

PM

Studie över hur befintliga och framtida NRTK är tillräckliga för mättningsarbeten och maskinstyrning i olika projektfaser

Upprättad av: Helena von Malmborg, WSP Samhällsbyggnad
Johan Vium Andersson, WSP Samhällsbyggnad
Stockholm 2011-11-11

Innehållsförteckning

1	Sammanfattning	3
2	Inledning	5
3	Bakgrund.....	5
4	Toleranser och noggrannhet för mättningsarbeten inom anläggningsprojekt	6
4.1	Toleranser för mättningsarbeten under planering och projektering	6
4.2	Toleranser vid byggnation	7
5	Noggrannhet vid mätning med Nätverks-RTK.....	9
6	Nätverks-RTK vid olika projektfaser.....	11
6.1	Planering	11
6.1.1	Rekommendationer vid planering	11
6.2	Projektering.....	11
6.2.1	Rekommendationer vid projektering	12
6.3	Byggnation.....	12
6.3.1	Rekommendationer vid byggnation.....	13
7	Referenser	13

1 Sammanfattning

Följande studie omfattar en sammanfattning av positioneringsnoggrannheten i nätverks-RTK-nät med olika förtätningsgrad. Positioneringsnoggrannheten jämförs mot de behov som finns i de olika projektskedena som förekommer i vid projektering och byggnation. I Tabell 1 sammanfattas resultatet från studien. Första kolumnen representerar den aktuella projektfasen. Ti och TB motsvarar det strängaste toleranskravet för inmätning och byggnation som förekommer i fasen. Kolumnen NRTK visar på förtätningsgraden som rekommenderas vid användandet av NRTK. Kolumnen behov av beräkningstjänst visar på behovet av en beräkningstjänst och kolumn NRTK Högsta TB visar på den högsta inmätning- och byggtoleransen som går att utföra i plan och höjd vid olika förtätningsgrader. I den avslutande kolumnen beskrivs förslag på aktiviteter som bör påbörjas eller utföras i den aktuella projekteringsfasen.

Observera att positioneringsnoggrannheten för NRTK-näten utgår från studier som genomfört under de optimala förhållanden som rått under de senaste åren. Noggrannheten i näten är inte konstant utan varierar över tid vilket bör beaktas vid tolkningen av studiens resultat.

Tabell 1, Visar när olika förtätade NRTK-nät och beräkningstjänst kan användas i projektskedena. Enheten är meter om inget annat anges i tabellen

Fas	Behov ¹ Ti, TB höjd	NRTK	Behov beräk- ningst- jänst	NRTK Högsta TB Plan/höjd [maskin- styrning]	Kommentar
Planering Förstudie och vägutredning	0,30	70 km	-	0,05/0,10 [0,04/0,06]	Förstudie angående olika stomnätalternativ bör utföras i vägutredningsfasen, se vidare Hederos (2011). Utredning som fastlägger projektets referenssystem bör utföras ²
Projektering Arbetsplan	0,10 (0,02) ³	70 km 10 km	- Ja	0,05/0,10 [0,04/0,06] 0,03/0,04	Allt arbete inom ramen för arbetsplan går att utföra inom ett 70 km nät. Observera att den beräkningstjänst som finns i 70 km nätet kräver en längre observationstid och ger en sämre positioneringsnoggrannhet än i de förtätade näten. TrVs normala policy är att så tidigt som möjligt i projekten mäta

¹ Ti och TB värden kan variera från projekt till projekt beroende på projektens behov

² Om förtätning inte är aktuell etableras anslutnings- och bruksnät på traditionellt vis

³ Inmätningstolerans i höjd vid anslutning mot befintliga hårdgjorda ytor vid bygghandling

