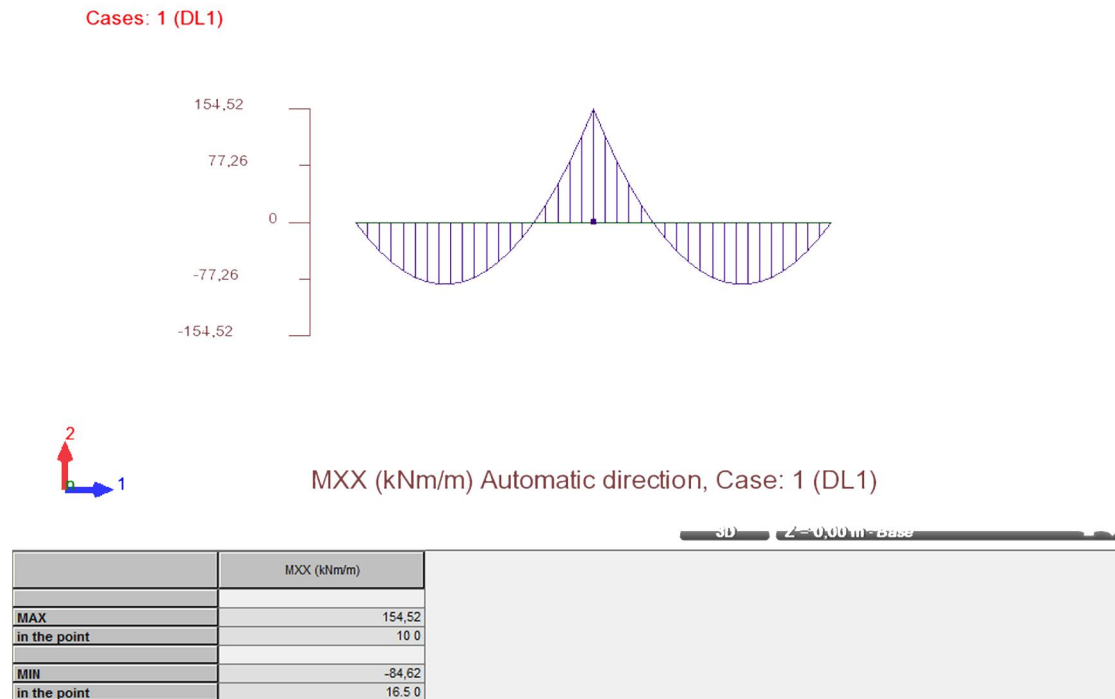


Figur 5.7 Momentfördelning längsgående plattan för egentvynghden, DL1, vid rotation i x-riktning.



Figur 5.8 Tvärkraftsfördelning över plattan för egentvynghden, DL1, vid rotation i x-riktning.

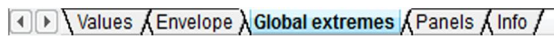
Värdena kan dessutom redovisas i diagramform. Med hjälp av egendefinierade snitt åskådliggörs momentet i ett diagram, även detta per lastfall, se Figur 5.9.



Figur 5.9 Diagrammet för egenvikten, DL1, från snitt draget i mitten av plattan i längsled.

Ett tredje alternativ är att resultaten redovisas nodvis i tabellform. För plattan på 20x5m med en *mesh* vars elementstorlek är 0,5x0,5m bildas 467 noder vilket ger en lång lista över varje nods värden. Då finns det även möjligheten att filtrera ut listan till enbart extrempunkter eller enveloperat värde, se Figur 5.10. Det enveloperade värdet sparar undan alla resultat till en total summa.

	MXX (kNm/m)	MYY (kNm/m)	MXY (kNm/m)	QXX (kN/m)	QYY (kN/m)
MAX	158,10	31,52	10,96	84,24	28,65
Panel	1	1	1	1	1
Node	214	231	4	214	209
Case	1	1	1	1	1
MIN	-87,98	-7,99	-10,96	-96,51	-28,03
Panel	2	1	2	2	1
Node	423	162	4	211	236
Case	1	1	1	1	1



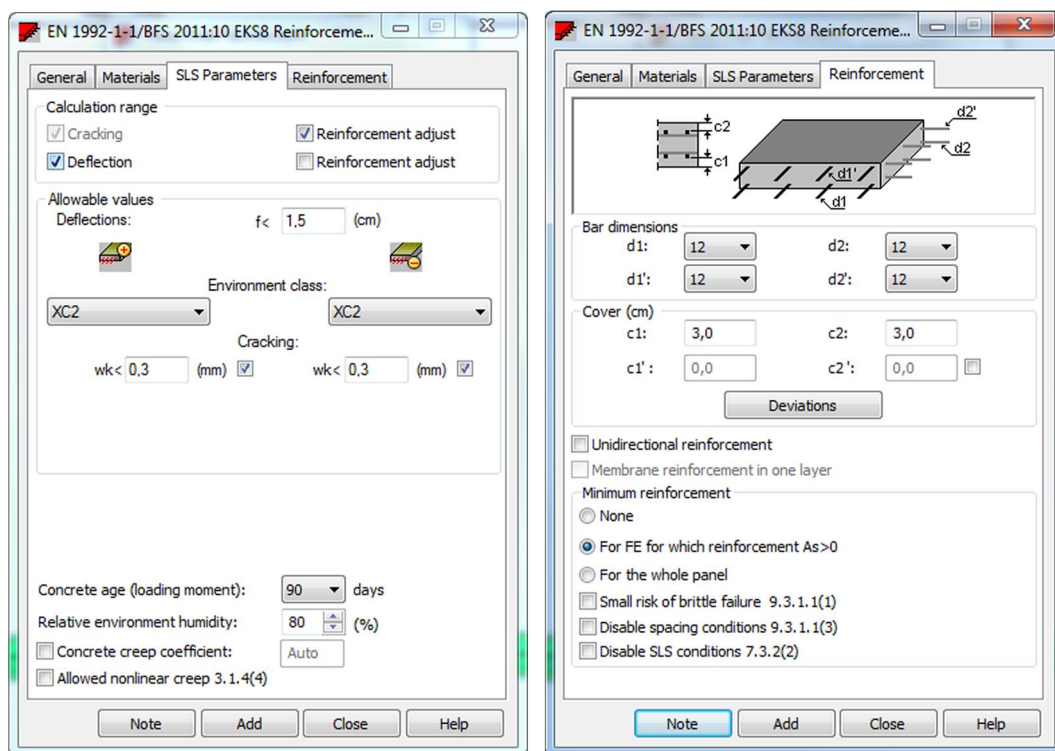
Figur 5.10 I tabellen redovisas extrempunkterna för moment och tvärkraft för egenvikten, DL1.

Viktigt att tänka på är att om alternativet *Global smoothing* väljs, kommer inte extrempunkterna som redovisas på plattan stämma överens med värden i tabellen. Detta beror på att en säkerhetsmarginal läggs till de värden som redovisas i färgskalan.

Vanligtvis redovisas beräkningsgången i pdf-format. Där presenteras allt ifrån figur över strukturen, indata för geometrin, randvillkorens placering, använda partialkoefficienter, definierade laster med angreppspunkt till beräkningsgång, resultat och armeringsdimensionering. Möjligheten till denna typ av redovisning finns inte i Robot. Framförallt är det beräkningsgången med hänvisning till standarder och ekvationer som saknas, se Bilaga 1.

5.5 Armeringsdimensionering

Vid armeringsdimensionering bestäms inledningsvis vilka inställningar som ska gälla för armeringen, se Figur 5.11.



Figur 5.11 Inställningar för armering.

Därefter beräknar Robot den teoretiska armeringsmängden enligt Wood & Armer. Den dimensionerande mängden armering tas sedan fram vilket genererar en utdatorapport, se Bilaga 2. Likt systemanalysen saknas en tydlig beräkningsgång.

5.6 Export tillbaka till Revit Structure

Armering kan inte återinföras till 3D-modellen utan måste ritas upp manuellt. Som tidigare skrivits kan Revit ej heller hantera variabla laster vilket leder till att Robot-filer som innehåller lastkombinationer med sådana laster inte kan importeras direkt, utan funktionen *Automatic Combination* måste stängas av innan filen skickas. Detta innebär att den variabla lasten inte hänger med vid exporten.

Om modellens geometri ändras i Revit och sedan skickas tillbaka till Robot igen måste programmet stängas ned innan detta görs. Eftersom de variabla lasterna inte följer med vid export till Revit innebär detta att dessa laster inte längre finns med i modellen.

6 Slutsats

Huvudsyftet med examensarbetet var att utvärdera analysprogrammet Robot Structural Analysis och hur detta synkroniserar med Revit Structure, samt ta reda på huruvida programmen fungerar inom anläggningsbranschen och framförallt för brokonstruktioner. I stora drag har undersökningen gett positiva svar men med vissa undantag då programmen brister inom vissa delar.

Programmet hanterar rörliga laster vilket är ett krav för att det skall vara aktuellt för analys av brokonstruktioner. Databaser kan skapas så att egendefinierade fordon och lastkombinationer kan nyttjas av flera personer i olika projekt. Detta är en fördel då samma standardfordon och lastkombinationer ofta används.

På grund av att endast få svenska regelverk inom brokonstruktion finns fördefinierade i Robot är programmet mest lämpat för huskonstruktioner. Programvarans hantering av rörliga laster visar dock att det finns potential för bro- och väganalyser, om inte just idag så i alla fall i framtiden. Beräkningsredovisningarna är dessutom odetaljerade vilket programmet brister på då Trafikverket har stora krav på redovisningens detaljnivå och utformning.

Då Autodesk är leverantör till båda programvarorna som är speciellt utformade för att kunna hantera BIM är kopplingen mellan dem bra. Många av de befintliga program som används av konstruktörer idag saknar denna synkroniseringsmöjlighet med ett 3D-modelleringsverktyg. Tvåvägskommunikationen gör att projektörer och konstruktörer kan nyttja sig av varandras modell på ett effektivt sätt så att dubbelarbete kan undvikas. Vid undersökningen av hur synkroniseringen fungerar har följande punkter noterats.

- När ändringar har gjorts i antingen Revit eller Robot uppdateras modellen i den andra mjukvaran. Detta gäller för båda synkroniseringsvägarna men med undantag för rörliga laster som modelleringsverktyget inte kan hantera. Detta är problematiskt vid bland annat import av Robot-filer som innehåller fordonslaster.
- Armeringsdimensioneringar kan inte exporteras till Revit vilket gör att en 3D-modell innehållande armering måste ritas upp manuellt i programmet.
- Endast element som är uppbyggda av *Structure elements* i Revit kan exporteras till Robot. Om familjer har använts måste även dessa vara uppbyggda med hjälp av systemlinjer. Detta kan vara en nackdel då många företag redan har skapat ett bibliotek med familjer i Revit som då inte kan användas.

Om fler personer jobbar med samma modell i olika program kan det vara önskvärt att tydligt se ändringar som har gjorts av andra, till exempel i form av en rapport. Programmet ska enligt leverantören själv tidigare ha haft funktionen att markera nya eller modifierade element i den uppdaterade Revit-modellen. Denna möjlighet har dessvärre inte varit tillgänglig i senare versioner av programmet.

Alla regelverk som brokonstruktioner ska dimensioneras efter ligger för nuvarande inte inlagda i Robots databas. Detta gäller främst för Trafikverkets regelverk som används för broar i Sverige. Även eurokods SS-EN 1990/A2 som behandlar brobyggnad saknas medan den som gäller för husbyggnad är inlagd i systemet. Detta är en av anledningarna till att programmet i sitt grundutförande är mest lämpad för huskonstruktioner. Med en del handpåläggningar lämpar sig dock programmet också för brokonstruktioner, då i första hand för enklare broar och konstruktionsdelar eftersom mycket arbete måste göras manuellt.

Armeringsbehov för betongkonstruktioner kan beräknas i Robot men analysen baseras inte på den aktuella föreskriften EKS9 utan på den äldre versionen EKS8. Det tyder på att programmet inte innehåller de senaste uppdateringarna. Armeringsrapporten är dessutom en aning odetaljerad. Ingångsvärden, beräkningsgång och liknande saknas. När resultat redovisas måste detta tydligt framgå eftersom det för brokonstruktioner är speciellt viktigt ur säkerhetssynpunkt.

7 Diskussion

Revit fungerar bra som modelleringsverktyg med en enkel och användarvänlig meny. Familjer kan skapas av *Structure elements* vilket gör att bland annat broar kan modelleras upp på ett snabbt och smidigt sätt om rätt objekt redan finns skapade.

När funktionerna i Robot är fullt anpassade för att kunna analysera brokonstruktioner och synkroniseringen till Revit fungerar kan en stor förändring av arbetsprocessen inom anläggningsprojektering ske. Från att idag skicka CAD-ritningar mellan olika parter finns möjligheten att konstruktören får tillgång till en uppritad 3D-modell över konstruktionen efter det inledande modelleringsarbetet. Därefter importeras geometrin till Robot där analysen görs.

Laster och randvillkor kan läggas till i de båda programmen, men efter att ha utvärderat de två tillvägagångssätten är det fördelaktigt att lägga till laster i Robot då fler lastfall kan skapas i programmet samtidigt som det är enklare att ändra lasters placering och storlek om dessa är skapade i Robot. Gällande randvillkor är det mer en smaksak var dessa väljs att definieras. Många tycker kanske det känns mer naturligt att definiera dessa i analysprogrammet.

Vid animationsframställning av resultat uppstår det däremot problem efter skapande och användning av lastkombinationer. Eftersom lagringutrymmet är begränsat är detta problem i princip oundvikligt om inte endast en last betraktas åt gången. Detta är dock något Autodesk har som avsikt att förbättra.

Efter användning av Robot framgick det att synkroniseringen till Revit fallerar då rörliga laster används. Det blir då enbart kopplingen i första steget där en 3D-modell importeras till Robot som fungerar och funktionen med gränslös kommunikation mellan programmen begränsas. Om synkronisering inte fungerar på grund av att fordonslaster har lagts till har Robot inga nya funktioner eller fördelar jämfört med befintliga analysprogram som används på Sweco idag, då dessa i sig fungerar på ett bra sätt. Om de båda programmen utvecklas så att funktionaliteten för brokonstruktioner blir optimal kan det bidra till en effektivare arbetsprocess genom deras synkronisering med varandra.

7.1 Utvecklingsmöjligheter

En av de största utvecklingsmöjligheterna ur en brokonstruktörs perspektiv är att standarder, fordonstyper och lastmodeller som används inom svensk brokonstruktion görs tillgängliga i Robot. Samtidigt är det viktigt att mer noggranna rapporter på beräkningsgångar kan tas fram så att dessa kan bifogas tillsammans med resultaten. Det finns också en del utvecklingsmöjligheter vad gäller Revit där det till exempel är fördelaktigt om armeringsresultat för plattor kan importeras. I dagsläget är detta bara möjligt för balkar och pelare.

8 Referenser

- Andersson, U. (2014) BIM blir ett krav 2015. *Leveranstidningen Entreprenad*.
<http://www.entreprenad.com/kategorier/alla/bim-hittar-hem/> (2015-05-12)
- Autodesk (2015a), *Advanced structural engineering software*.
<http://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/features/all/list-view>
(2015-04-17)
- Autodesk (2014), *Integrating Autodesk Revit, Revit Structure, and Robot Structural Analysis Professional*. <http://bimandbeam.typepad.com/files/linking-autodesk-revit-and-robot-structural-analysis-professional.pdf> (2015-04-15)
- Autodesk (2015b), *Program för byggdesign och konstruktion*.
<http://www.autodesk.se/products/revit-family/overview> (2015-04-20)
- Boverket (2013), *Boverkets författningssamling BFS 2013:10 EKS9*
<https://rinfo.boverket.se/EKS%5CPDF%5CBFS2013-10-EKS9.pdf> (2015-05-22)
- BuildingSMART (2015), *Open Standards 101*
<http://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/open-standards-101/>
(2015-05-19)
- Combitech (2013), *FEM, Finita ElementMetoden*. <http://www.combitech.se/Om-Combitech/Nyheter-press-och-media/Kundtidning/Vad-betyder-forkortningen-FEM-i-utvecklingssammanhang/> (2015-05-20)
- CSi (2014), *Load case*. <https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Load+case> (2015-05-04)
- Hindersson, P. (2011) Trafikverket byter papper mot bim. *Byggindustrin*.
<http://byggindustrin.se/artikel/nyhet/trafikverket-byter-papper-mot-bim-18138>
(2015-04-16)
- Knutsson, M. (2009) Ge dig själv en rättvis start på BIM. *Byggindustrin*.
<http://byggindustrin.se/artikel/debatt/ge-dig-sj%C3%A4lv-en-r%C3%A4ttvis-start-p%C3%A5-bim-17457> (2015-04-16)
- Lindström, M; Jongeling, R. (2010) BIM berör alla. *Byggindustrin*.
<http://byggindustrin.se/artikel/nyhet/kr%C3%B6nika-bim-ber%C3%B6r-alla-17394> (2015-04-16)
- Melin Lundgren, N. (2014) Trafikverket lägger in hög BIM-växel. *Byggindustrin*.
<http://byggindustrin.se/artikel/nyhet/trafikverket-l%C3%A4gger-h%C3%B6g-bim-v%C3%A4xel-20427> (2015-05-12)
- Swedish Standards Institute (SIS) (2002). *SS-EN 1990 Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*. Stockholm: SIS.

Swedish Standards Institute (SIS) (2003). *SS-EN 1991-2 Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 2: Trafiklast på broar*. Stockholm: SIS.

Trafikverket (2014), *Bro och tunnel – dokument*. <http://www.trafikverket.se/Foretag/Bygga-och-underhalla/Vag/Tekniska-dokument/Bro-och-tunnel/Bro-och-tunnel---dokument/> (2015-05-12)

Trafikverket (2013), *Trafikverket beställer BIM*. <http://www.trafikverket.se/BIM/> (2015-05-19)

Trafikverket (TRV) (2011). *TRVK Bro 11*. Borlänge.

Bilder och tabeller

Figur 2.1

http://buildipedia.com/images/masterformat/Channels/In_Studio/The_Daily_Life_of_Building_Information_ModelingBIM/BIM_Illustration.jpg (2015-05-13)

Figur 3.2

Swedish Standards Institute (SIS) (2003). *SS-EN 1991-2 Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 2: Trafiklast på broar*. Figur 4.1 s.34.

Tabell 4.1

Davidsson M (2003). *Strukturanalys av brokonstruktioner med finita elementmetoden*. Tabell 2.1, s.4.

Figur 4.4

<http://www.jwave.vt.edu/crcd/kriz/lectures/images/inplaneloads.gif> (2015-05-25)

Figur 5.4

<http://www.snecslc.com/wp-content/uploads/2012/12/Bridge-Abutment-3840x1024.jpg> (2015-05-25)

Figur 5.5

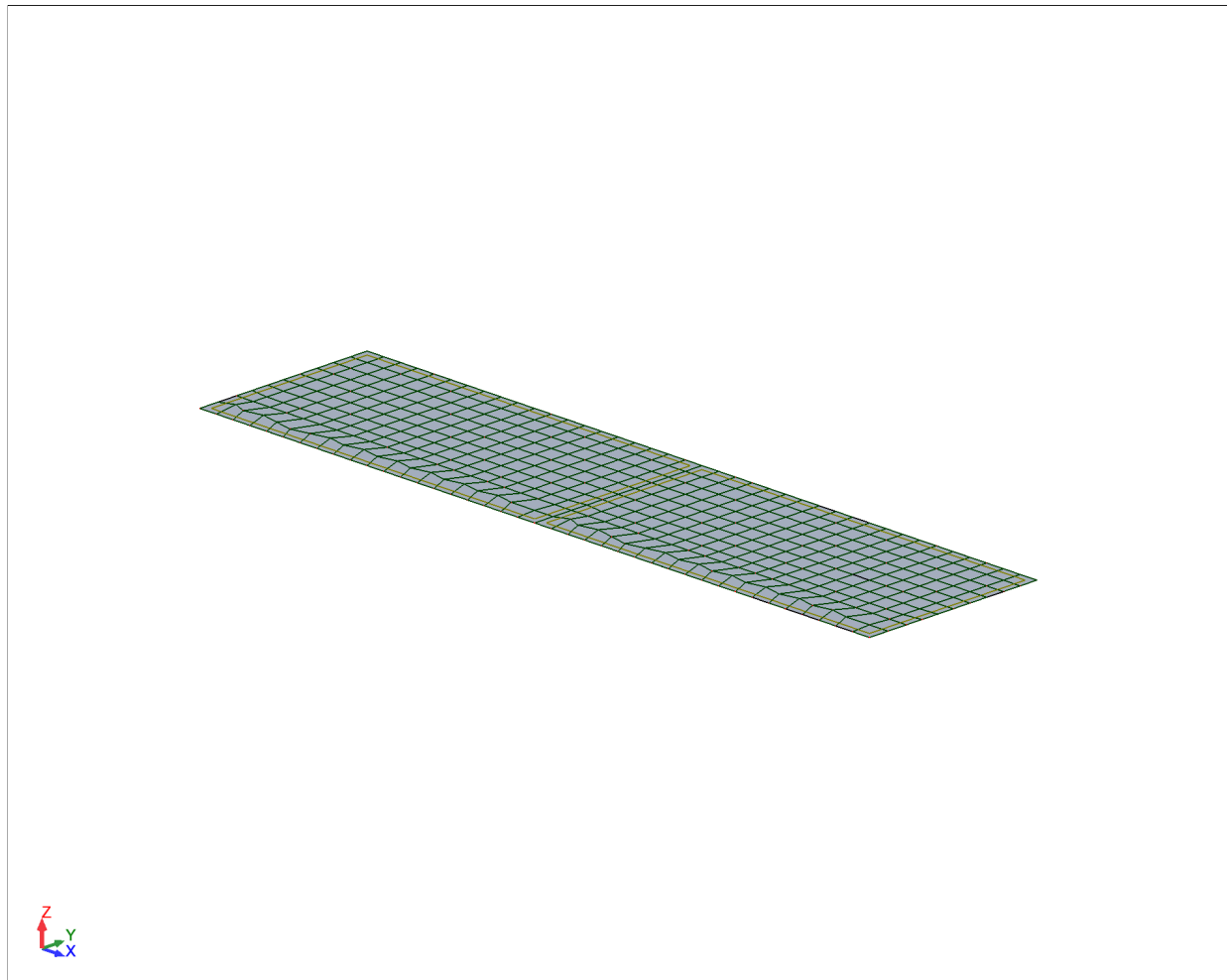
Swedish Standards Institute (SIS) (2003). *SS-EN 1991-2 Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 2: Trafiklast på broar*. Figur 4.2a s.34.