				[0,02/0,025]	med bygghandlingsnoggrannhet för att minimera mängden dubbelarbete. Om en förtätning av NRTK är aktuell bör således den ske i arbetsplaneskedet. Behovet finns då även för en beräkningstjänst för etablering av anslutningspunkter. I samband med etableringen bör även ett genomgående höjdnät upprättas.
Bygghandling	(0,01) ⁴ 0,02	10 km	Ja	0,03/0,04 [0,02/0,025]	För bygghandling bör ett förtätat NRTK-nät upprättas. Igen finns, om en i en något begränsad omfattning, möjligheten att använda sig av ett glesare nät. Behovet av punkter för detaljmätning på traditionellt vis ökar och därmed är det önskvärt att en beräkningstjänst finns tillgänglig med en högre prestanda än den som 70km nätet ger. Genom en förtätning erhålls även ett enhetligt arbets sätt genom projektering och byggnation
Byggnation	(0,004) ⁵ 0,02 Maskin styrning vid vägbyggnad	PA-NRTK ≤ 10km	Ja	0,03/0,04 [0,02/0,025]	Lösningalternativet PA-NRTK är den lösning som ger bäst förutsättningar för byggnation och maskinstyrning. Genom att projektanpassa de förtätade NRTK näten erhålls ett system som optimeras för prestanda och drift. Förtätat nät fungerar inom vägbyggnad för alla arbeten utom obundet bärlager och grusslitlager. ⁶ En beräkningstjänst är nödvändig för nyetablering av anslutningspunkter.
Förvaltning av anslutningspunkter		10 km	Ja	0,03/0,04 [0,02/0,025]	Behovet av projektanpassningen av NRTK bör ses över.

⁴ Inmätningstolerans i höjd vid inmätning av brokonstruktioner

⁵ SAK, krav på inmätning noggrannhet (medelfel) vid Statistisk acceptansk kontroll och vid byggnation av konstbyggnader etc.

⁶ Utvärdering av positioneringsnoggrannhet är nödvändig innan slutgiltig positioneringsprestanda fastställs. Se vidare Hederos (2011) för mer detaljer angående etablering av PA-NRTK.

2 Inledning

Projektanpassat nätverks-RTK (PA-NRTK) innebär att det nationella referensstationsnätet SWEPOS, som ägs och drivs av Lantmäteriet, förtätas inom projektområdet för att få en noggrannare positionering. Etablering av PA-NRTK, innebär vid etableringskedet relativt stora kostnader. I förlängningen ger det dock effektiviseringar inom både anläggnings- och underhållsprojekt då RTK-mätningarna blir av bättre noggrannhet och kan användas istället för traditionell mätning.

För att veta om och när en förtätning av SWEPOS referensstationsnät ger nytta i projektet och i så fall hur stor förtätning som behövs, måste hänsyn tas till vilken tolerans och noggrannhet som är acceptabel vid planering, projektering och byggnation samt när i projektet en förtätning bör göras. Syftet med studien är att vara en del av ett underlag till en metodbeskrivning för beslut om en förtätning ska utföras och hur stor förtätningen ska vara, samt när annan mätteknik bör användas för att uppnå aktuella toleranskrav.

Detta PM visar hur mätningstekniska arbeten med olika toleranskrav fungerar att utföras i NRTK-nät beroende på tätheten mellan referensstationerna. Studien utgår från de mätningstekniska krav på toleranser och medelfel som finns vid de olika projektfaserna. Studien använder också praktiska och teoretiska noggrannhetsstudier som underlag för vilken noggrannhet som går att få vid mätning med NRTK i olika förtätade referensstationsnät. Även erfarenheter från projektet E45 BViV (BanaVäg i Väst), där PA-NRTK nyttjats, har använts.

Studien riktas framförallt mot vägbyggnation.

3 Bakgrund

Användning av NRTK har inte tidigare utnyttjats i någon större utsträckning i Sverige. Systemen behöver kontinuerlig övervakning vilket kräver stora resurser och som endast gett nytta inom själva projektet. Ett alternativ har därför varit att använda det nationella nätet SWEPOS, men avståndet mellan referensstationerna i SWEPOS-nätet är på många platser 60-70 kilometer vilket inte ger tillräcklig noggrannhet för produktion.

Genom förtätning av referensstationerna i ett NRTK-nät, till exempel SWEPOS, inom ett specifikt projektområde, medför bättre noggrannhet vid mätning. En förtätning av referensstationsnätet innebär även reducerad påverkan av jonofärsstörningar samt att konsekvenserna om en station tillfälligt slutar fungera blir mindre. Därmed har användningsområdena för NRTK-mätning i projekten ökat.