TITLE PAGE

Project: Exjobb rapportfil

Author :

Structure View



Data - Materials

	Material	E (MPa)	G (MPa)	ν
1	C35/45	34000,00	14166,67	0,20

	LX (1/°C)	RO (kN/m ³)	Re (MPa)
1	0,00	24,53	35,00

Data - Supports

Support name
Revit BCLin Pinned

Support name	List of nodes
--------------	---------------

Revit BCLin Pinned	1to6 123 125 139 141 170 172to174 176 211 214 217 219 228to- 231 235 443 445 448 450 459to462 466
--------------------	--

Support name	List of edges
Revit BCLin Pinned	1_EDGE(2 4) 2_EDGE(4)

Support name	List of objects
Revit BCLin Pinned	

Support name	Support conditions
Revit BCLin Pinned	UX UY UZ RY RZ

Loads - Cases

Case	Label
1	DL1
2	LL1
3	WIND1
4	SNOW1
5	LR1
6	ACC1
7	TEMP1
8	SEIS1
9	DL3
10	MOV1
14	MOV2
16	
17	
18	

Case	Case name
1	DL1
2	LL1
3	WIND1
4	SNOW1
5	LR1
6	ACC1
7	TEMP1
8	SEIS1
9	DL3
10	vägbana
14	vägbana2
16	ULS
17	ULS+
18	ULS-

Case	Nature	Analysis type
------	--------	---------------

Case	Nature	Analysis type
1	dead	Static - Linear
2	live	Static - Linear
3	w ind	Static - Linear
4	snow	Static - Linear
5	live	Static - Linear
6	accidental	Static - Linear
7	temperature	Static - Linear
8	seismic	Static - Linear
9	dead	Static - Linear
10		Analysis of moving load cases
14		Analysis of moving load cases
16		Analysis of moving load cases
17		Analysis of moving load cases
18		Analysis of moving load cases

Loads - Values

Case	Load type	List
1	self-w eight	1 2
9	(FE) uniform	1 2

Case	Load values
1	PZ Negative Factor=1,00
9	PZ=2,53(kN/m2)

Reactions ULS: global extremes

	FX (kN)	FY (kN)
MAX	0,0	0,0
Node	1	1
Case	1	1
MIN	0,0	0,0
Node	1	1
Case	1	1

	FZ (kN)	MX (kNm)
MAX	434,05	36,26
Node	211	3
Case	ULS/102	ULS/85

	FZ (kN)	MX (kNm)
MIN	-37,22	-39,23
Node	4	443
Case	ULS/249	ULS/122

	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	0,00	0,0
Node	228	1
Case	ULS/85	1
MIN	-0,00	0,0
Node	228	1
Case	ULS/181	1

Displacements SLS: global extremes

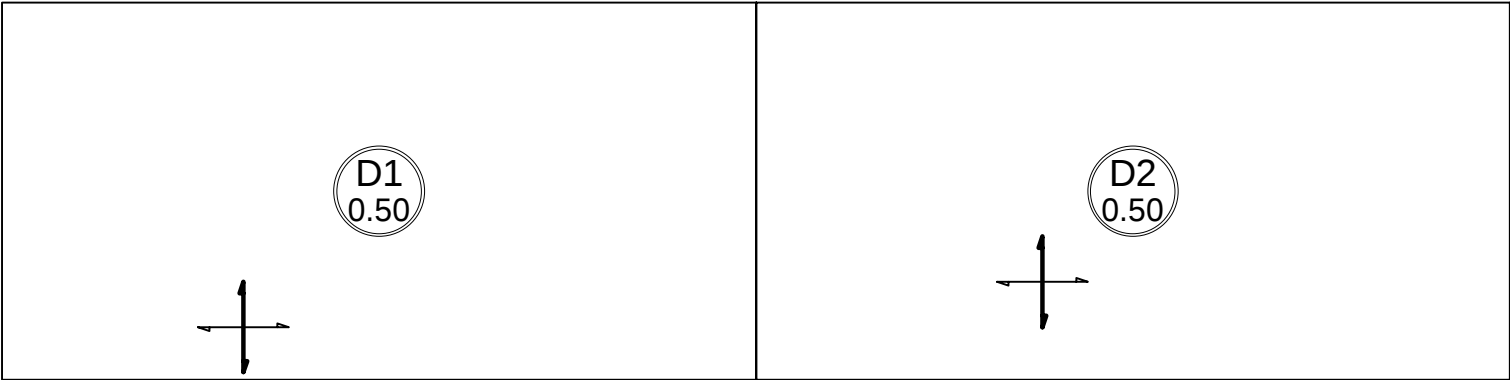
	UX (cm)	UY (cm)
MAX	0,0	0,0
Node	1	1
Case	1	1
MIN	0,0	0,0
Node	1	1
Case	1	1

	UZ (cm)	RX (Rad)
MAX	0,2	0,001
Node	381	387
Case	vägbana2/17	vägbana2/49
MIN	-0,6	-0,000
Node	387	367
Case	vägbana2/49	vägbana2/19

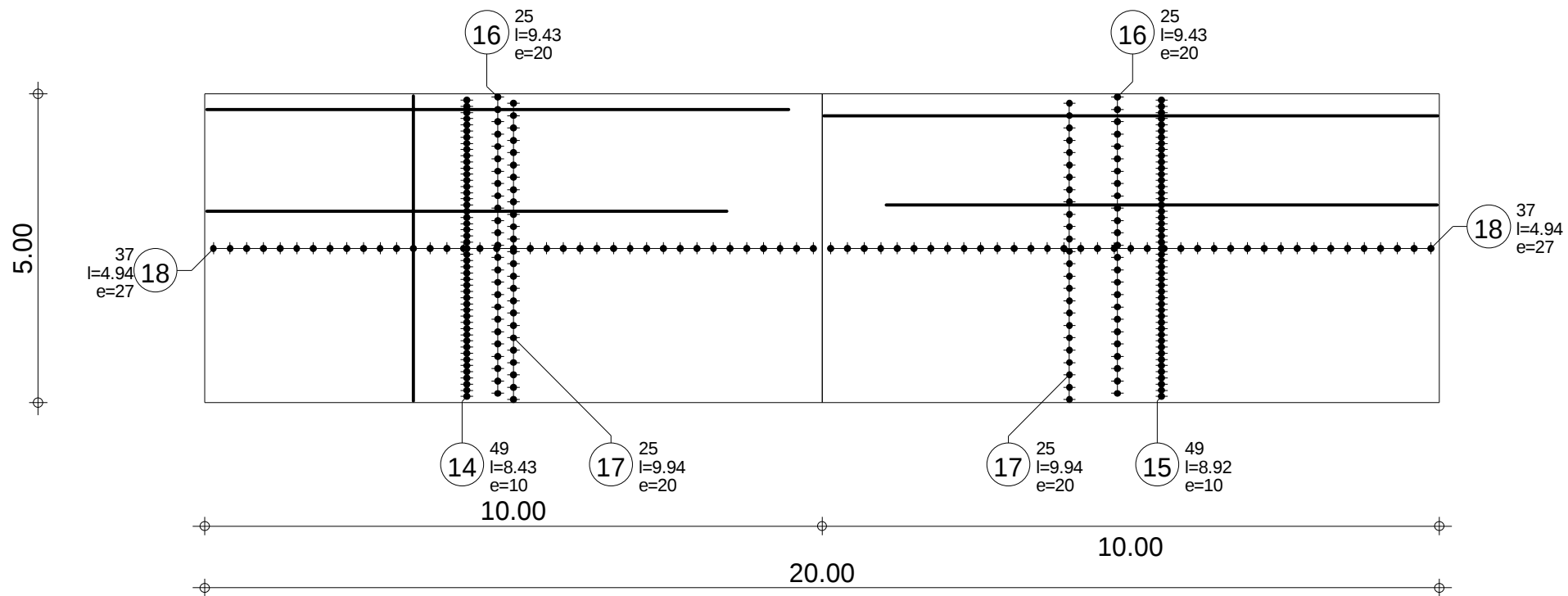
	RY (Rad)	RZ (Rad)
MAX	0,002	0,0
Node	2	1
Case	vägbana2/10	1

	RY (Rad)	RZ (Rad)
MIN	-0,002	0,0
Node	5	1
Case	vägbana2/52	1

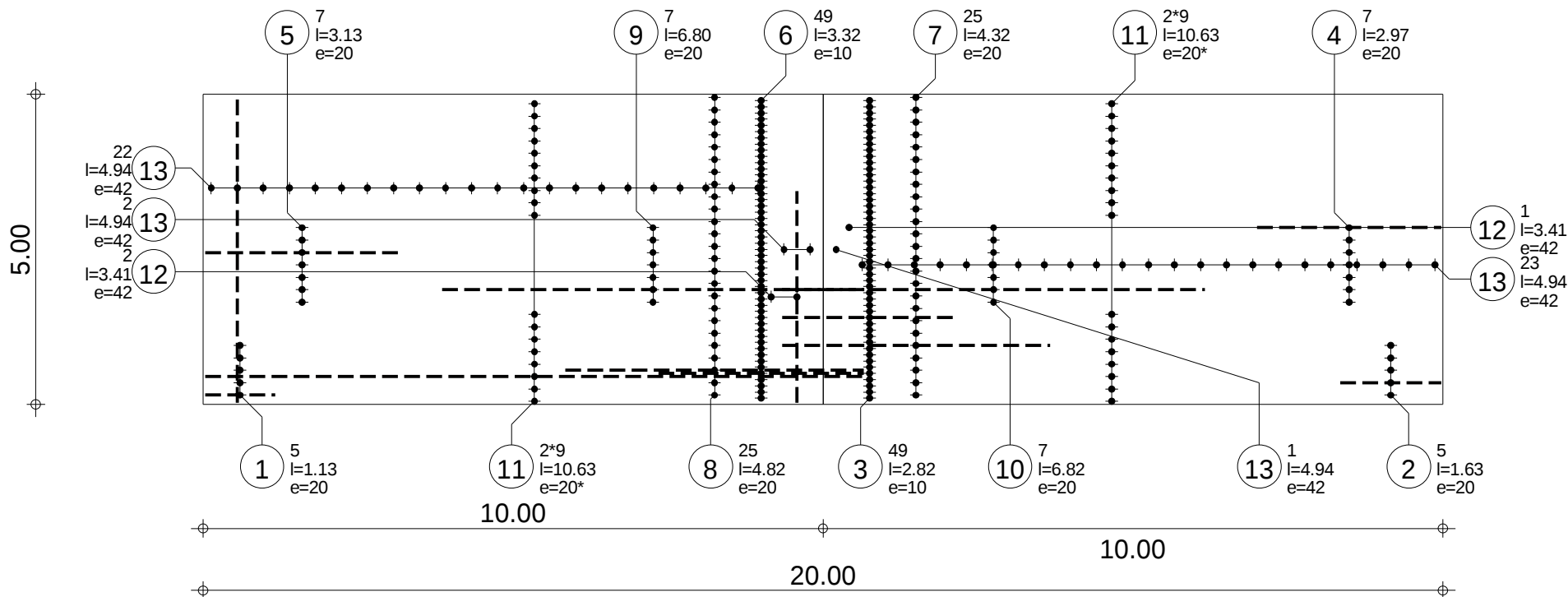
BILAGA 2 - Armeringsresultat



 PRO			Tel.		Fax		Concrete : C35/45 = 50 m3		Cover top = 4 cm	
	Level	Level 2	Element:	Plate1...2			Formwork = 100 m2		bottom = 4 cm	
	Subject:	Exjobb rapportfil	Drawing:	SLAB FORMWORK			Scale : 1/100		Date : 01/06/15	
									Page 1/4	



 PRO			Tel.		Fax		Concrete : C35/45 = 50 m3		Cover top = 4 cm bottom = 4 cm	
	Level	Level 2	Element:		Plate1...2		Steel B500BT = 4670 kg			
	Subject:	Exjobb rapportfil	Drawing:		BOTTOM SLAB REINFORCEMENT		Scale : 1/100		Date : 01/06/15	
									Page 2/4	



 PRO			Tel. Fax		Concrete : C35/45 = 50 m3		Cover top = 4 cm bottom = 4 cm
	Level	Level 2	Element:	Plate1...2	Steel B500BT = 4670 kg		
	Subject:	Exjobb rapportfil	Drawing:	TOP SLAB REINFORCEMENT		Scale : 1/100	Date : 01/06/15

Pos.	Reinforcement	Code	Shape	Steel
①	5 =1.13	00	1.13	B500BT
②	5 =1.63	00	1.63	B500BT
③	49 =2.82	00	2.82	B500BT
④	7 =2.97	00	2.97	B500BT
⑤	7 =3.13	00	3.13	B500BT
⑥	49 =3.32	00	3.32	B500BT
⑦	25 =4.32	00	4.32	B500BT
⑧	25 =4.82	00	4.82	B500BT
⑨	7 =6.80	00	6.81	B500BT
⑩	7 =6.82	00	6.82	B500BT
⑪	36 =10.63	00	10.63	B500BT
⑫	3 =3.41	00	3.41	B500BT
⑬	48 =4.94	00	4.94	B500BT
⑭	49 =8.43	00	8.43	B500BT
⑮	49 =8.92	00	8.92	B500BT
⑯	50 =9.43	00	9.43	B500BT
⑰	50 =9.94	00	9.94	B500BT
⑱	74 =4.94	00	4.94	B500BT

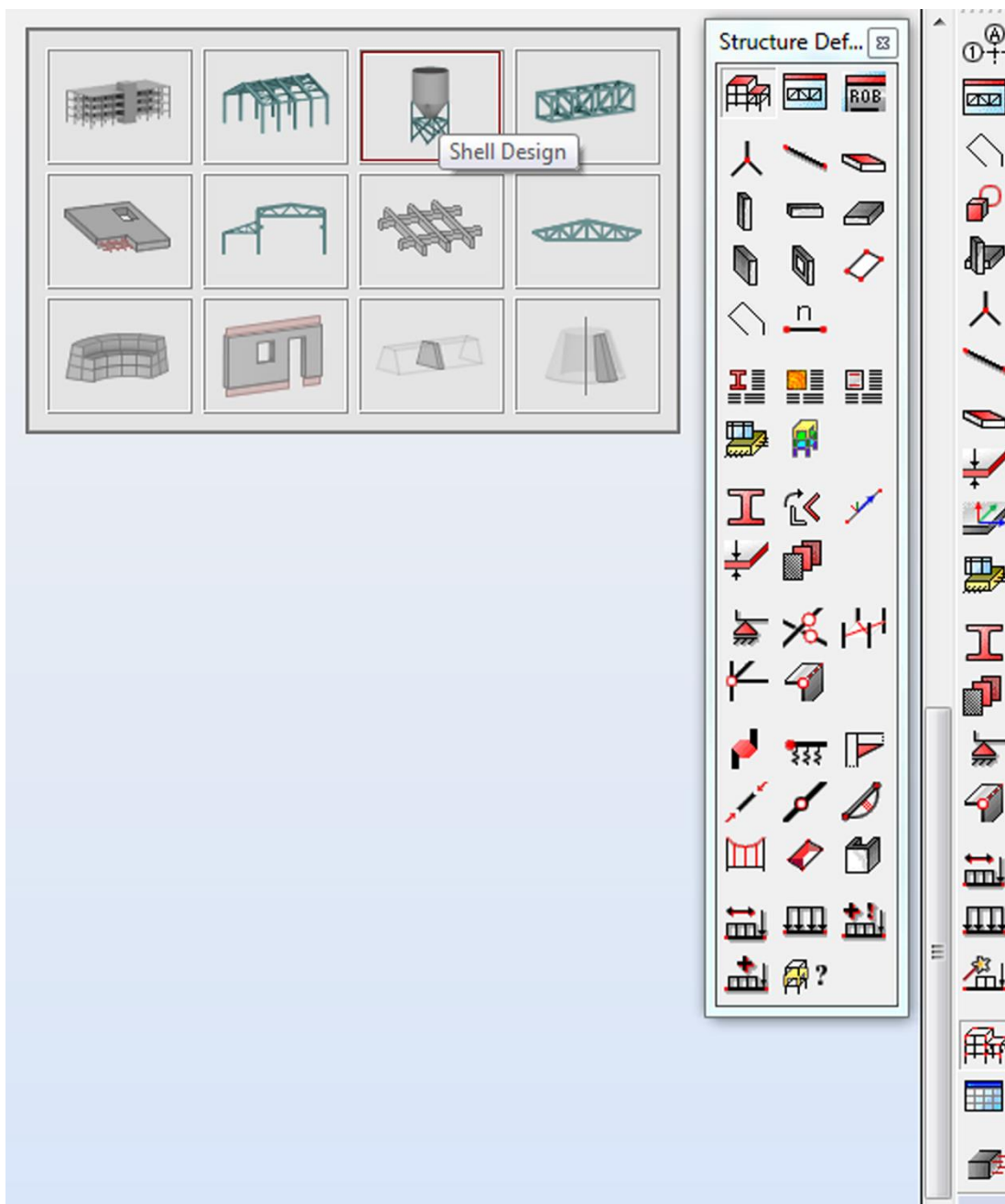
	, Tel. Fax		Concrete : C35/45 = 50 m3 Steel B500BT = 4670 kg	Cover top = 4 cm bottom = 4 cm
	Level Level 2	Element: Plate1...2		
	Subject: Exjobb rapportfil	Drawing: REINFORCEMENT QUANTITY SURVEY		Date : 01/06/15 Page 4/4

Användarmanual Robot Structural Analysis

Detta är en manual som visar ett grundläggande tillvägagångssätt för analysering i Robot Structural Analysis då en geometri har modellerats upp i Revit Structure.

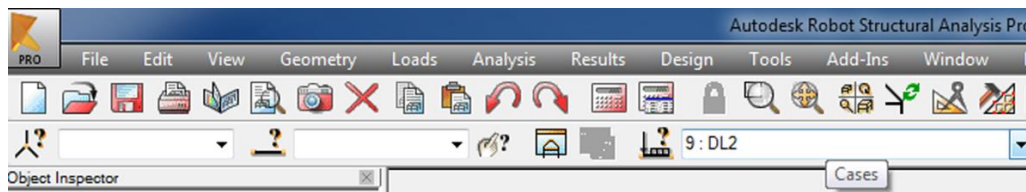
Laster i Robot

När Revit-modellen har importerats till Robot kan lastpåläggningar göras. För att möjliggöra påläggning av variabla laster måste *Structure Type* ändras till *Shell Design*, se Figur 1.



Figur 1 Shell Design.

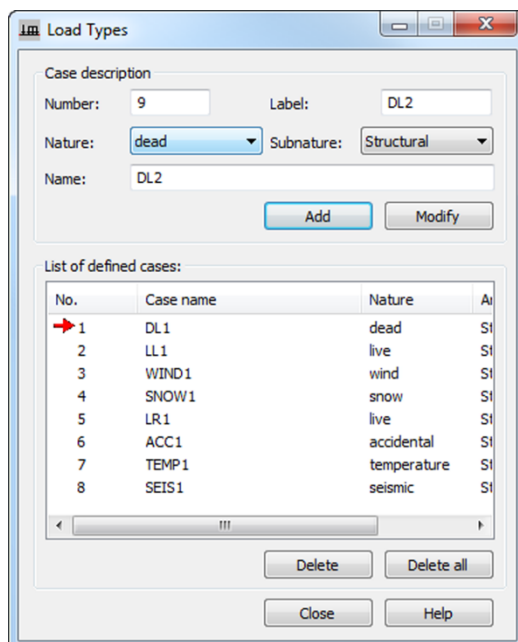
Laster och lastfall som har lagts till i Revit följer med modellen vid export. Lasterna visas genom att klicka på fliken *Load Table* som ligger under *Loads* i ribbonmenyn medan lastfallen syns under rullmenyn *Cases*, se Figur 2.



Figur 2 Rullmenyn Cases.

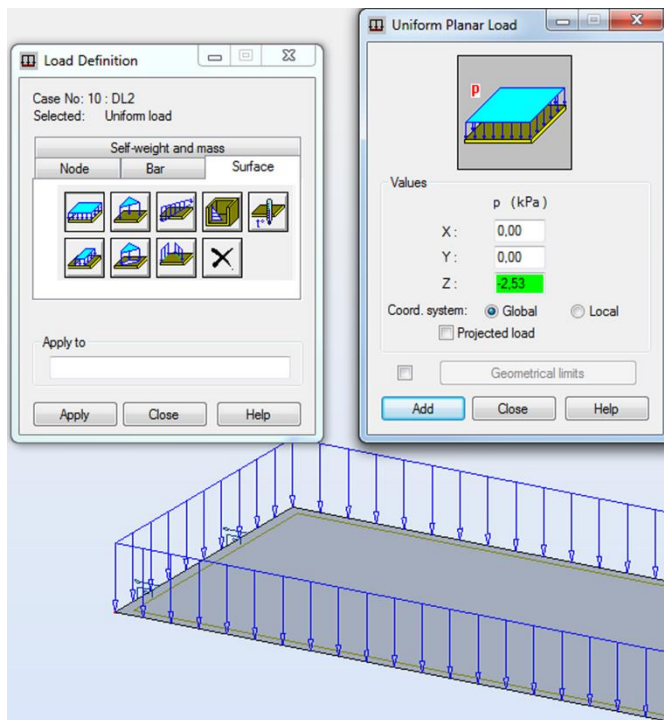
Egentyngden läggs in automatisk och utgår från angiven volymvikt. För vanlig betong är värdet 24 kN/m^2 och för armerad betong 25 kN/m^2 . Under fliken *Loads* i ribbonmenyn kan olika alternativ väljas:

- *Load Types*: Ger en översikt över befintliga lastfall samt gör det möjligt att lägga till fler, se Figur 3. Genom att bläddra i rullmenyn *Nature* kan olika alternativ väljas, till exempel *Dead*. Alternativet läggs till genom att klicka på [Add]. *Subnature* fungerar som en underkategori till *Nature* om till exempel två *Dead loads* finns tillgängliga. De skiljs då åt genom att ges varsin underkategori.