Idag utförs mätning med förtätade referensstationsnät i form av PA-NRTK inom ett par projekt i Sverige. Fördelarna har varit stora då alla entreprenörer i projektet använder samma nät genom hela byggprocessen. Konceptet innebär att man förutom realtidspositionsbestämningen även får en beräkningstjänst för statistiska observationer samt ett övervakningssystem som kontinuerligt övervakar systemets. (Trafikverket 2010). Begränsningar finns dock i tekniken framförallt i den noggrannhet som går att erhålla. Bland annat har tidskorrelationen en stor betydelse på framförallt icke statistiska mätningar. Inverkan av tidskorrelation reduceras till viss del vid RTK-mätning och därför hanteras inte dessa frågor i denna rapport, se vidare Horemuz (2011) angående korrelationer vid RTK-mätning.

4 Toleranser och noggrannhet för mättningsarbeten inom anläggningsprojekt

Inom ett anläggningsprojekts olika projektfaser: förstudie, vägutredning, arbetsplan, bygghandling och byggskede, krävs möjligheter till mättningsarbeten med olika stor noggrannhet för insamling och utsättning. För att upprätthålla kostnadseffektivitet för mättningsarbeten inom ett projekt bör valet av mätmetod bestämmas utifrån hur mätdata ska användas samt i vilken fas projektet är. Hänsyn till hela måste även tas då insamlad mätdata ska användas inom flera faser av projektet. För att undvika dubbelt arbete bör den informationen inte ha en *lägre* noggrannhet änden för användningsområdet med *högst* ställda krav.

4.1 Toleranser för mättningsarbeten under planering och projektering

I planeringsfasen, förstudie och vägutredning, avgörs om anläggningen ska byggas samt om det finns olika alternativ för sträckningen. Kraven är i regel lågt ställda på de modeller och de mättningsarbeten som utförs men med fördel används mättningsmetoder som ger högre noggrannhet än de kravställda så informationen även kan användas längre fram i projekten.

Under projekteringsfasen, arbetsplan och bygghandling, krävs högre noggrannheter då anläggningens läge bestäms och detaljprojekteringen för byggandet utförs. För anslutning mot befintlig anläggning ställs högre noggrannhetskrav för både arbetsplan och bygghandling. Tolerans vid projektering, inmätningstoleransen, definieras enligt SIS-TS 21143:2009 (kapitel 7) och HMK-Ge:D som den maximalt tillåtna avvikelser vid en förnyad inmätning. Krav ställs på att medelfelet i mättningsmetoden är bättre än 40 % än inmätningstoleransen. En sammanställning av toleranserna vid inmätning under projektering beskrivs för olika företeelser i HMK Bygg och Anläggning BA3, bilaga D. Exempel på toleranskrav i dokumentet framgår av Tabell 2.

Tabell 2 Exempel på inmätningstoleranser vid projektering. Källa HMK Bygg och Anläggning BA3, bilaga D. Alla mått är angivna i meter.

Punkt	Arbetsplan		Bygghandling	
	Plan	Höjd	Plan	Höjd
Naturmark	0,30	0,30	0,10	0,10 ⁷
Väg gata	0,15	0,15	0,02	0,02
Brokonstruktioner	0,15	0,15	0,01	0,01

Vid framställning av digitala terrängmodeller bestäms kvalitetskraven på markytans bestämning i höjd baserat på modellens medelavvikelse. I SIS-TS 21144:2007 (kapitel 8 tabell 7) anges den maximala medelavvikelse i höjd för olika användningsområden och tabell 8 klassificerar detaljprojekteringsunderlag för olika marktyper. Nedan i Tabell 3, anges klassningen av modellens medelavvikelse för olika stadier i projektet.