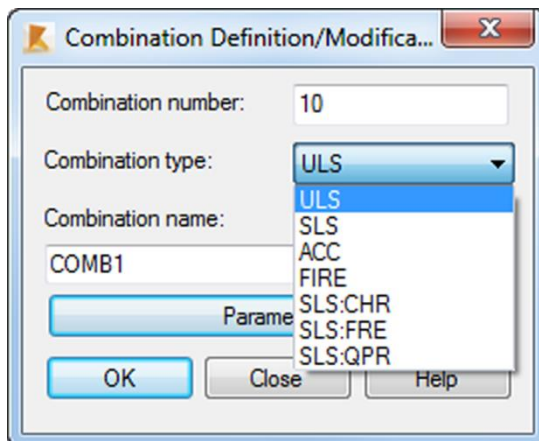
Figur 3 Load Types.

- *Load Definition*: Olika laster som till exempel punktlaster och utbredda laster kan definieras och skapas, se Figur 4. Den nybildade lasten hamnar under en given kategori, vilken kan ses och ändras innan lastpåläggning görs under rullmenyn *Cases*.

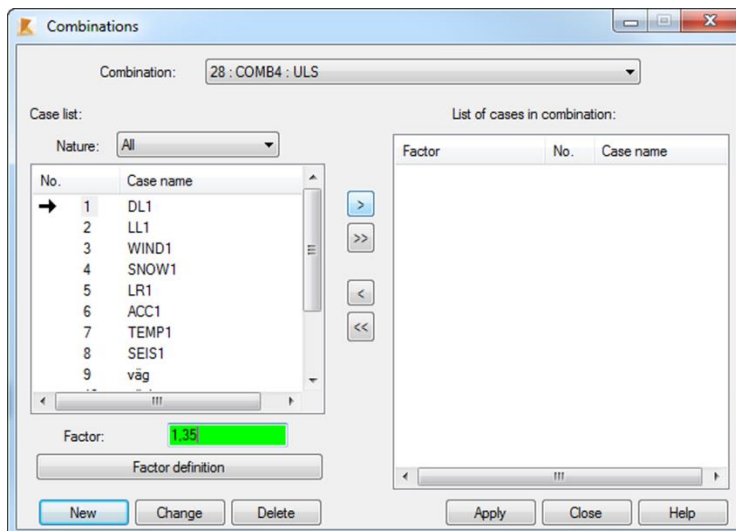


Figur 4 Definiering av utbredd last.

- **Manual Combinations:** En lastkombination skapas här manuellt, men endast en faktor kan väljas till varje kategori. *Combination number* kommer upp automatisk och är den siffran som identifierar varje enskild kombination. Det finns sju olika lastkombinationstyper att välja mellan i rullmenyn *Combination type*, se Figur 5. Lastkombinationen döps under *Combination name*, tryck sedan [OK]. Nästa steg visas i Figur 6.



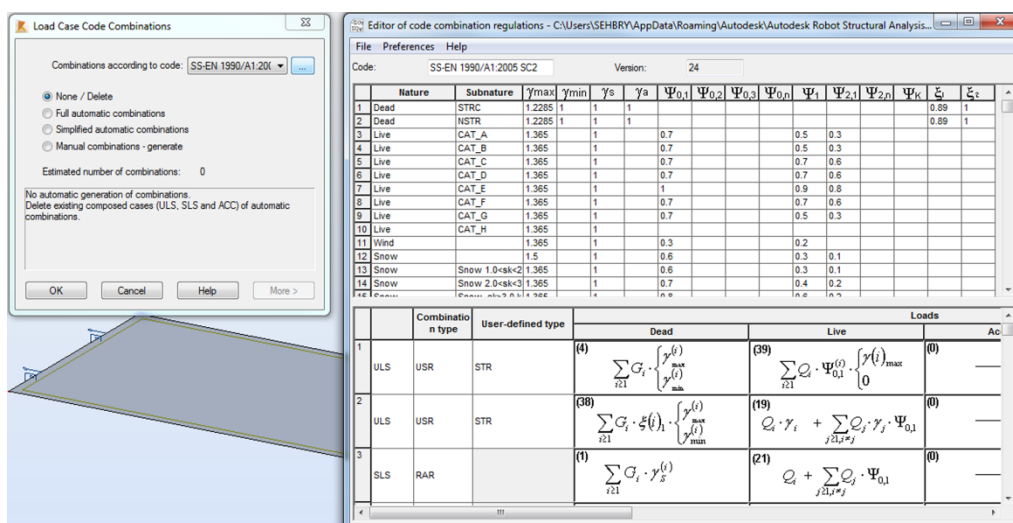
Figur 5 De olika lastkombinationstyperna under manuell lastkombination.



Figur 6 Combinations.

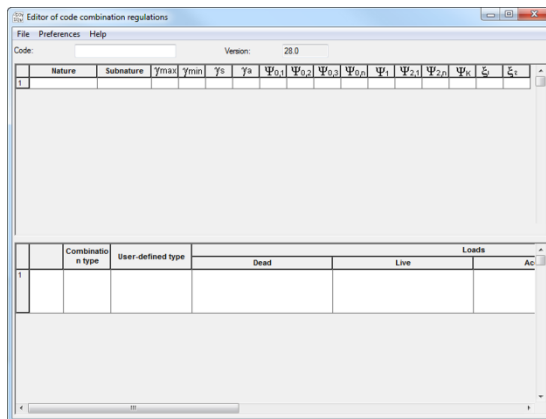
Lastfall och tillhörande faktor väljs. När alla önskade lastkombinationer har lagts till i listan till höger genom att [>] har använts, klicka på [Apply]. Kombinationen finns nu tillgänglig under rullmenyn *Cases*, där den har fått samma namn som kombinationen döptes till under *Combination name*.

- *Automatic Combinations*: En lastkombination görs efter olika standarder, till exempel SS-EN 1990. Under första steget väljs ett av fyra alternativ som bestämmer hur lastkombinationen skall tas hänsyn till. Antingen kan lastkombinationen bortses från genom att välja *None/Delete*, detta alternativ väljs bland annat om en fil innehållande fordonslaster skall exporteras till Revit då programmet inte hanterar sådana laster. I annat fall kan ett av de två alternativen *Full-* eller *Simplified automatic combinations* väljas vilket gör att Robot tar hänsyn till alla fall. Vissa standarder finns redan inlagda i Robot och hittas då i rullmenyn till höger om *Combination according to code*. Annars kan önskad standard skapas genom att klicka på [...]. Då fås en fördefinierad standard upp, till exempel som i Figur 7.



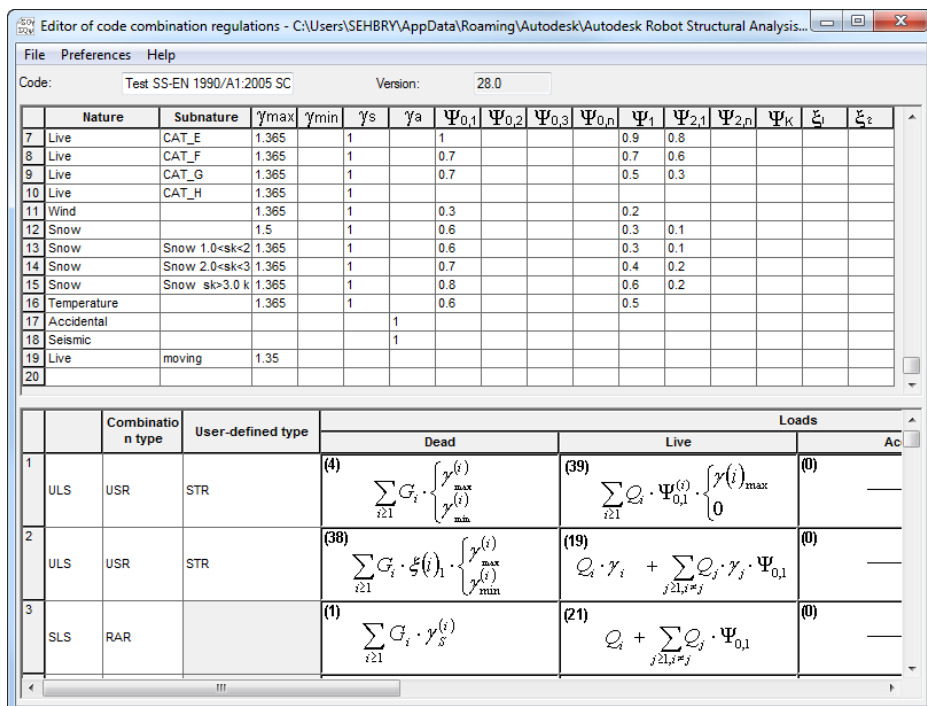
Figur 7 Fördefinierad standard.

Genom att klicka på [File] och därefter [New] kan en egendefinierad standard skapas, se Figur 8.



Figur 8 Definera egen standard.

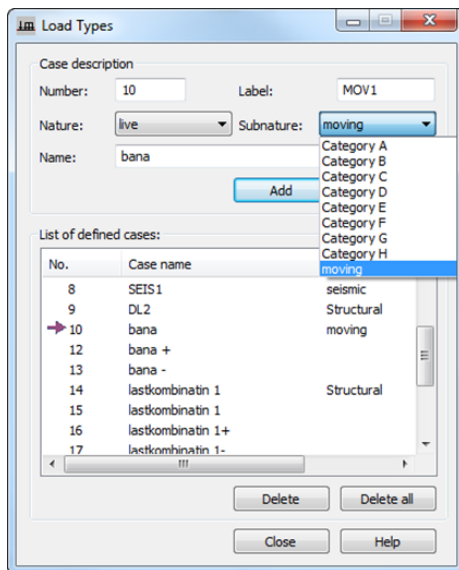
När en ny standard skall definieras läggs önskade lastfall till. Om *Moving Loads*, en fordonslast, skall ingå i lastkombinationen kategoriseras denna som *Live Load* vilket väljs under *Nature*. För att den rörliga lasten inte skall blandas ihop med andra nyttolaster skrivs önskat namn, till exempel "moving", under *Subnature* vilken fungerar som en underkategori. Spara sedan denna lastkombination, se Figur 9.



Figur 9 Lastkombination har skapats.

Viktigt att tänka på när den nya filen ska sparas är att spara den under *c:\Users\username\AppData\Roaming\Autodesk\Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015\CfgUsr* (gäller 2015 års version). Detta gör att standarden finns tillgänglig för flera projekt som görs i Robot. För att standarden skall finnas tillgänglig för andra kopieras den skapade filen och läggs över i en gemensam mapp. En annan person kopierar sedan filen och lägger in den under samma mapp som ovan fast under eget användarnamn.

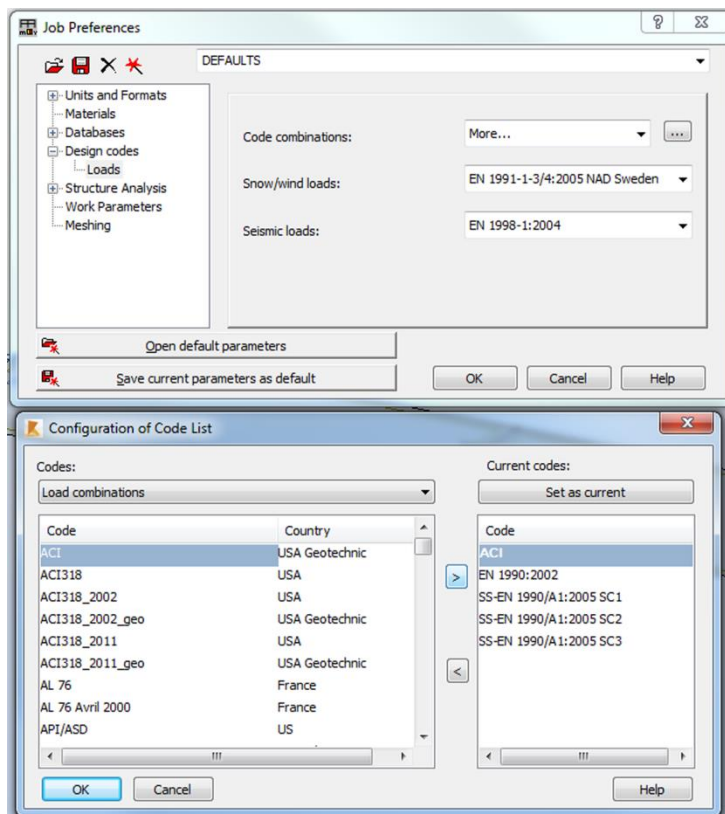
Alla laster måste läggas under rätt kategori. Tidigare skapades en kategori i lastkombinationstabellen som döptes till ”moving” vilken den rörliga lasten ”bana” skall tillhöra. Detta görs under *Loads* i ribbonmenyn och sedan *Load types*, se Figur 10.



Figur 10 Lastkategorier.

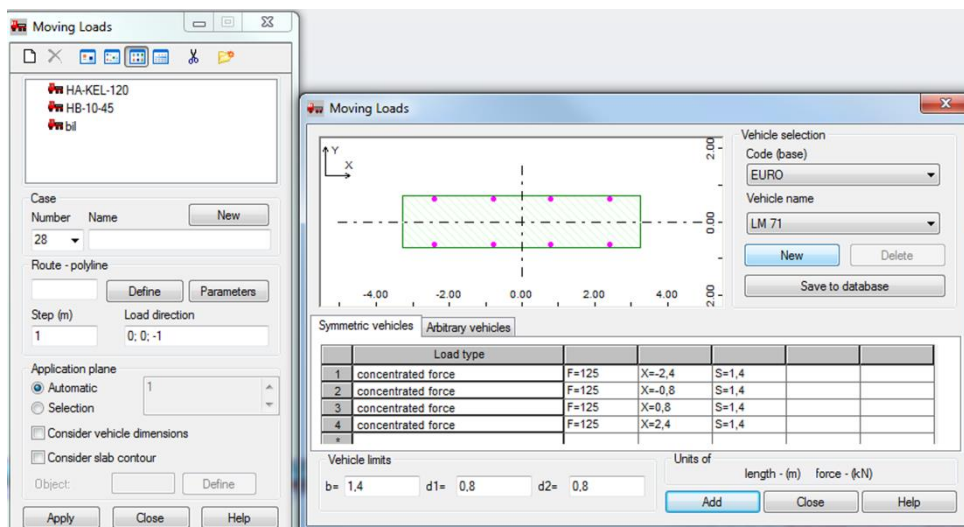
Under *Nature* väljs önskad kategori, *live* i fallet med rörliga laster. Sedan anges en underkategori i listan *Subnature*, i detta fall *moving*. När detta är klart klicka på [Modify]. När alla laster ligger under rätt kategori kan rutan stängas ner genom att klicka på [Close].

För att kunna använda den nyskapade standarden väljs *Job Preferences* under fliken *Tools* i ribbonmenyn, se Figur 11. Genom att klicka på [+] till vänster om *Design codes* nås underfliken *Loads*. I rullmenyn *Code Combinations* väljs alternativet *More*. Under *Code* ligger den skapade standarden, klicka på denna och välj [>] så att standarden läggs till i listan till höger. Genom att därefter klicka [OK] kan standarden användas.

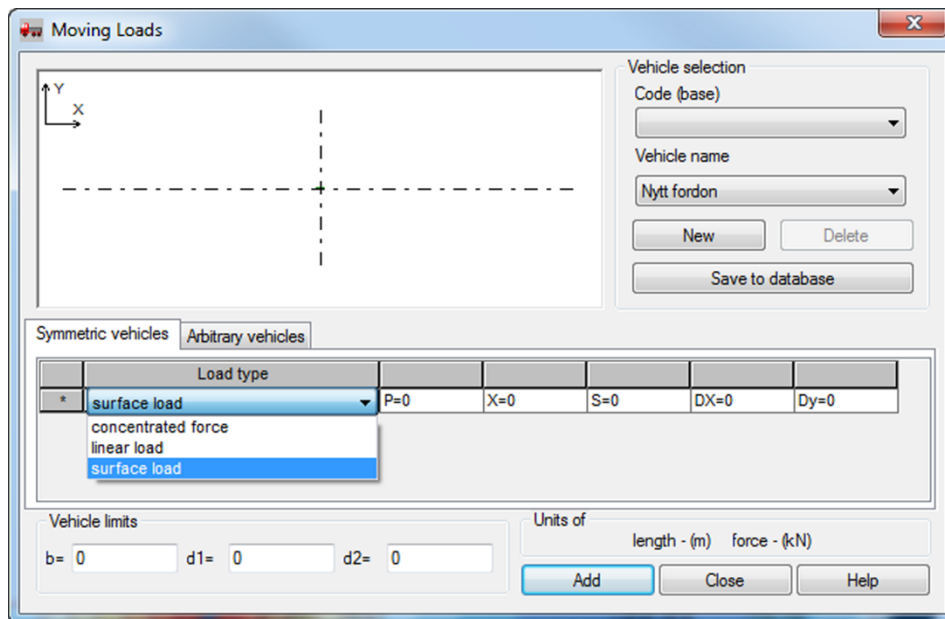


Figur 11 Nyskapad standard.

- *Special Loads:* Här kan *Moving Loads* väljas. På samma sätt som för lastkombinationer finns för *Moving Loads* fördefinierade fordon enligt bland annat eurokod. Många av standardfordonen som är definierade enligt Trafikverkets regelverk finns inte med i listan. Dock finns det möjlighet att skapa sina egna. Genom att klicka på det vita pappret längst upp i det vänstra hörnet fås en ny ruta upp, se Figur 12. Om önskat fordon finns fördefinierad väljs den standard som innehåller önskat fordon under *Code (base)* och sedan väljs fordonet i rullmenyn under *Vehicle name*. Ett nytt fordon skapas genom att klicka på [New], då kommer Figur 13 att visas.

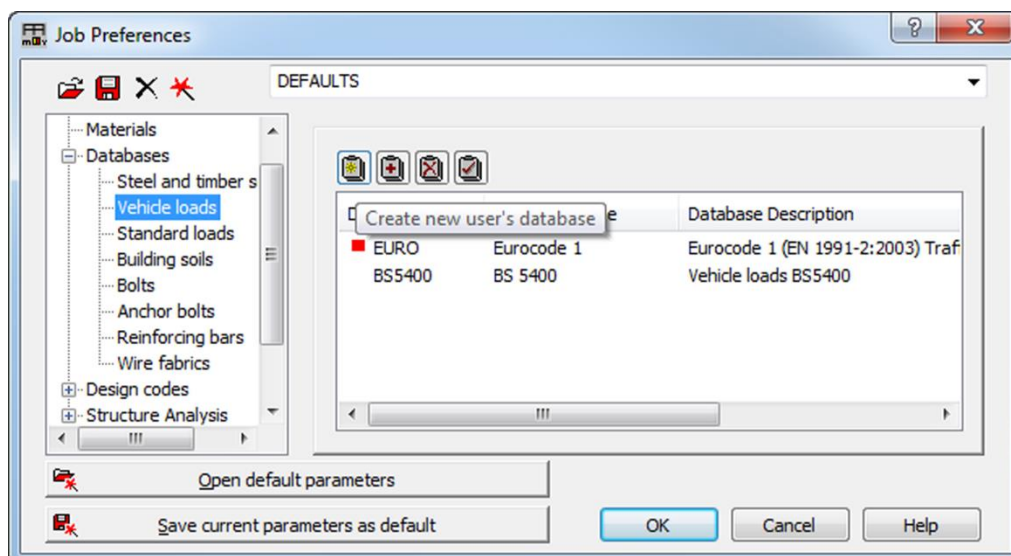


Figur 12 Fördefinierat fordon.



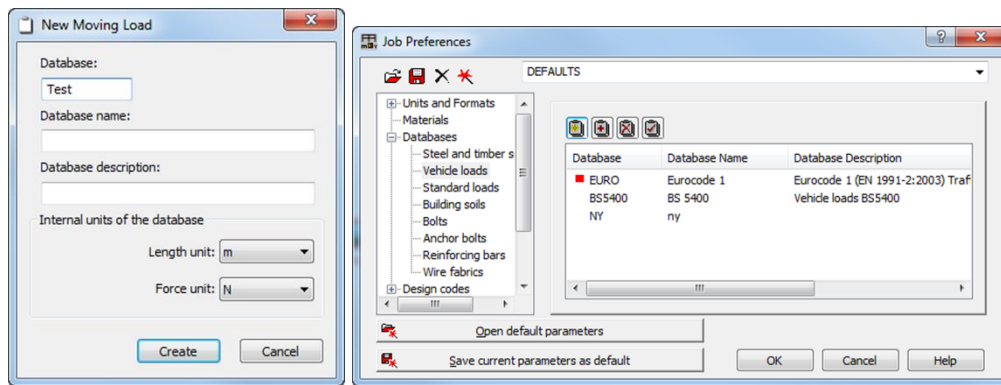
Figur 13 Nytt fordon.

Genom att spara ner skapade fordon i en databas ges en möjlighet att använda sig av fordonen i olika projekt. En databas skapas genom att öppna *Job Preferences* som nås under *Tools* i ribbonmenyn. Genom att klicka på [+] till vänster om *Databases* dyker en rad olika alternativ upp. Välj *Vehicle loads* och klicka på *Create new user's database*, se Figur 14.



Figur 14 Skapa egen databas.

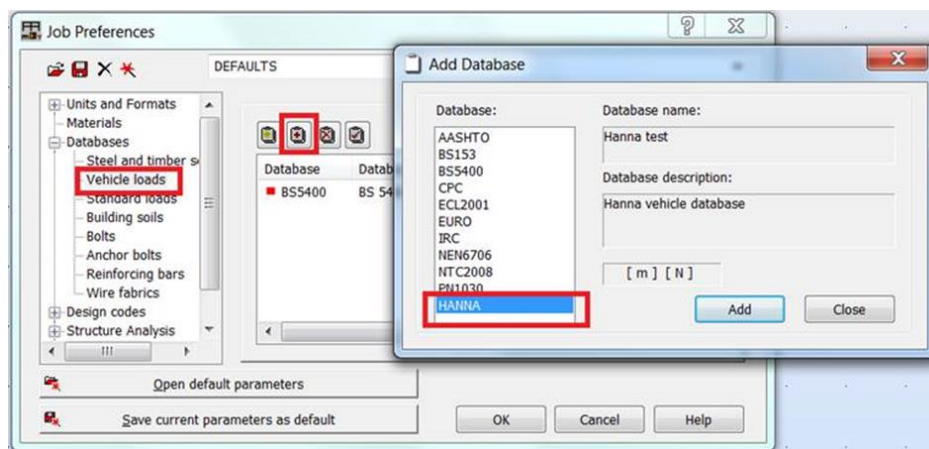
Då visas rutan *New Moving Load* där bland annat databasen döps och enheter kan väljas, se Figur 15. Slutligen väljs [Create] och en ny databas har nu skapats.