⁷ Toleranskrav enligt Trafikverket investering

Tabell 3, Maximal medelavvikelse i höjd för digital terrängmodell vid planering och projektering enligt SIS-TS 21144:2007

Klass	Maximal medelavvikelse i höjd i meter	Användningsområde
1	0,02	Bygghandling, hårdgjorda ytor
2	0,05	Bygghandling, jämna markytor samt befintliga bangårdar och spår
3	0,10	Bygghandling, övriga ytor och järnvägsbank.
4	0,15	Arbetsplan, jämn terräng
5	0,20	Arbetsplan, kuperad terräng
6	0,30	Översiktlig projektering i jämn terräng. Väg- och järnvägsutredning i och i närheten av samhällen
7	0,50	Översiktlig projektering i ojämn och kuperad terräng. Väg- och järnvägsutredning i allmänhet
8	1,00	Förstudier i och i närheten av samhällen
9	2,00	Förstudier i allmänhet
10	3,00	Lokaliseringsöversikter

I Tabell 4 visas ställda toleranser för mätningarna vid insamling av underlag till arbetsplan och bygghandling. Maximalt tillåtna medelfelet i vald mätningmetod är enligt SIS-TS 21143:2009 kap 7 definierad som $0,4 \times T$.

Tabell 4, maximal medelavvikelse i höjd för digital terrängmodell i höjd vid planering och projektering samt maximal medelfel i mätningmetod vid arbetsplan och bygghandling

Projektfas	Tolerans T_i (plan och höjd)	Maximalt medelfel i mätningmetod
Arbetsplan	0,30 m	0,12 m
	Anslutning bef. anläggning	Anslutning bef. anläggning ⁸
	0,15 m	0,06 m
	Alternativt enligt bygghandling	Alternativt enligt bygghandling
Bygghandling	0,02 m	0,008 m
	Naturmark 0,10 m	Naturmark 0,04 m
	Hårdgjorda ytor 0,02 m	Hårdgjorda ytor 0,008 m
	Brokonstruktioner 0,01 m	Brokonstruktioner 0,004 m

4.2 Toleranser vid byggnation

Vid byggnation hanteras toleransen annorlunda än vid datafångst och projektering. Byggplatstoleransen, T , definieras som kravet på maximal tillåten avvikelse efter färdig byggnation och innefattar toleranserna för tillverkning, utsättning och montering. För

⁸ I de fall det är aktuellt att dessa mätningar utförs med bygghandlingsnoggrannhet

bestämning av utsättningstoleransen, T_u , vid anläggningsbyggnation beräknas utsättningstoleransen som 60 % av T , där skattningen 60 % kommer ifrån erfarenheter i produktion. Medelfelet från utsättningen ger halva värdet av T_u vid en 5 % risknivå. Kontrollmätningarna ska utföras enligt klassindelade krav enligt SIS-TS 21143:2009 kap 7. Klass K1 beräknas som $T/7$ och avser konstruktioner med höga krav (stål och prefab), klass K2 beräknas som $T/5$ och avser konstruktioner och komponenter för byggnadsverk med normala krav och klass K3 avser anläggningar med normala krav. I SIS-TS 21143:2009 kap 7 och i bilaga C och D beskrivs beräkningar och hanteringen av toleranser närmare.

Vid maskinguidning där utsättningen och materialutläggningen sker samtidigt minskas de olika källor som påverkar byggplatstoleransen. Utsättningstoleransen skattas i detta fall till 90 % av T enligt Vägverket (2007). Skattning är inte verifierad men kommer att användas i detta PM.

Tabell 5, Utsättningstoleranser och maximala medelfel i mm beroende av byggplatstolerans vid byggnation och vid olika kontrollklasser enl. SIS-TS 21143:2009 kap 7. Medelfel för maskinstyrning enl. ovan.

Byggplats tolerans T	Utsättningstolerans T_u	Utsättning Medelfel M_u	Maskinguidning Medelfel	Kontrollinmätning Medelfel Klass K1	Kontrollinmätning Medelfel Klass K2	Kontrollinmätning Medelfel Klass K1
5	3,0	1,5	2,2	0,7	1,0	1,7
8	4,8	2,4	3,6	1,1	1,6	2,7
10	6,0	3,0	4,5	1,4	2,0	3,3
12	7,2	3,6	5,4	1,7	2,4	4
15	9	4,5	6,8	2,1	3,0	5
20	12	6,0	9	3	4	7
25	15	7,5	11	4	5	8
30	18	9	14	4	6	10
40	24	12	18	6	8	13
50	30	15	23	7	10	17
60	36	18	27	9	12	20
80	48	24	36	11	16	27
100	60	30	45	14	20	33

Toleranskrav för vägbyggnation i plan framgår i HMK:BA4 och motsvarande värden för höjd återfinns i TRVKB 10 Obundna lager, Trafikverket (2010). Toleranskraven i höjd är snävare ställda än i plan så i Tabell 6 framgår de byggtoleranser i höjd som föreskrivs.

Tabell 6, Byggtoleranser i höjd för obundna lager enligt TRVKB 10 Obundna lager, alla värden är angivna i mm

Lagerbestämning	Höjd
Terrass av mtrl-typ 2-5	35
Terrass med överyta på bergunderbyggnader bestående av F-lager, krossad sprängsten eller sorterad sprängsten	30
Terrass med överyta bestående av sorterad sprängsten eller bergskärning med överliggande tätning med krav på tjocklek	50
Skyddslager belagda vägar	30
Förstärkningslager	30
Obundet bärlager	15
Grusslitlager	15

5 Noggrannhet vid mätning med Nätverks-RTK

SWEPOS bygger på ett avstånd mellan 35 och 70 kilometer mellan stationerna. Vid mätning med SWEPOS NRTK-tjänst erhålls en högre noggrannhet än 15 mm i plan och 25 mm i höjd, enligt Wiklund (2010). Denna noggrannhet är vid många mätningstekniska arbeten tillräcklig men vid anläggningsprojekt framförallt i byggskedet behövs en högre noggrannhet. För att få en högre noggrannhet har tester gjorts med att förtäta referensstationerna inom ett projektområde för att på det sättet ge noggrannare mätningar, mätning sker då inom så kallat projektpassat-NRTK, PA-NRTK.

PA-NRTK har använts i några år inom Trafikverket och visat på mycket bra resultat, bland annat i projektet BanaVäg i Väst, bygget av E45. Till det förtätade referensstationsnätet har även en projektpassad beräkningstjänst tagits fram av Lantmäteriet. Tjänsten bygger på korrektioner baserade på referensstationerna och medför att statistisk mätning kan användas för att ytterligare förbättra noggrannheten vid mätning.

Ett flertal undersökningar har utförts för att undersöka vilken noggrannhet som fås vid olika förtätningar av referensstationsnät. Bland annat i CLOSE 1-projektet 2009, ett projekt i samarbete mellan Chalmers, Lantmäteriet, Onsala och SP, där simuleringar utförts för att bland annat undersöka medelfelet vid olika förtätningar, Emardson m.fl. (2009). I denna undersökning tittade man på nät med avstånd mellan referensstationerna på 70, 35, 20 respektive 10 km. En annan utredning utfördes 2011 av SP över optimeringen av referensstationsnät då man även fick fram noggrannheten vertikalt vid olika förtätningar, se Emardson, Jarlemark (2011). I ett examensarbete vid Lantmäteriet 2011 utfördes en praktisk jämförelse vid mätning i nät med olika förtätningar i Stockholmsområdet, Jansson (2011). Även erfarenheter av PA-NRTK från projektet E45, BViV, finns där avståndet mellan referensstationerna är mellan 5 och 10 km. I Tabell 7 visas vilken noggrannhet de olika utredningarna kommit fram till beroende av referensstationernas täthet.

Tabell 7, Utredd noggrannhet vid olika förtätningar av referensstationer i NRTK-nät från olika utredningar i plan/höjd i mm, (1σ).