Figur 15 New Moving Load.

För att göra databasen tillgänglig för andra sparas filen under *c:\Users\%username%\AppData\Roaming\Autodesk\Structural\Common Data\2015*. Sedan kopieras den skapade filen och läggs över i en gemensam mapp. Person nummer två kopierar därefter filen och lägger in den under samma mapp som ovan fast under eget användarnamn, vilket gör att filen kommer finnas tillgänglig i Robot. Robot måste sedan stängas ner och öppnas på nytt om programmet redan körs.

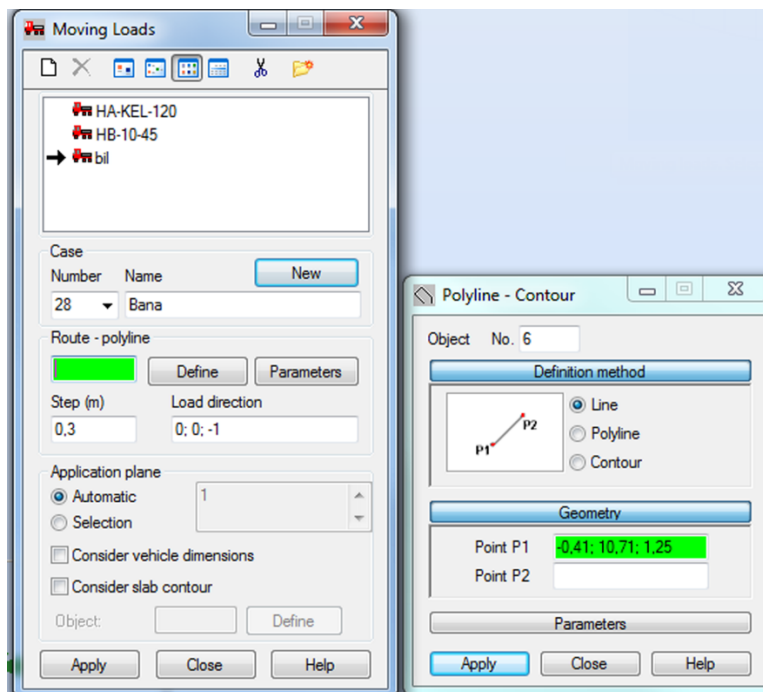
För att aktivera database välj *Tools → Job Preferences → Databases → Vehicle Loads* och klicka sedan på “Add new database to the list”-ikonen. Då kommer en ny ruta *Add Database* att dyka upp där den skapade databasen finns tillgänglig, se Figur 16. Genom att klicka på [Add] kan databasen användas.



Figur 16 Databas.

När ett fordon har valts eller definierats måste en *Route* skapas, det vill säga en bana fordonet skall köra längs med. Detta görs genom att klicka på önskat fordon och sedan döpa rutten till önskat namn under *Name*. *Step* anger hur ofta mätningar skall göras, till exempel var 0,3 meter. Genom att klicka i den tomma rutan under *Route-polyline* och sedan *Define* kan banan ritas upp med hjälp av *Line*, *Polyline* eller *Contour*. *Line* är kanske lättast att använda sig av då en linje ritas upp mellan två angivna punkter, *Point P1* och *Point P2*. När linjen har ritats upp, stäng då ned *Polyline-Contour* fönstret och klicka sedan på [Apply] i *Moving Loads*-fönstret, se Figur 17. Fordonet och vägbanan kommer att vara ihopkopplade, och lastfallet hittas under rullmenyn *Cases* där lastfallet har döpts till samma namn som vägbanans.

Det finns möjlighet att skapa flera körbanor för ett och samma fordon, vilket görs genom att markera fordonet och sedan skapa en körbana på samma sätt som beskrivits ovan.

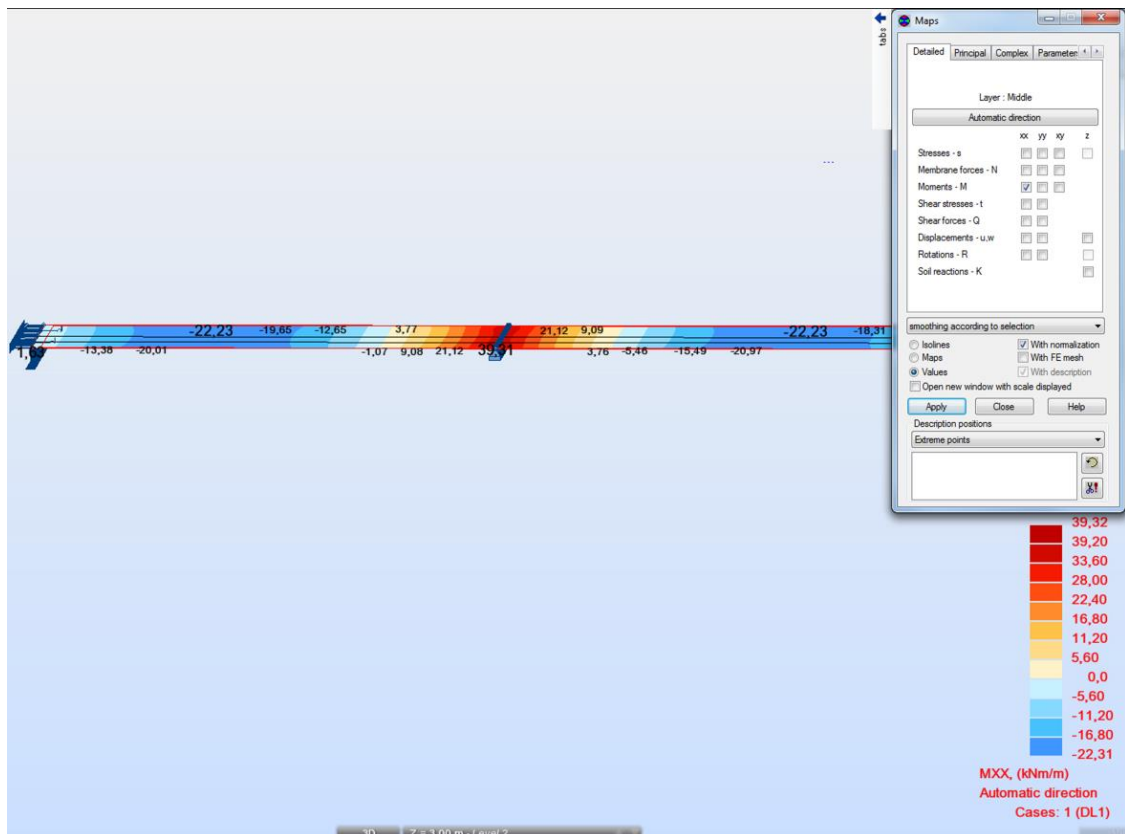


Figur 17 Skapa en vägbana.

Systemanalys

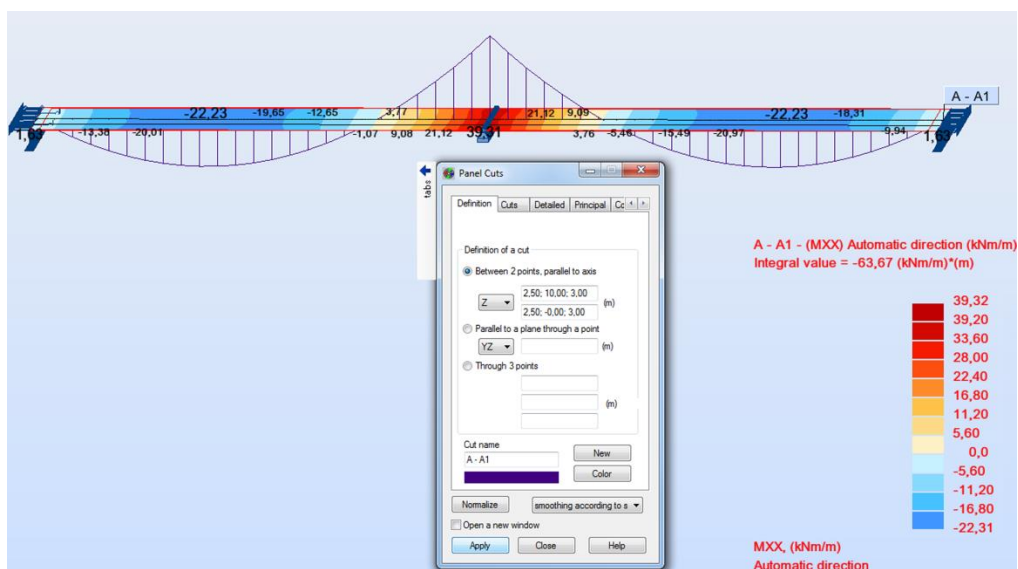
När lastpåläggningar och lastkombinationer har gjorts kan systemanalysen utföras. Resultatet kan därefter redovisas på olika sätt. Under fliken *Results* i ribbonmenyn kan följande alternativ väljas:

- *Diagrams for Bars*: Om en balk har modellerats upp kan detta alternativ väljas. Genom att kryssa i önskade egenskaper som tvärkraft och/eller moment och sedan [Apply] visas diagram och tabell över valda egenskaper i modellen.
- *Maps*: Detta alternativ fungerar på samma vis som ovan för en platta eller liknande. Ett par fler alternativ kan visas, till exempel spänningar och rotationer. Som standard är *Maps* förvalt. Genom att bocka i önskat alternativ och sedan trycka på [Apply] fås ett färgdiagram upp, det vill säga att plattan ges olika färger för olika värden. Om *Values* bockas i kan bland annat extrempunkter markeras ut med exakta värden över plattan, se Figur 18.



Figur 18 Maps.

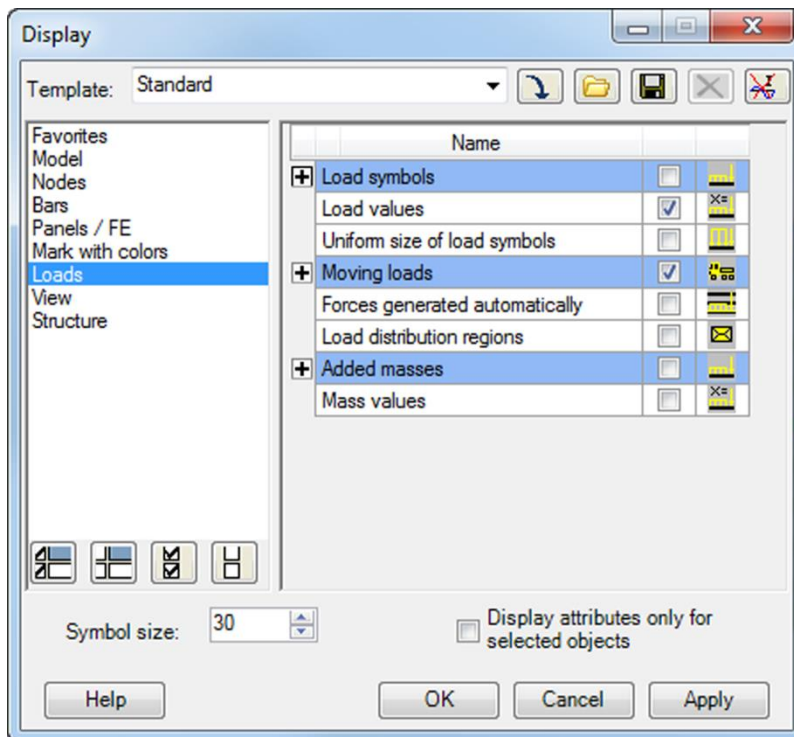
- **Panel Cuts:** Är ett verktyg som används för att redovisa resultatet i diagramform. Under fliken *Detailed* kan olika lasteffekter väljas, till exempel moment. Sedan definieras den önskade linjen där kurvan ska dras längs med via *Definition*, se Figur 19.