	70 km	35 km	20 km	10 km	5 km
CLOSE 1	12/28	10/20	8/16	7/12	
SP, Optimering av referensstationskonfiguration (endast höjd)			Ca 13	Ca 9	Ca 8
Jansson 2011, exjobb Lantmäteriet	15/13		8/11	8/9	
Produktionskontroll BViV				8/11 ⁹	
Lantmäteriet	15/25				

I den fortsatta utredningen kommer de noggrannheter med högst värde från de praktiska undersökningarna att användas. I fallet med 35 km mellan referensstationerna används noggrannheten från den teoretiska studien CLOSE 1 då underlag från praktisk jämförelse saknas. Värdena på noggrannheten i de olika förtätade näten bygger på relativt få mätningar vilket ger en osäkerhet i deras korrekthet. Noggrannhet i mätningarna skiljer sig stort på grund av bland annat plats och tid för mätning, se vidare Norin m.fl. (2010) för mätningsrutiner vid RTK-mätning. Noggrannhetsangivelserna i Tabell 8 bör därför ses som optimala.

Tabell 8, noggrannhet vid mätning i NRTK-nät vid olika förtätningar av referensstationer med ursprung av högsta noggrannhetsvärde i mm från olika utredningar (se ovan), (1σ).

	70 km	35 km	20 km	10 km
Plan	15	10	8	8
Höjd	25	20	11	11

Den generella beräkningstjänsten som erbjuds med SWEPOS NRTK-tjänst ger ett medelfel i plan på 10 mm och i höjd på 15-20 mm vid mätning över 3 timmar, källa SWEPOS hemsida (2011-11-08). Vid användning av den projektanpassade beräkningstjänsten kan noggrannhet vid mätning i 60 min uppnå 5 mm i plan och 10 mm i höjd, Norin mfl. (2006).

Tabell 9, noggrannhet vid användning av beräkningstjänster (mm)

	Plan	höjd	mättid
SWEPOS standard	10	15-20	>240 min
Projektanpassad	5	10	60 min

⁹ Precision

6 Nätverks-RTK vid olika projektfaser

6.1 Planering

Arbetet vid förstudie och vägutredning ligger till grund för om en ny- eller ombyggnation ska göras och i så fall vilken sträckning som ska användas. Som underlag används bland annat markmodeller och kraven på dessa är enligt SIS-TS 21144:2007 (kapitel 8) på mellan 0,5 och 3,0 meter. I de fall väg- och järnvägsutredning är i eller i närheten av ett samhälle behövs dock en noggrannare modell där högsta medelavvikelse är 0,3 meter.

För mätningstekniska arbeten vid planeringsstadiet är NRTK-mätningar i det nationella nätet fullt tillräckligt, även då det är 70 km mellan referensstationerna.

I planeringsfasen inom anläggningsprojektet bör en förstudie som utreder möjliga stomnätrealiseringar utföras. Arbetet bör genomföras redan i vägutredningsskedet. För att spara kostnader i projektet bör etablering av PA-NRTK utföras så snart väg- eller järnvägssträckningen fastställts. Detta för att möjliggöra att insamlad mätdata kan användas genom flera faser i projektet vilket sparar projektet onödiga ommätningar samt minskar risken för att insamlad information används trots att den inte har tillräcklig noggrannhet.

6.1.1 Rekommendationer vid planering

I planeringsstadiet är SWEPOS nationella NRTK-tjänst och beräkningstjänst fullt tillräcklig. Detta betyder att mätningens arbeten kan utföras i ett referensstationsnät med en täthet på 70 km, vilket idag täcker hela Sverige. Se aktuell täthetsgrad över Sverige på SWEPOS hemsida, <http://swepos.lmv.lm.se/> (2011-12-06).

För att ha kostnadseffektivitet i projektet bör, redan vid utredningen av anläggningen stäckning, en studie över olika stomnätalternativ utföras. Om möjlighet finns att använda PA-NRTK bör detta etableras så snart sträckningen är fastställd. Detta bidrar till ett enhetligt arbetssätt genom både projektering och byggnation samt att mätningens arbeten kan användas genom flera projektfaser och risken minskar för att otillräckligt underlag används. Den tillhörande projektanpassade beräkningstjänsten bör användas så snart som de referensstationer som satts upp för projektet är i drift. Hederos (2011) ger vägledning av etableringsstegen i för ett PA-NRTK system.

6.2 Projektering

Vid projekteringsskedet, krävs högre noggrannhet i markmodeller och vid mätningstekniska arbeten än vid planeringen.

Då resultat av mätningar som används för arbetsplanen ofta används även för bygghandlingen bör man redan vid arbetsplanen ta höjd för om mätresultatet ska användas vidare och använda en teknik som från början uppnår lägsta inmätningstolerans för sitt syfte. Genom att från början använda en teknik som ger tillräcklig noggrannhet görs stora kostnadsbesparingar genom att data kan återanvändas och risken att data används felaktigt minskar.

För markmodellerna ska för klass 1 ska enligt SIS-TS 21144:2007 maximala medelavvikelsen i höjd vara 0,2 meter vid detaljprojekteringen för bygghandling väg och järnväg samt mängdberäkning på noggrant inmätta hårdgjorda ytor.

För mättningsarbeten vid insamling av data för arbetsplan som inte ansluter mot befintlig anläggning samt vid insamling av data i naturmark för bygghandling krävs ett maximalt medelfel i mättningsmetoden på 120 mm respektive 40 mm. I dessa fall fungerar mättningsarbeten med NRTK, t.ex. SWEPOS NRTK-tjänst, i ett nät med 70 km mellan referensstationerna.

Då anläggningen ansluter mot befintlig anläggning i arbetsplanen eller vid projektering av hårdgjorda ytor i bygghandlingen krävs en inmätningstolerans på 20 mm vilket ger ett maximalt medelfel i mättningsmetoden på 8 mm. Detta innebär att NRTK-mätning inte ger tillräckligt god noggrannhet i höjd ens i ett nät med PA-NRTK förtätat ner till 10 km. I plan kan noggrannheten uppnås vid mycket goda förutsättningar, men inte med full säkerhet. Enligt SP:s undersökning av Emardson och Jarlemark, Optimering av referensstationskonfiguration (2011), visar den teoretiska studien på att ett medelfel på 8 mm i höjd kan fås vid en förtätning av referensstationsnätet till 5 km. Detta finns det dock ingen praktisk studie för.

Vid statisk mätning och beräkning med den projektanpassade beräkningstjänsten kan noggrannheten i plan säkerställas. Detta möjliggör utsättning av anslutningspunkter i plan som kan användas genom hela byggprocessen. Genom använda statisk mätning i det förtätade nätet och beräkningstjänsten medför detta även möjlighet att sätta ut nya punkter om någon skulle förstöras. Noggrannheten i höjd är dock inte tillräcklig vid statisk mätning. Därför bör även ett genomgående höjdnät etableras så tidigt som möjligt i projekteringsskedet.

För brokonstruktioner som har ett toleranskrav på 10 mm vilket ger ett medelfel i mättningsmetoden på 4 mm, krävs alltid traditionell mätning.

6.2.1 Rekommendationer vid projektering

I projekteringsskedet, rekommenderas att anslutningspunkter i plan sätts ut genom att använda statisk mätning i ett förtätat NRTK-nät och utföra efterberäkning i projektanpassad beräkningstjänst. Med denna metod fås ett medelfel i plan på 5 mm vid koordinatbestämning av anslutningspunkterna, Norin m.fl.(2006). Detta säkerställer noggrannheten i anslutningsnätet och medför även möjlighet att placera ut nya punkter om någon punkt skulle förstöras.

För mättningsarbeten till arbetsplanen (ej vid anslutning till befintlig anläggning) samt i naturmark till bygghandling kan NRTK-mätning i referensstationsnät med en täthet på 70 km användas (dvs. det ursprungliga SWEPOS-nätet). För övriga mättningsarbeten vid projektering som ställer högre krav avseende medelfel, bör traditionella mättningsmetoder användas.

Att rekommendera är en: tidig förtätning till 10 km mellan referensstationerna, upprätta en beräkningstjänst samt ett genomgående höjdnät. Förtätningen sker med motivering att tidigt i projekten skapa förutsättningar för mätning med en jämn kvalitet mot ett och samma referensnät.