Figur 19 Panel Cut.

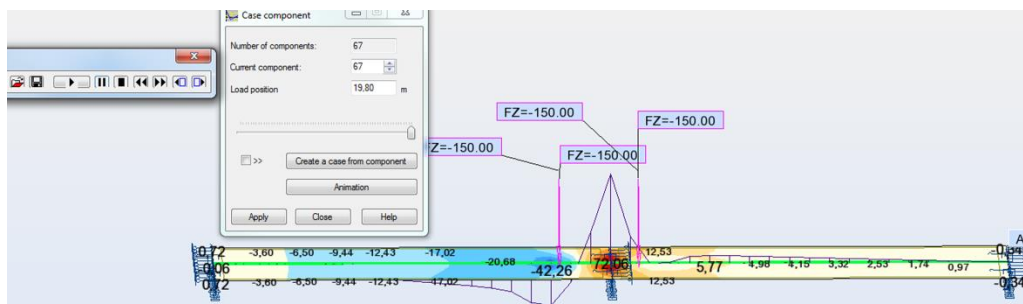
- Om en rörlig last har skapats kan en animation visas. Genom att högerklicka på skärmen och sedan välja *Display* kommer en ny ruta visas, se Figur 20. Längst till

höger under *Loads* bockas *Moving loads* och *Load values* i för att fordonet med tillhörande laster skall synas.



Figur 20 Display.

För att animationen skall visas väljs *Select component* , så att *Case component* visas. Klicka på [Animation] och sedan på [Start] i det nya fönstret *Animation*, så att fordonet kör längs den definierade vägbanan, se Figur 21.



Figur 21 Animation.

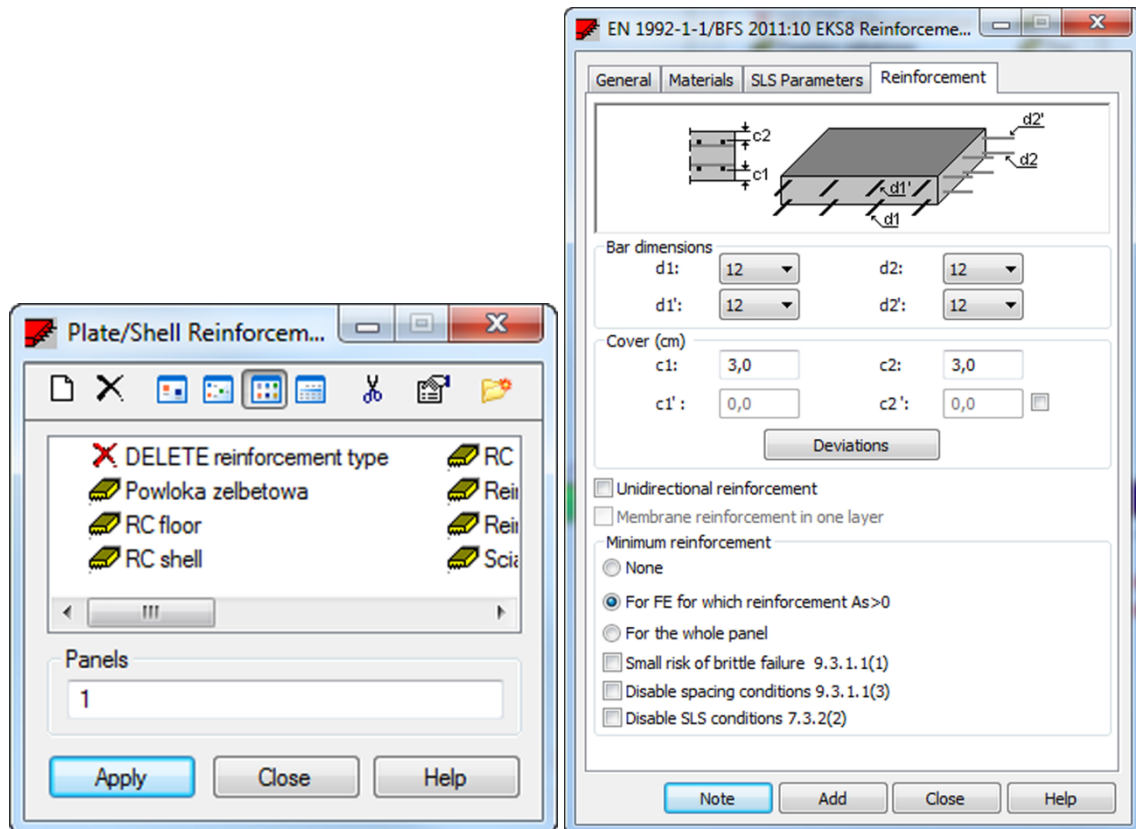
- *Plate and Shell Results*: Här visas varje nods kraftfördelning i form av en tabell. Om alternativet *Values* väljs längst ner på sidan under tabellen ges en översikt över varje nods belastning. Som ett alternativ till detta kan till exempel *Global extremes* väljas, så att endast extrempunkter redovisas. Genom att högerklicka på skärmen och sedan välja *Table columns* kan olika redovisningsalternativ väljas, till exempel om moment och/eller tvärkraft skall redovisas i tabellen.

Viktigt att tänka på är att klicka på *Calculations*  för att utföra beräkningar. Om något har ändrats, till exempel om en last har lagts till, måste nya beräkningar utföras genom att klicka på miniräknarsymbolen igen. En annan viktig sak att tänka på är att Robot räknar endast ett

Case i taget, vilket innebär att om till exempel DL1 har valts i rullmenyn Cases görs analyser i Robot enbart baserade på egentygden. Även en lastkombination räknas som ett Case.

Armering

Vid armeringsdimensionering bestäms först vilken typ av järn som ska användas samt dess storlek. Även andra inställningar som till exempel armeringsjärnen placering, maximal sprickbredd och miljöklass går att ställa in. Genom att välja *Required reinforcement – options* under *Design* i ribbonmenyn och sedan *Code Parameters* kommer vänster bild i Figur 22 visas. Klicka sedan på symbolen  för att skapa en ny armeringstyp. Då kommer höger bild upp där de olika parametrarna kan ställas in.

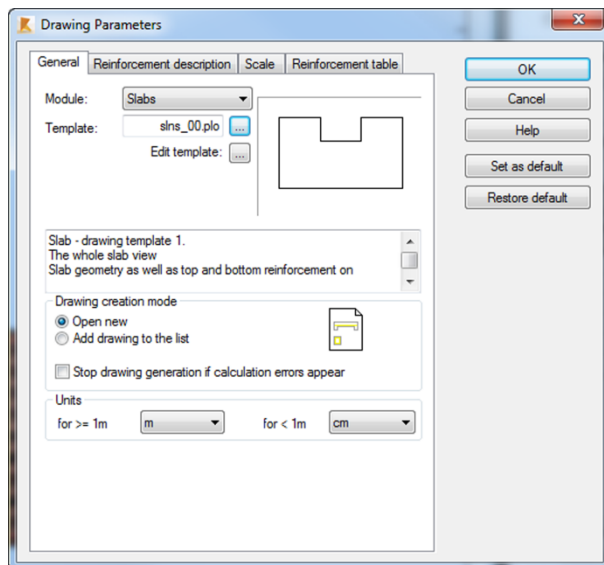


Figur 22 Inställningar för dimensionering av armering.

I *Required reinforcement* räknas även den teoretiska armeringsmängden ut. Baserat på detta resultat dimensioneras *Provided reinforcement* som ger armeringen dess slutgiltiga placering vilket kan redovisas i en ritning. De båda alternativen hittas under *Design* i ribbonmenyn. Väl inne i *Provided reinforcement* tas ritningar fram på följande sätt:

- Klicka på knappen  som ligger i menyn till höger i bild. Då kommer *Reinforcement Pattern* dyka upp där alternativet *Bars* ska väljas för plattor.
- Välj sedan  och gör en beräkning genom att klicka på [Calculate] i den nya rutan som dyker upp.

- För att få fram ritningar måste en *Template* väljas vilket görs genom att klicka på . Då visas *Drawing Parameters*, se Figur 23.



Figur 23 Skapa en Template.

En *Template* väljs genom att trycka på [...] där alternativet *slns_00.plo* med fördel kan väljas för fallet med en betongplatta.

- Slutligen visas armeringsrapporten genom att välja *Drawing* .

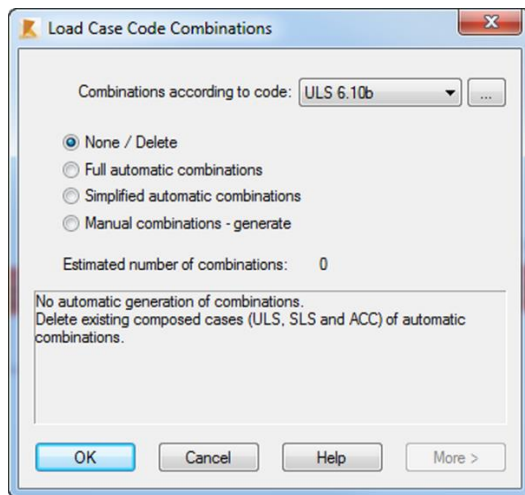
Robot framställer ingen redovisning av beräkningsgång för dimensionering av armering utan visar enbart resultatet i form av grafer och rapporter.

Resultat

Resultat från analyser av moment, tvärkrafter och liknande framställs grafiskt eller i tabellform. Som standardvärden används m, kN och Deg. Om det önskas kan detta ändras genom att klicka på [m][kN][Deg] längst ner i till höger i bild. Då kommer *Job Preferences* upp och *Dimensions* är markerad. I rullmenyn till höger om varje element kan enhet ändras.

Import och export

Import och export kan göras via de båda programmen, antingen genom att skicka filen eller uppdatera befintlig modell på information. I Robot görs detta genom att välja *Add-Ins* i ribbonmenyn, *Integration* och sedan *Autodesk Revit Structure*. Har en lastkombination som innehåller variabla laster skapats måste *Automatic Combination* stängas av för att möjliggöra export till Revit. Detta görs genom att välja *None/Delete* istället för de andra tre alternativen, se Figur 24.



Figur 24 Stäng av Automatic combinations genom None/Delete.

Om vägen via Revit används istället nås de olika alternativen genom *Analyze* i ribbonmenyn och sedan *Robot Structural Analysis Link*.