6.3 Byggnation

Vid byggnation fastställs om NRTK kan användas beroende på vilken utsättningstolerans som är angiven i projektet för det som ska sättas ut. I Tabell 10 (under 6.3.1). visas lägsta byggtolerans, i mm, som kan användas för mätningstekniska arbeten och maskinstyrning, beroende på avståndet mellan referensstationerna i referensnätet.

Vid kontrollinmätning krävs, för både klass 1 (konstruktioner med höga krav) och klass 2 (konstruktioner och komponenter för byggnadsverk med normala krav) ett lägre medelfel i mätmetoden än för utsättningen för att upprätthålla samma byggplatstolerans (se Tabell 5). För klass 3 (anläggningar med normala krav) kan teknik med samma medelfel användas.

6.3.1 Rekommendationer vid byggnation

I Tabell 10 nedan visas lägsta byggplatstolerans där NRTK kan användas vid mätningstekniska arbeten och maskinstyrning beroende av tätheten mellan referensstationerna.

Tabell 10, Lägsta byggtolerans i mm för plan och höjd där NRTK kan användas vid mätning och maskinstyrning i olika referensstationsnät beroende av täthet mellan referensstationerna. Alla värden är angivna i mm.

	70 km	35 km	20 km	10 km
Mätningarbeten Plan	50	40	30	30
Mätningarbeten Höjd	100	80	40	40
Maskinstyrning Plan	40	25	20	20
Maskinstyrning Höjd	60	50	25	25

Enligt vad som framgår av Tabell 9 och Tabell 10 så bör PA-NRTK förtätning ske för att ge bästa förutsättningar vid byggnation och maskinstyrning med obundna lager. Tekniken fungerar för all mätning och maskinstyrning för obundna lager utom bärlager och grusslitrager. För kontrollinmätning av utsättning krävs för både klass 1 och 2, enligt de klassindelade krav beroende av konstruktion som anges i SIS-TS 21143:2009 kap 7, ett lägre medelfel i mätmetoden. I de fall NRTK-mätning använts med lägsta byggtolerans för nätet, bör kontrollinmätningen utföras med traditionell mätning.

7 Referenser

Byggeforskningsrådet (1998), Handböcker i Mätning- och Kartfrågor för Bygg- och Anläggning, Projektering (HMK BA3).

Byggeforskningsrådet (1998), Handböcker i Mätning- och Kartfrågor för Bygg- och Anläggning, Byggnad (HMK BA4).

Emardson, Jarlemark, Bergstrand, Nilsson, Johansson (2009), Measurement accuracy in Network-RTK.

Emardson, Jarlemark (2011), Optimering av referensstationskonfiguration.

Hederos (2011), Etablering av projektanpassat NRTK (PA-NRTK) enligt Trafikverkets koncept

Horemuz (2011), Korrelationsanalys vid RUFRIIS.

Jansson (2011), Undersökning av mätosäkerheten i det förtätade SWEPOS-nätet i Stockholmsområdet – vid mätning med nätverks-RTK.

Lantmäteriet, Gävle (1994), Handbok till mätningsskuggörelsen, Detaljmätning.

Norin, Jivall, Frisk (2006), Testberäkningar för SWEPOS, Beräkningstjänst för Rv 45 hösten 2006.

Norin, Engfeldt, Öberg, Jämnäs (2010), Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst, utgåva 3.

Swedish Standards Institute (2009), Teknisk specifikation SIS-TS 21143:2009.

Swedish Standards Institute (2007), Teknisk specifikation SIS-TS 21144:2007.

SWEPOS hemsida (2011-11-10)

Trafikverket (2011), TRVKB 10 Obundna lager, Trafikverkets Krav Beskrivningstexter för Obundna material i vägkonstruktioner TRV 2011:083, TDOK 2011:265.

Vägverket (2007), E45 Norge/Vänerbanan Delen Marieholm – Älvängen, Planering och etablering av Projektanpassat Nätverks-RTK.

Wiklund (2010), Minnesanteckningar 28 okt 2010 SWEPOS nuläge och framtid, http://swepos.lmv.lm.se/natverksrtk/files/presentationer/SWEPOS_nulage101028.pdf.